

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
MBA EM GESTÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

JOSÉ RODRIGO MIRANDA

**PROJETO APLICADO DE AUTOMAÇÃO DE AQUECEDOR DE ÓLEO
TÉRMICO A LENHA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2022**

JOSÉ RODRIGO MIRANDA

**PROJETO APLICADO DE AUTOMAÇÃO DE AQUECEDOR DE ÓLEO
TÉRMICO A LENHA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista em
Gestão de Processos Industriais da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR) - Campus Curitiba.

Orientador: Prof. Me. Daniel Balieiro
Silva.

CURITIBA
2022



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO APLICADO DE AUTOMAÇÃO DE AQUECEDOR DE ÓLEO TÉRMICO A LENHA

monografia foi apresentada às **19h00** do dia **03 de Maio de 2023** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Processos Industriais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **Aprovado** (aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado).

Prof^(a). Msc, Daniel Balieiro Silva

Prof^(a). Msc. José da Silva Maia

Prof^(a). Dr. Walter Denis Cruz Sanchez

Visto da coordenação:

Prof. Msc. Daniel Balieiro Silva

O documento original encontra-se arquivado na Coordenação do Curso no Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, com gratidão, por tudo o que eu sou.

Agradeço ao coordenador e professor do curso Prof. Me. Daniel Balieiro Silva, pela paciência e pelas contribuições para o enriquecimento de minha formação.

A todos os professores e palestrantes desse curso que orientaram e colaboraram significativamente para minha formação.

Aos colegas de turma que criamos uma amizade e que me ajudaram nessa caminhada.

Gostaria de agradecer também a minha família e principalmente a minha esposa querida que sempre está presente e melhorou a minha vida em todos os aspectos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Sua condição não muda seu futuro, mas sim a sua decisão”. (MARÇAL, 2021).

RESUMO

MIRANDA, Jose Rodrigo. **Projeto Aplicado de Automação de Aquecedor de Óleo Térmico a Lenha**. 2022. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – MBA Gestão de Processos Industriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

O presente trabalho apresenta um projeto aplicado de automação de um aquecedor de óleo térmico a lenha implementando sistema de controle PID com conversores de frequência. Propõe-se a avaliar a automação de um aquecedor de óleo térmico e analisar fatores como a diminuição da dependência da intervenção humana no processo, a eficiência, os custos, a segurança e a confiabilidade do equipamento. Além de verificar se automação de controle do sistema de exaustão e alimentação do aquecedor de fluido térmico através de conversores de frequência com PID integrado pode otimizar o funcionamento do equipamento e levantar se o controle automático de variáveis do sistema: temperatura e pressão do fluido térmico, podem garantir maior segurança e eficiência. Para tanto é apresentada uma descrição do equipamento, do seu funcionamento e a descrição dos componentes do sistema de controle e automação. Por fim, conclui-se que, com a nova configuração proposta, a empresa teve um ganho expressivo de eficiência que refletiu na redução dos custos pois houve melhoria na eficiência energética, deixando o sistema muito mais robusto, confiável e seguro. Além de garantir um funcionamento eficiente e otimizado do equipamento com um sistema que garante sua disponibilidade de modo seguro para toda a empresa.

Palavras-chave: Automação industrial. Controle de processos. Conversores de frequência. PID.

ABSTRACT

MIRANDA, Jose Rodrigo. **Applied Project of Automation of Wood Thermal Oil Heater**. 2022. 64 f. Course Completion Work (Specialization) - MBA Industrial Process Management. Federal University of Technology Paraná (UTFPR). Curitiba, 2022.

The present work presents an applied design of automation of a wood-fired thermal oil heater implementing a PID control system with frequency converters. It is proposed to evaluate the automation of a thermal oil heater and analyze factors such as the decrease in dependence on human intervention in the process, efficiency, costs, safety and equipment reliability. In addition to verifying whether the automation of control of the exhaust system and supply of the thermal fluid heater through frequency converters with integrated PID can optimize the operation of the equipment and raise whether the automatic control of the system variable: temperature and pressure of the thermal fluid, can ensure greater safety and efficiency. For that, a description of the equipment, its operation and the description of the components of the control and automation system are presented. Finally, it is concluded that, with the new configuration proposal, the company had a significant gain in efficiency that reflected in the reduction of costs as there was an improvement in energy efficiency, making the system much more robust, reliable and safe. In addition to ensuring efficient and optimized operation of the equipment with a system that guarantees its availability in a safe way for the entire company.

Keywords: Industrial automation. Process control. Frequency converters. PID.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bomba de engrenagem	22
Figura 2 – Bomba centrífuga	23
Figura 3 – Ponte inversora do conversor de frequência	25
Figura 4 – Malha fechada	30
Quadro 1 – Componentes elétricos e mecânicos do aquecedor.....	34
Figura 5 – Aquecedor de óleo térmico antes da instalação.....	35
Quadro 2 – Componentes eletromecânicos	38
Quadro 3 – Sinal analógico x velocidade do motor	39
Figura 6 - Diagrama multifilar de força para os motores elétricos da bomba de circulação, da bomba de engrenagem e do soprador	41
Figura 7 - Diagrama multifilar de força para motores do exaustor e rosca transportadora acionados por conversores de frequência.....	42
Figura 8 - Diagrama funcional de comando do aquecedor de óleo térmico (parte 1).....	43
Figura 9 - Diagrama funcional de comando do aquecedor de óleo térmico (parte 2)	44
Figura 10 – Aquecedor de óleo térmico instalado	45
Figura 11 - Quadros de comando do aquecedor de óleo térmico	46
Figura 12 – Bomba de engrenagem	47
Figura 13 - Motorreductor e rosca transportadora do armazenador de cavaco	48
Figura 14 - Bomba centrífuga de circulação de óleo térmico, manômetro e pressostato	49
Figura 15 - Serpentina no interior do aquecedor de óleo térmico (foto na fase de fabricação).....	50
Figura 16 – Termopares tipo J na saída do aquecedor de óleo térmico...	51
Figura 17 – Bomba de engrenagem	51
Figura 18 – Soprador de ar	52

LISTA DE ABREVIATURAS

CV	Cavalo Vapor
SP	Ponto de Ajuste
PV	Variável do Processo
s.d.	Ausência de data
RPM	Rotações Por Minuto
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
FEM	Força Eletromotriz

LISTA DE SIGLAS

PLC	Controlador Lógico Programável
EFC	Elemento Final de Controle
IHM	Interface Homem/Máquinas
DCS	Controle distribuído

LISTA DE ACRÔNIMOS

PID Controle Proporcional, Integral e Derivativo

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
Hz	Hertz
%	Porcentagem
V	Volts
mA	Mili Ampere
J	Modelo de termopar
Kgf/cm ²	Quilograma força por centímetro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 Justificativas	16
1.3 Estrutura do Trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Aquecedor de Óleo Térmico	19
2.2 Óleo Térmico	20
2.3 Motor Elétrico de Indução	20
2.4 Bombas Elétricas	21
2.4.1 Bomba de Engrenagens	21
2.4.2 Bombas centrífugas	22
2.5 Contatores	23
2.6 Chave de Partida Estrela Triângulo:	24
2.7 Conversores de Frequência	25
2.8 Termopares	26
2.9 Pressostato	27
2.10 Sistema de Malhas	28
2.10.1 Malha Aberta.....	28
2.10.2 Malha Fechada.....	29
2.11 Controlador	30
2.12 Controle PID	31
3 METODOLOGIA	33
4 PROJETO DETALHADO	34
4.1 Aquecedor de Óleo Térmico	34
4.2 Modo de operação do Aquecedor:	35
4.3 Automação do aquecedor:	36
4.3.1 Alteração da fonte de alimentação do aquecedor:.....	36
4.3.2 Instalação de reservatório com rosca transportadora:.....	37
4.3.3 Instalação de um soprador de ar:.....	37

4.3.4 Controle de velocidade do exaustor de ar:	37
4.3.5 Controle da pressão de circulação do óleo térmico:	37
4.3.6 Principais componentes eletromecânicos utilizados na automação desse sistema:	38
4.3.7 Funcionamento do aquecedor após a automação:	38
4.3.8 Quadro elétrico de comando:.....	40
4.3.9 Comissionamento.....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
6 CONCLUSÃO	54
6.1 Recomendação para Trabalhos Futuros	55

1 INTRODUÇÃO

A evolução da automação industrial já vem de longos períodos de tempo na história, pois desde a pré-história o homem vem desenvolvendo mecanismos e invenções com o intuito de reduzir o esforço físico e auxiliar na realização de atividades. A roda para movimentação de cargas e os moinhos movidos por vento ou força animal são exemplos disto. Porém, a automação industrial começou a conquistar destaque na sociedade só no século XVIII, com o início da Revolução Industrial, em função da evolução no modo de produção onde o homem passou a produzir mercadorias em maior escala (ROGIA; FUENTES, 2016, p. 15-16).

Segundo Nascimento (2011, p.15-16) a produção de mercadorias em maior escala teve como objetivo aumentar a produtividade, diversas inovações tecnológicas foram desenvolvidas no período, tais como as máquinas modernas, capazes de produzir com maior precisão e rapidez quando comparadas ao trabalho manual e também novas fontes energéticas, como o vapor, aplicado a máquinas para substituir a energia hidráulica e muscular.

A automação é a utilização de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados com o objetivo de substituir as atividades humanas que implicam na tomada de decisões e comandos-resposta, diminuindo a necessidade de requisitos sensoriais e mentais de pessoas, de forma a otimizar a produtividade industrial. Em processos automatizados de máquinas um dos fatores mais importantes a se considerar é a segurança das pessoas que utilizarão o equipamento, depois a proteção da máquina propriamente dita, isso em função de, por exemplo, superfícies quentes e componentes da máquina (LAMB, 2015, p. 2 e 52).

A necessidade de sistemas de controle automático se faz por várias razões: onde há situações nas quais o processo é muito rápido que por esse motivo não é possível fazer um controle manual; situações de risco em que a presença humana é inapropriada ou impossível; ou ainda em um sistema automático de controle que eleva a qualidade por reduzir a instabilidade do processo, evitando que erros humanos causem variações e reduzam a precisão de itens produzidos, por exemplo. O aumento da velocidade da produção e a redução dos custos de

produção também são importantes exemplos que requerem o controle automático do processo (PÊSSOA; SPINOLA, 2014, p. 3-4).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a automação de um aquecedor de óleo térmico e analisar fatores como a diminuição da dependência da intervenção humana no processo, a eficiência, os custos, a segurança e a confiabilidade do equipamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar se automação de controle do sistema de exaustão e alimentação do aquecedor de fluido térmico através de conversores de frequência com PID integrado pode otimizar o funcionamento do equipamento.
- Levantar se o controle automático de variáveis do sistema: temperatura e pressão do fluido térmico, pode garantir maior segurança e eficiência.

1.2 Justificativas

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de controle de processos observa-se que as vantagens vem crescendo a cada dia e, desta forma, faz-se necessário acompanhar essa evolução aplicando esses novos conceitos para otimização de processos industriais.

No setor industrial, sistemas de produção e automação de processos vem se apresentando como uma importante forma de aplicação para a obtenção de uma maior qualidade, velocidade de produção e lucratividade. Há diversas formas de se realizar tal tarefa pois existem vários níveis de automação, e a transformação de alguns processos industriais para o modo automatizado não requer gastos demasiados na sua implantação e pode acontecer sem causar grande impacto ambiental dentro de uma fábrica.

Uma aplicação de modificação que se encaixa neste contexto é a automação e controle de caldeiras, que são equipamentos muito utilizados em processos industriais. A automação permite que esses equipamentos possam trabalhar de acordo com seus próprios limites construtivos de operação, como temperatura e pressão, resultando na minimização de manutenção e paradas não programadas do processo.

Assim a automação da operação do equipamento aquecedor de fluido térmico agregará maior confiabilidade, produtividade e segurança, otimizando de forma geral esse processo industrial.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para atender a ideia deste trabalho, o texto foi estruturado em 6 capítulos incluindo-se esta introdução e dois anexos.

O capítulo 2 faz uma descrição de componentes, equipamentos e processos utilizados em um sistema de aquecimento de fluido térmico e também na automação industrial.

O capítulo 3 explica a metodologia utilizada nesta pesquisa aplicada.

O capítulo 4 explica o projeto detalhado do sistema de aquecimento de óleo térmico, suas partes, funcionamento, equipamentos.

O capítulo 5 apresenta os resultados e as implementações realizadas para a automação do aquecedor de fluido térmico, bem como suas partes.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e recomendações finais para trabalhos futuros baseados na implementação do projeto proposta por esse trabalho de monografia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aquecedor de Óleo Térmico

O aquecedor de óleo térmico é um equipamento que realiza o aquecimento do fluido térmico por meio de diversas maneiras como por exemplo resistências térmicas, queimador industrial ou pela queima de biomassa em fornalhas, por onde esse óleo térmico passa e tem sua temperatura elevada entre 120 °C a 320 °C, variando essa temperatura de acordo com o processo, formando-se um ciclo fechado onde o fluido térmico circula aquecendo o equipamento e retornando para os aquecedores onde ocorre incremento de temperatura para manutenção da carga térmica requerida em dado instante do processo (RODRIGUES, 2012, p.31).

Um aquecedor de fluido térmico funciona como um trocador de calor, segundo Pêsoa e Spinola (2014, p. 111) um trocador de calor tem por função aquecer um fluido que entra em um reservatório, circula através de uma serpentina e transfere o calor para o fluido em aquecimento e nesse caso, o processo de troca de calor significa que ocorre adição de energia térmica ao fluido em aquecimento.

Para Rodrigues (2012, p. 30):

“O sistema de aquecimento por óleo térmico é utilizado nos diversos processos produtivos, em que se necessita de um aquecimento indireto. Trata-se de um circuito fechado, onde um fluido específico recebe energia térmica no aquecedor, elevando com isto sua temperatura, transporta esta energia térmica através de sua circulação em uma tubulação até o ponto de consumo, trocando este calor absorvido nas mais diversas máquinas e aquecendo com isto produtos, sistemas ou ambientes”.

2.2 Óleo Térmico

Pode-se considerar como fluido térmico todo e qualquer líquido que em um determinado sistema desempenhe o papel de condutor de energia térmica da fonte produtora, que pode ser um aquecedor ou uma caldeira, para o ponto de consumo. Assim sendo, um dos mais comuns fluidos térmicos que conhecemos é a água, seja na fase líquida ou na fase vapor. No entanto, denominamos tecnicamente de “fluido térmico”, os óleos especificamente desenvolvidos para trabalhar como um meio de ligação entre a fonte de energia térmica e um ponto de consumo de calor. Podemos dividir os fluidos térmicos em orgânicos ou sintéticos, de acordo com a sua aplicação e principalmente em função da temperatura de operação. Ainda segundo o autor, as principais características que um fluido térmico deve possuir são: estabilidade térmica, calor específico elevado, alta condutividade térmica, baixa viscosidade e alta vida útil (RODRIGUES, 2012, p.38).

2.3 Motor Elétrico de Indução

Os motores elétricos trifásicos precisam de menos manutenção e por isso são os mais utilizados na indústria. Principalmente o motor de gaiola de esquilo onde a única parte móvel é o rotor. No motor de indução trifásico, como não existe qualquer circuito de chaveamento ou comutação, esse motor pode ser usado em tensões bem altas, pois em tensões altas há a possibilidade de que os motores sejam projetados em tamanhos grandes, diminuindo a corrente e mantendo a potência (HAND, 2015, p.146).

Os motores trifásicos de corrente alternada são, de acordo com Franchi (2009, p. 21), “conversores eletromagnéticos de energia que convertem energia elétrica em energia mecânica”. Segundo esse mesmo autor o motor assíncrono é constituído de um circuito magnético estático (estator), bobinas e rotor. O rotor é apoiado em uma cavidade que transmite à carga a energia mecânica produzida. O motor mais comum é o motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo.

O motor elétrico de indução é constituído por um enrolamento acomodado no estator que, em contrapartida, é fixado na sua carcaça. Com a combinação da corrente que circula nas bobinas com defasagem elétrica entre as fases e a defasagem espacial entre as próprias bobinas surge como resultante um campo eletromagnético girante que atravessa o rotor do motor e faz com ele sofra rotação. Os motores de indução de baixa tensão são comercialmente fabricados com dois (3600 rpm), quatro (1800 rpm), seis (1200 rpm) e oito polos (900 rpm), para frequência de 60 Hz (FERNANDES FILHO; DIAS, 2014, p 78-79).

2.4 Bombas Elétricas

Conforme explica Fernandes Filho e Dias (2014, p. 128) as bombas podem ser agrupadas em dois grandes grupos em função do seu princípio de funcionamento, sendo as “turbobombas” que transformam a energia mecânica fornecida por um motor elétrico em energia hidráulica por meio da aceleração do fluido através de um impelidor e seguido de uma expansão em um difusor, transformando parte da energia cinética em energia piezométrica. As turbobombas podem ser centrífugas, axiais ou mistas. Já as “bombas de deslocamento positivo” transformam energia mecânica diretamente em energia piezométrica. Neste caso, um elemento propulsor promove o deslocamento do fluido. As bombas de deslocamento positivo mais comuns são as de pistão, êmbolo e diafragma, palhetas, engrenagens, parafusos e rotativas.

2.4.1 Bomba de Engrenagens

Também chamada de bomba de engrenagens externas, consiste em um par de engrenagens iguais que são montadas em uma carcaça de forma que haja uma entrada e uma saída e com vedação lateral por tampas. Assim, umas das engrenagens, que é fixa ao eixo, é encarregada pela transmissão do movimento. Já

a outra engrenagem é montada livre sobre o eixo. Deste modo, com o movimento rotativo entre dois dentes subsequentes de cada engrenagem e o estator são formadas células de transporte de fluido. Já na câmara de saída, o engrenamento contínuo do par promove a expulsão do fluido de cada célula para a abertura de saída (LINSINGEN, 2001, p. 144-145).

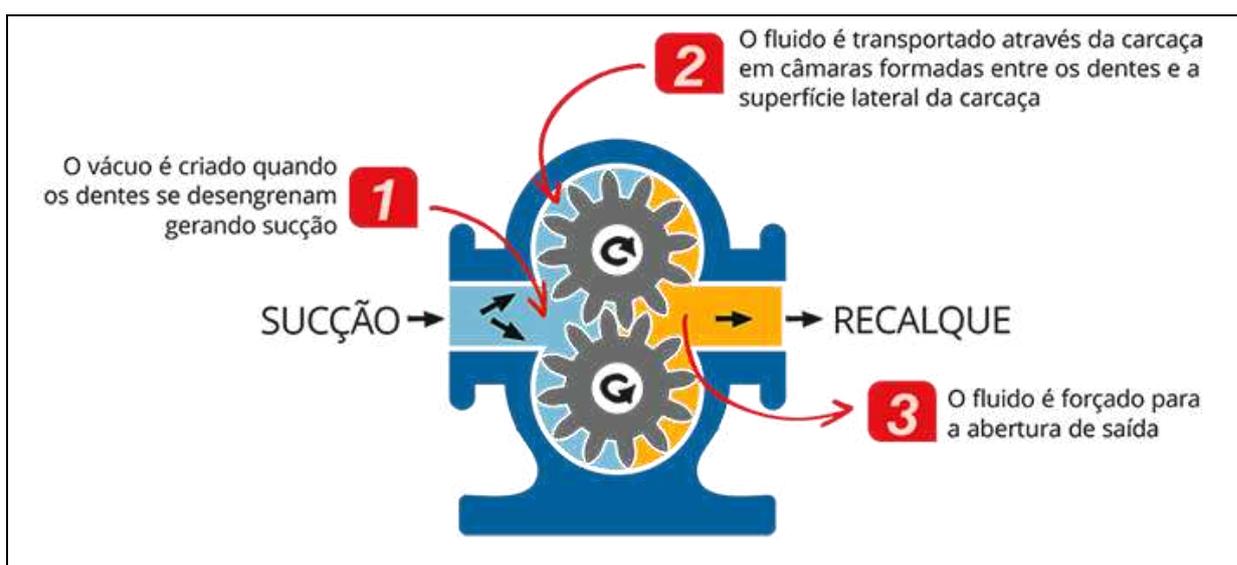


Fig. 1 – Bomba de engrenagem.
Fonte: Wortec Bombas (2022).

2.4.2 Bombas centrífugas

O nome de bomba centrífuga se dá pelo fato de ser uma força centrífuga a responsável pela maior parte da energia que o líquido recebe ao atravessar a bomba. É na passagem pelo rotor que se processa a transformação da energia mecânica nas energias de pressão e cinética, que são aquelas que o líquido pode possuir. Na saída do rotor o líquido penetra no difusor e é onde parte considerável de sua energia cinética é transformada em energia de pressão e segue para a tubulação de recalque (MACINTYRE, 2012, p. 54)

As bombas centrífugas, destaca Diéz (s.d., p. 3), são máquinas hidráulicas que transformam o trabalho mecânico em outro tipo hidráulico, onde os elementos construtivos em que consistem são: um tubo de sucção, o impulsor ou

rotor e um tubo de impulso. O rotor é formado por uma série de pás de várias formas que giram dentro uma concha redonda e está integralmente ligado ao eixo e é a parte móvel da bomba. Assim, o líquido penetra axialmente através do tubo de sucção até o centro do impulsor, que é acionado por um motor, sofrendo uma mudança de direção mais ou menos abrupta, passando para radial e adquirindo uma aceleração e absorvendo um trabalho. As pás do impulsor submetem as partículas líquidas a uma aceleração, sendo projetadas para fora pela força centrífuga, de modo que saem do impulsor em direção à voluta em alta velocidade, aumentando sua pressão no impulsor de acordo com a distância ao eixo. O invólucro é disposto em forma de caracol, de tal forma que a separação entre ele e o impulsor é mínimo no topo e a separação aumenta até partículas líquidas estão na frente da abertura de descarga.



Fig. 2 – Bomba centrífuga
Fonte: Seguas (2022).

2.5 Contatores

São chaves eletromagnéticas que mudam de posição quando percorridas por uma corrente elétrica, assim quando aplicamos tensão sobre a bobina, circula corrente elétrica que cria um campo eletromagnético que por sua vez, irá mover um embolo que possui contatos móveis acoplados que no fim do movimento tocam os contatos fixos do contator fechando essa chave. O contator é composto por bobina,

contatos de força, contatos de comando e demais dispositivos que auxiliam na função de interromper correntes elevadas (LELUDAK, 2010, p. 8).

O princípio e funcionamento de um contator, para Fernandes Filho e Dias (2014, p.43-44), são praticamente os mesmos de um relé eletromecânico, diferenciando-se pelo fato de seus contatos suportarem correntes elétricas elevadas e possuírem maior robustez estrutural. Classificam-se em contadores principal (circuito de força) e auxiliar (circuito de comando).

2.6 Chave de Partida Estrela Triângulo:

A chave de partida estrela triângulo, destaca Moro (2008, p.159), é utilizada quase que exclusivamente para partida de máquinas a vazio, ou seja, sem carga. Pois o conjugado de partida é proporcional ao quadrado da tensão de alimentação e, inicialmente, o motor parte com cerca de 20 a 50% do conjugado nominal (partida em estrela) e somente após ter atingido a tensão nominal é que a carga poderá ser aplicada (triângulo). A chave de partida estrela triângulo proporciona uma redução na corrente de partida de aproximadamente 33% de seu valor.

De acordo com Fernandes Filho e Dias (2014, p. 90) o método de partida estrela triângulo objetiva promover a ligação em estrela no decorrer do processo de partida e assim que o motor atingir 90% da rotação nominal, converter para triângulo. Deste modo, a corrente de linha nas bobinas do motor é reduzida em 1/3 em relação a corrente de linha na ligação em triângulo. Esse tipo de ligação só é possível para motores com seis ou 12 terminais.

2.7 Conversores de Frequência

Conversores de frequência para motores de indução trifásicos, também conhecido como inversor de frequência, tem a finalidade de variar a tensão e a frequência aplicadas no enrolamento do estator. A finalidade do inversor é possibilitar a variação e o controle de velocidade de operação do motor de indução, além de controlar também a partida e parada (aceleração e desaceleração) desses motores através do gradual variação da frequência aplicada (FERNANDES FILHO; DIAS, 2014, p. 95-97)

O conversor de frequência, de uma forma simplificada, é considerado como uma fonte de tensão alternada de frequência variável, com os blocos que são um retificador, um circuito intermediário (link CC com filtro), um inversor (converte CC em CA) e um circuito de controle (FRANCHI, 2009, p.59-60).

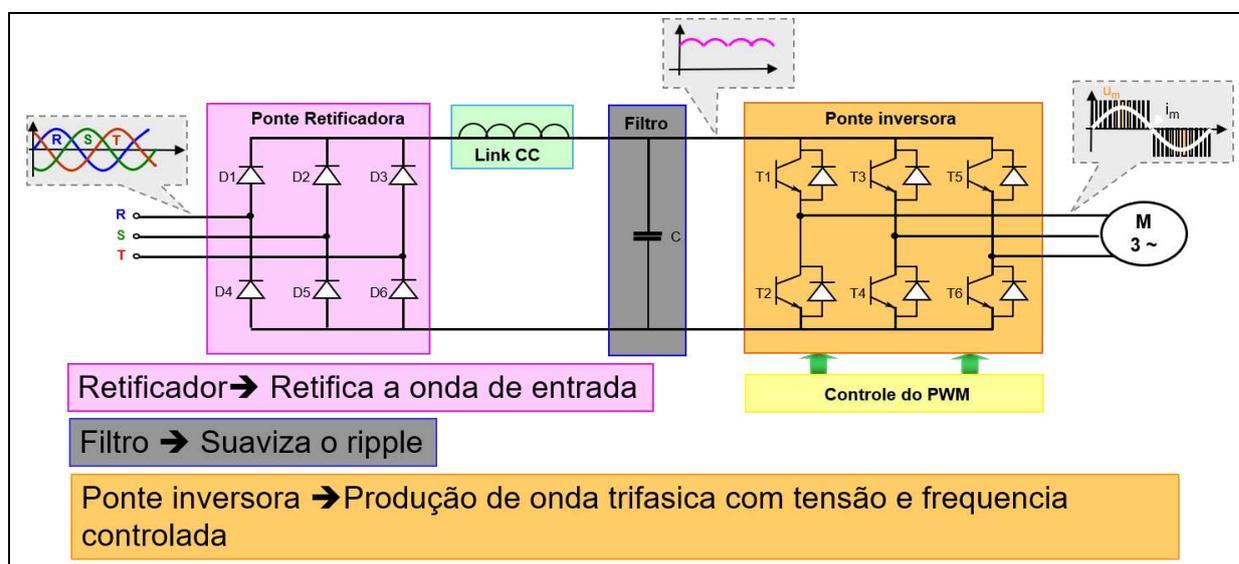


Fig. 3 – Ponte inversora do conversor de frequência.
Fonte: Blog da Schneider Electric (2022).

O módulo de controle do conversor de frequência tem como base unidades microprocessadoras, memórias e outros dispositivos eletrônicos. Esse módulo é responsável pelos disparos dos transistores de potência. Além disso, conta

com interfaces de comunicação do conversor com outros dispositivos e sistemas de controle (FERNANDES FILHO; DIAS, 2014, p 120).

Moro (2008, p. 202-208) explica que os conversores de frequência podem ser classificados, de acordo com o seu circuito de comando, em conversores com comando escalar, que fazem apenas o controle de velocidade do motor e, conversores de comando vetorial que fazem o controle de velocidade e torque, com respostas rápidas e de alta precisão. Nos conversores de frequência o bloco IHM (Interface Homem/Máquina) é utilizado para que se possa observar o que está ocorrendo com o conversor no display e para parametrizá-lo usando suas teclas, sendo um dispositivo de entradas e saídas de dados, para ajustes por exemplo de velocidade, tempo de aceleração/desaceleração e para acesso a dados de operação, como a corrente do motor, indicações de erros, entre outros.

2.8 Termopares

Os termopares surgiram a partir da descoberta de princípios e teorias associadas a efeitos termoelétricos de determinados materiais. Em um circuito fechado feito com fios de dois materiais heterogêneos vai surgir uma corrente elétrica fluindo caso a temperatura em um determinado ponto de uma extremidade seja diferente da temperatura em outro ponto na outra extremidade. Assim, uma FEM (força eletromotriz) é gerada e está relacionada com o campo elétrico formado devido ao aquecimento que é uma função do gradiente de temperatura nesse ponto. Deste modo um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada por fios diferentes e isso é usado para medir diretamente a diferença de temperatura ou medir a temperatura absoluta (THOMAZINE, 2011, p. 2011).

Para Ribeiro (1999, p. 324) os termopares transformam calor em eletricidade. São utilizados duas extremidades de dois fios de metais diferentes que são trançadas juntas para formar duas junções, sendo uma de medição e a outra de referência. O calor vai gerar uma tensão termelétrica e esta tensão é função da diferença de temperatura entre a junção de medição e a junção de referência, do tipo do termopar usado e da homogeneidade dos metais. Os termopares requerem

calibrações e inspeções periódicas para verificação do estado dos fios termopares, pois a degradação do termopar gera erros na medição.

Thomazini (2011, p. 94-96), explica que o que difere de um termopar para outro é o tipo de termoelemento e, no caso dos termopars tipo J, a composição é Ferro₍₊₎ e Cobre-Níquel₍₋₎. Os termopares tipo J tem uma faixa de utilização de -40 °C a 750 °C e podem ser utilizados em atmosferas oxidantes, inertes, redutoras e até no vácuo. São termopares de baixo custo.

Os termopares apresentam vantagens inerentes ao sistema elétrico que são o menor tempo de atraso; maiores distâncias de transmissão; maior flexibilidade para alterar as faixas de medição; maior facilidade para reposição do elemento sensor, quando danificado e maior precisão. Por outro lado, as desvantagens são que a característica temperatura *versus* resistência não é totalmente linear; o sinal de resistência pode captar ruídos na linha de transmissão; o circuito de medição é polarizado; requer circuito de compensação das variações da temperatura ambiente e a junta de medição pode se deteriorar, se oxidar e envelhecer com o tempo (RIBEIRO, 1999, p. 326).

2.9 Pressostato

Um pressostato, descreve Aguiar (2020, p. 40), é um dispositivo composto por um elemento sensor e uma unidade interruptora. O elemento sensor é responsável por monitorar a pressão atual do sistema e movimentar-se, caso essa pressão caia abaixo dos valores pré-ajustados. Esse movimento do elemento sensor irá atuar nos contatos elétricos da unidade interruptora, que comutarão, possibilitando sinalizar para o CLP que o compressor desligou ou que opera abaixo da pressão pré-estabelecida.

Pressostato é uma chave elétrica comandada pela pressão que muda os estados dos seus contatos quando a pressão atinge determinados valores críticos. Como por exemplo na economia e na segurança de um compressor de ar que deve ser desligado quando a sua pressão atingir um valor alto determinado e deve ser religado quando a pressão atingir um valor baixo determinado. Ajustes convenientes

no pressostato permitem que o compressor opere entre estes dois valores críticos de pressão (RIBEIRO, 1999, 25-26).

Ainda segundo Ribeiro (1999, p.24-25), pressostato é um controle liga-desliga de processos envolvendo pressão que pode servir de proteção de um sistema de controle de pressão. Um controlador convencional fornece uma pressão constante, dentro da banda proporcional. O pressostato protege o sistema de pressão desligando o equipamento que faz a pressão subir. Como o pressostato é comandado pela pressão, ele deve ter um sensor de pressão, geralmente mecânico como o Bourdon C, fole, espiral ou helicoidal.

2.10 Sistema de Malhas

2.10.1 Malha Aberta

É o sistema em que a ação de controle é independente da saída e, assim, a saída não tem efeito na ação de controle. A saída não é comparada com a entrada e, em alguns casos, não é medida. Podemos citar como exemplo deste tipo de sistema a máquina de lavar roupa, que após ter sido programada, as operações de molhar, lavar e enxaguar são feitas baseadas nos tempos pré-determinados e a máquina não se examina se estas foram executadas de forma correta (OLIVEIRA, 2013, p. 27).

Assim o sistema em malha aberta, explica Souza (2004, p.4), é quando o controlador gera o sinal para o atuador baseando-se no sinal piloto, sem captar nenhum dado sobre o andamento do processo, ou seja, é um sistema sem realimentação, onde o sinal de entrada é o próprio *setpoint*.

2.10.2 Malha Fechada

De acordo com Bojorge (2017, p. 44-45), em um sistema de controle por malha fechada as variáveis controladas sofrem correções à medida que as variáveis de entrada são atuadas, assim, a malha fechada ou de controle realimentado fornece uma ação corretiva baseada no desvio entre o PV (variável do processo) e SP (ponto de ajuste ou *setpoint*).

O controle de uma variável de processo tem como objetivo mantê-la constante e igual a um valor desejado ou que sofre pequenas variações, pois só se controla uma variável. Não se pode ou não há interesse em controlar grandeza que seja constante. O controle automático em um processo industrial é feito através de malha fechada com realimentação negativa (*feedback*), onde é medido a variável controlada na saída do processo, comparando-a com um valor de referência e atuando na entrada do processo, de modo a manter a variável controlada igual ao valor desejado ou variando em torno deste valor (RIBEIRO, 1999, p. 2.0.3)

O sistema de malha fechada, explica Oliveira (2004, p. 27) é o sistema no qual a ação de controle depende da saída, ou seja, a saída tem impacto direto na ação de controle. Na malha fechada a saída é sempre medida e comparada com a entrada a fim de diminuir o erro e buscar que o valor da saída do sistema seja o desejado.

De acordo com Souza (2004, p. 5), há várias vantagens da malha fechada em relação a malha aberta (sem controle), principalmente em relação a menor sensibilidade a interferências e ruídos. Com a realimentação do sistema qualquer desvio gera um erro que tende a ser compensado. Além de que, o sistema fica mais independente dos parâmetros da planta, pois ele passa a atuar sobre o sinal de erro. No entanto, é importante também perceber que existem desvantagens neste tipo de sistema de controle como por exemplo o custo mais elevado e a possibilidade do sistema atingir a instabilidade quando o ganho do controlador é muito alto.

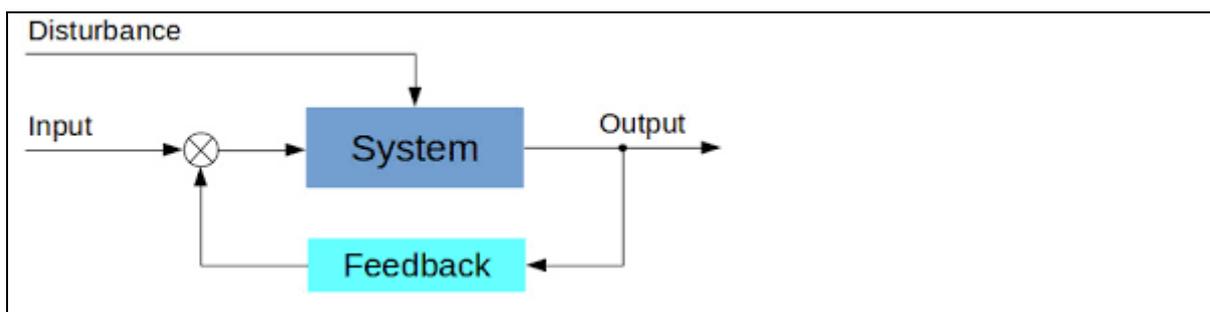


Fig. 4 – Malha fechada
Fonte: X- Engineer (2022).

A realimentação é o procedimento em que a informação da saída do sistema é utilizada na entrada deste mesmo sistema. A realimentação pode ser positiva ou negativa. A realimentação é positiva, quando o sinal do erro não é uma diferença ($SP - PV$), mas sim uma soma ($SP + PV$). A maioria das malhas fechadas de controle utiliza o princípio de realimentação negativa. A realimentação é negativa quando a atuação no processo é feita para diminuir o desvio entre a medição e o ponto de referência, ou seja, diminuir o erro ($SP - PV$). A realimentação negativa pode ajudar a estabilizar o processo. A ação do controlador é corretiva, ou seja, só há correção quando se detecta o erro entre a PV e o SP. Porém, mesmo que a detecção do erro seja rápida, a resposta de toda a malha de controle pode ser demorada. O atraso da resposta pode implicar em mau controle, com produto fora da especificação. Também, a malha de controle tem tendência a oscilar indicando a ocorrência de tentativas e erros. O sistema de controle não mede as perturbações, na maioria dos casos, mas sim, suas consequências. A saída do controlador é constante, e diferente de zero quando o erro for zero. Por definição, o controlador tem que estar atuando para eliminar o erro (OLIVEIRA, 2013, p. 28).

2.11 Controlador

O principal componente da malha de controle é o Controlador. Instrumento que recebe o ponto de ajuste SP e a medição da variável de processo PV, e a partir da comparação entre ambos produz um sinal automático de saída para

atuar no processo, de maneira a diminuir ou eliminar o erro entre os dois. Um Controlador é um equipamento que suas respostas devem estar previstas e embutidas em seus circuitos, de acordo com as respostas selecionadas pelo projetista para cada aplicação diferente. O Controlador detecta os erros infinitesimais entre SP e PV e responde instantaneamente, de acordo com os modos de controle e seus ajustes. O sinal de saída é função matemática do erro e esta função inclui as três ações de controle: proporcional, integral e derivativa. A combinação dessas três ações com ajustes apropriados é suficiente para o controle satisfatório e aceitável da maioria das aplicações práticas (OLIVEIRA, 2013, p. 26).

Os controladores, que são elementos de medição (transmissores) dentro de uma malha, proporcionam a ação de controle necessária para posicionar o EFC (elementos finais de controle) em um ponto necessário para manter a PV no SP desejado. Esse controle pode ser: PID (*single loop feedback controller*), DCS (*distributed controllers*) ou PLC (*programmable logic controllers*). Esses dispositivos podem controlar válvulas pneumáticas, válvulas solenoides, válvulas rotativas, motores, switches, elementos finais de controle, relés, variadores de frequência entre outros. (BOJORGE, 2017, p. 14-16).

2.12 Controle PID

O nome PID vem do fato de que sua função de transferência contém a soma das três parcelas que correspondem a efeitos Proporcional, Integrador e Derivador do sinal de erro atuante. Sendo que os parâmetros são de fácil ajuste e sua construção é adequadamente robusta para ambientes industriais. Os controladores PID, inseridos nos computadores industriais e controladores lógico programáveis, mantêm-se como sendo um dos principais equipamentos de controle. (CASTRUCI, 2018, p. 234)

O controlador proporcional mais integral mais derivativo possui as três ações de controle e é o mais completo possível. Repetindo os objetivos das ações a ação proporcional estabiliza o processo, provocando uma correção proporcional ao valor do erro, imediatamente, a integral é uma ação auxiliar que suprime o desvio

permanente, produzindo uma correção proporcional à duração do erro, depois da ação proporcional, a derivativa é uma ação adicional que apressa a correção, gerando uma ação proporcional à velocidade da variação do erro, antes da ação proporcional. (RIBEIRO, 1999, p.191).

O controle automático, destaca Pêsoa e Spinola (2014, p.3), propicia meios para o desempenho otimizado de equipamentos, melhora a qualidade, reduz os custos, aumenta a produtividade e substitui a mão de obra. Funciona de forma a manter a grandeza controlada dentro de valores predeterminados apesar da existência de perturbações que possam desviar os valores dessa grandeza. Os sistemas de automação atuam no controle de grandezas físicas de uma maneira geral, para controlar um processo qualquer. O termo processo é utilizado para identificar qualquer operação a ser controlada pelo sistema de automação.

3 METODOLOGIA

Primeiramente foram feitas análises em campo, ou seja, algumas visitas a empresa para entender o funcionamento do sistema e conhecer o equipamento e do problema informado. Foi demandado um tempo na coleta desses dados e no acompanhamento do funcionamento do sistema na busca de informações sobre suas características e peculiaridades funcionais. Buscando-se a investigação da condição de funcionamento do sistema, comparando-a com outros equipamentos já disponíveis no mercado.

Foram analisados as condições iniciais de funcionamento e realizado um processo de melhoria no equipamento com operação somente por operadores, que passaram a contar com sistema automatizado que faz o controle do processo, conforme as necessidades de operação.

De forma comparativa, foram propostas outras duas configurações para o sistema, buscando-se melhorar a eficiência do equipamento, sendo uma opção utilizando um CLP e conversores de frequência e outra opção apenas com conversores. Sendo que a segunda opção foi a escolha da empresa de acordo com os custos de implementação e levando-se em consideração também a segurança e eficiência do processo.

4 PROJETO DETALHADO

4.1 Aquecedor de Óleo Térmico

O aquecedor de óleo térmico em questão é um equipamento que utiliza como fonte de alimentação para geração de energia térmica, a biomassa, ou seja, lenha e principalmente cavaco.

O aquecedor basicamente consiste em uma serpentina dupla, fabricada em tubos de aço com propriedades específicas para aquecimento, que fica sobre uma fornalha. No seu interior fica a serpentina por onde passa o óleo térmico, em um sistema de malha fechada. Esse óleo aquecido será utilizado como fonte de energia para a realização dos processos químicos da empresa.

Existem muitos modelos de aquecedores no mercado e a maioria utiliza queimadores industriais como gerador de calor. O modelo desta aplicação utiliza como fonte de energia a queima de lenha. Para entender melhor seu funcionamento será descrito a seguir seus principais componentes eletromecânicos:

Componente	Função
Bomba hidráulica (com motor elétrico de 15 cv)	Bomba para promover a circulação e pressurização do óleo térmico pela tubulação do sistema.
Bomba de engrenagem (com motor elétrico de 1 cv)	Para enchimento da tubulação e até o nível do tanque de expansão, com óleo térmico.
Exaustor (com motor elétrico de 5 cv)	Exaustor da chaminé para expulsar a fumaça da fornalha
Termopar tipo J	Para medição da temperatura do óleo térmico na entrada e na saída da tubulação do aquecedor
Manômetro	Para visualização da pressão do óleo térmico na tubulação

Quadro 1 – Componentes Elétricos e Mecânicos do Aquecedor

Fonte: O Autor



Fig. 5 – Aquecedor de óleo térmico antes da instalação.
Fonte: O autor (2022).

4.2 Modo de operação do Aquecedor:

No início do processo, a fornalha do aquecedor é preenchida com lenha e dá-se o início da combustão dessa lenha para a geração de energia térmica para o aquecimento de óleo térmico, até atingir a temperatura de *setpoint*, que fica entre 290 °C e 320 °C, aproximadamente.

É necessário encher toda a tubulação da serpentina com óleo térmico, através da bomba de engrenagem, até que seja possível identificar o nível de óleo no tanque de expansão. O acionamento da bomba de engrenagem é feito de modo manual por um operador.

Para que ocorra o aquecimento do óleo de forma homogênea e de modo seguro, para que não haja o risco de queima do óleo, a bomba de circulação fica ligada durante todo o processo e tem a função de manter o óleo em movimento pela sistema de tubulação e serpentina do aquecedor. Para que a circulação de óleo ocorra corretamente há a necessidade de que essa bomba mantenha o óleo na tubulação a uma pressão mínima de 2 kgf/cm^2 . O acionamento da bomba de circulação e o acompanhamento da pressão na tubulação de óleo através de um manômetro é feito pelo operador.

Após o óleo térmico alcançar a temperatura ideal, as válvulas mecânicas são abertas para enviar o óleo até o local onde esse óleo será utilizado no processo químico da empresa.

4.3 Automação do aquecedor:

Para diminuir a intervenção humana, melhorar a segurança e a eficiência desse equipamento, foram feitas algumas adaptações importantes. A seguir os principais pontos para adequação do equipamento:

4.3.1 Alteração da fonte de alimentação do aquecedor:

A matéria-prima utilizada para geração de energia foi alterada, trocando-se a lenha pelo cavaco. A alimentação da fornalha do aquecedor que era feita com lenha por um operador, foi substituída por um sistema composto por um reservatório de cavaco que possui uma rosca transportadora na sua parte inferior. O cavaco possui granulometria menor que a lenha e sua queima é mais rápida.

4.3.2 Instalação de reservatório com rosca transportadora:

Para o armazenamento do cavaco foi construído um reservatório em aço, em formato que afunila de cima para baixo, com uma rosca transportadora na sua parte inferior. Essa rosca foi conectada a um motorreductor com motor elétrico que é acionado por um conversor de frequência, que faz com que a rosca gire com uma velocidade controlada para enviar o cavaco para o interior da fornalha do aquecedor.

4.3.3 Instalação de um soprador de ar:

Com a substituição da lenha por cavaco, foi necessário instalar um soprador de ar na parte inferior da entrada da fornalha, com o objetivo de injetar ar e contribuir para uma queima homogênea do cavaco e evitar que o acúmulo desse material extinga o fogo.

4.3.4 Controle de velocidade do exaustor de ar:

O motor do exaustor de ar do aquecedor que ficava o tempo todo ligado a uma velocidade máxima e constante, foi modificado para ser controlado por um conversor de frequência, para ser possível regular a velocidade de acordo com a temperatura do óleo térmico.

4.3.5 Controle da pressão de circulação do óleo térmico:

Uma variável de entrada importante nesse sistema de aquecimento é a pressão do óleo térmico no interior da tubulação. Essa leitura da pressão que era

feita visualmente pelo operador no manômetro, passou a ser feita por um pressostato. Caso a pressão venha a atingir valores abaixo do mínimo ajustado, o pressostato desliga o exaustor e a rosca transportadora, para evitar que o óleo térmico venha a sofrer degradação.

4.3.6 Principais componentes eletromecânicos utilizados na automação desse sistema:

Componentes	
Controlador de temperatura (marca Novus modelo N1200)	Para leitura do sensor tipo J e retransmissão de sinal analógico de 4 a 20 mA para o conversor de frequência
Conversor de frequência (marca ABB modelo ACS350 220V)	Para controle de velocidade do exaustor e motorreductor da rosca transportadora
Pressostato (marca Danfoss modelo Kp36)	Controle da pressão do óleo térmico durante a circulação.
Motorreductor (com motor elétrico de 2 cv)	Para movimentação da rosca transportadora que alimenta a fornalha com cavaco
Soprador de ar (com motor elétrico de 2 cv)	Para injeção de ar na grelha da fornalha para melhorar a queima do cavaco.

Quadro 2 – Componentes eletromecânicos.

Fonte: O autor (2022).

4.3.7 Funcionamento do aquecedor após a automação:

A principal variável a ser controlada nesse processo é a temperatura do óleo térmico que precisa estar entre 290 °C e 320 °C, para que possa ser utilizado. Essa temperatura é medida na entrada e na saída do aquecedor pelos termopares e essas informações são enviadas até os controladores de temperatura. Um dos controladores faz somente a leitura da temperatura, para visualização e acompanhamento do operador. O outro controlador faz a conversão do sinal recebido pelo termopar e retransmite um sinal analógico de 4 a 20 mA para o conversor de frequência principal.

O conversor de frequência principal controla a velocidade do exaustor e é programado com uma lógica interna através de um bloco de comando PID. O segundo conversor de frequência, que faz o acionamento da rosca transportadora, é controlado pelo conversor principal.

Sendo assim, o primeiro conversor de frequência do exaustor atua como 'mestre' e o conversor de frequência do rosca transportadora atua como 'escravo'. O conversor da rosca também recebe um sinal de 4 a 20 mA.

Deste modo, enquanto a temperatura está em valores muito distantes do *setpoint* a velocidade do exaustor e da rosca transportadora permanecem em valores máximos. À medida que a temperatura se aproxima do *setpoint*, as velocidades da rosca transportadora e do exaustor vão diminuindo de maneira controlada para que o *setpoint* seja atingido.

A velocidade da rosca transportadora foi ajustada com valores máximos e mínimos bem próximas, pois a velocidade deve ser suficiente para transportar a quantidade ideal de cavaco interior da fornalha do aquecedor, evitando excesso de depósito e o abafamento do fogo.

Essa rosca transportadora foi fixada em um motoredutor com proporção de 1/40 e acoplado a um motor trifásico de indução de 2 cv.

Por sua vez, o exaustor foi ajustado com velocidade máxima de 60 Hz e velocidade mínima de 45 Hz.

Na parte da fornalha, para melhor circulação de ar e queima do cavaco, há na parte da entrada uma grelha em formato de escada onde o cavaco, oriundo da rosca transportadora, é depositado. Na parte inferior dessa grelha foi acoplado um soprador que fica promovendo injeção de ar durante todo o processo e contribui para uma queima homogênea evitando que o cavaco que vai sendo depositado fique acumulado em um só local e apague o fogo.

	Sinal Analógico	Frequência do Motor	Velocidade do Motor (velocidade teóricas)
Rosca Transportadora	4 mA	60 Hz	1800 rpm
	20 mA	30 Hz	900 rpm
Exaustor	4 mA	60 Hz	1800 rpm
	20 mA	45 Hz	1350 rpm

Quadro 3 – Sinal analógico x Velocidade do motor.

Fonte: O Autor (2022).

Como pode-se observar no quadro 3, temos os valores máximos e mínimos das frequências do motor e, por consequência, das velocidades da rosca transportadora e do exaustor de acordo com o sinal analógico enviado pelo controlador de temperatura para o conversor de frequência, sendo que a velocidade máxima dos motores se dá com sinal de 4 mA (temperatura afastada do *setpoint*) e a velocidade mínima quando o sinal analógico é de 20 mA (temperatura de *setpoint* atingida).

4.3.8 Quadro elétrico de comando:

Todos os componentes de comando, controle e segurança estão em um quadro de comando. Os componentes elétricos foram ligados em rede elétrica de tensão 220 V trifásico. Para o motor da bomba de circulação foi montado uma partida do tipo Estrela Triângulo e para os motores da bomba de engrenagem e motor do soprador uma partida do tipo direta, de acordo com os seguintes diagramas elétricos:

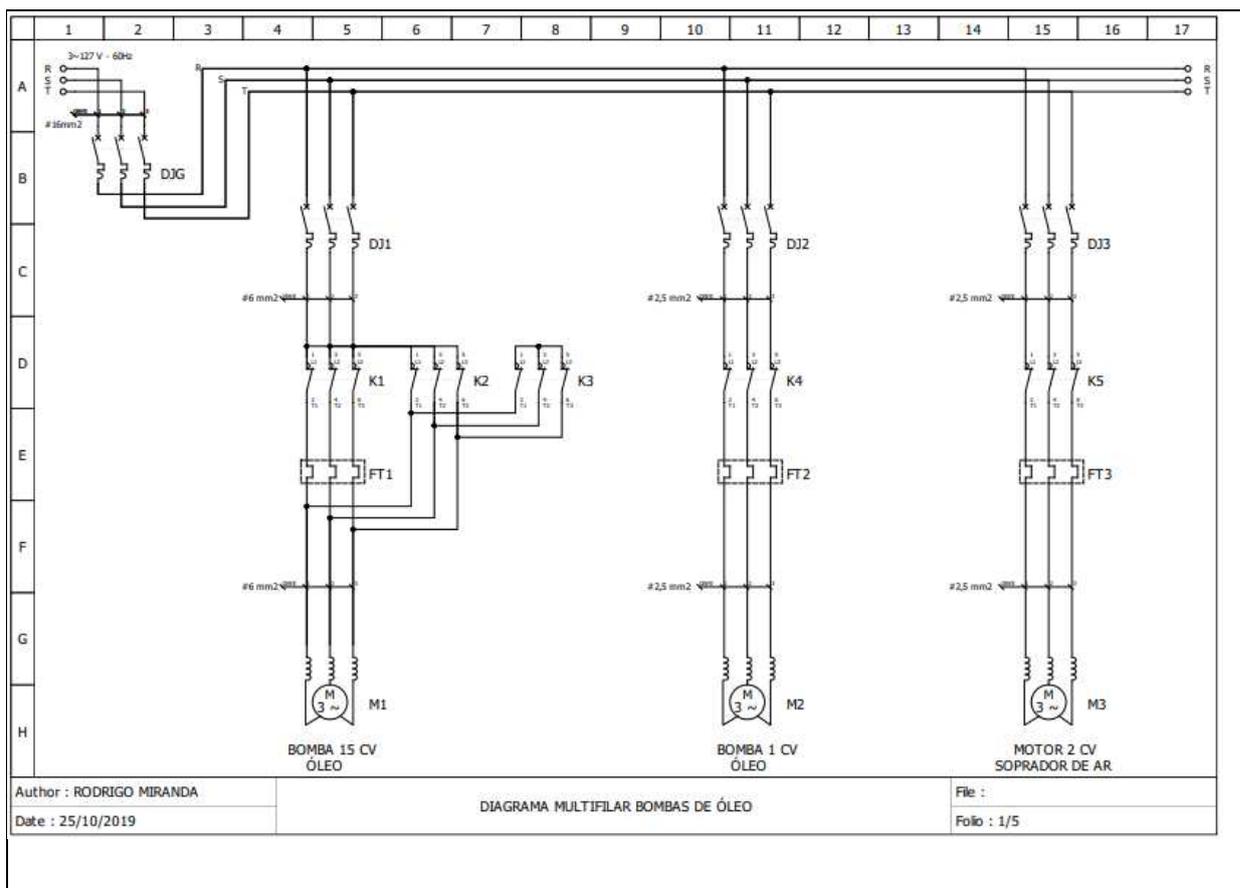


Fig. 6 – Diagrama multifilar de força para os motores elétricos da bomba de circulação, da bomba de engrenagem e do soprador.
 Fonte: O autor (2022).

Para os motores elétricos do exaustor e da rosca transportadora foram utilizados conversores de frequência da marca ABB do modelo ACS355:

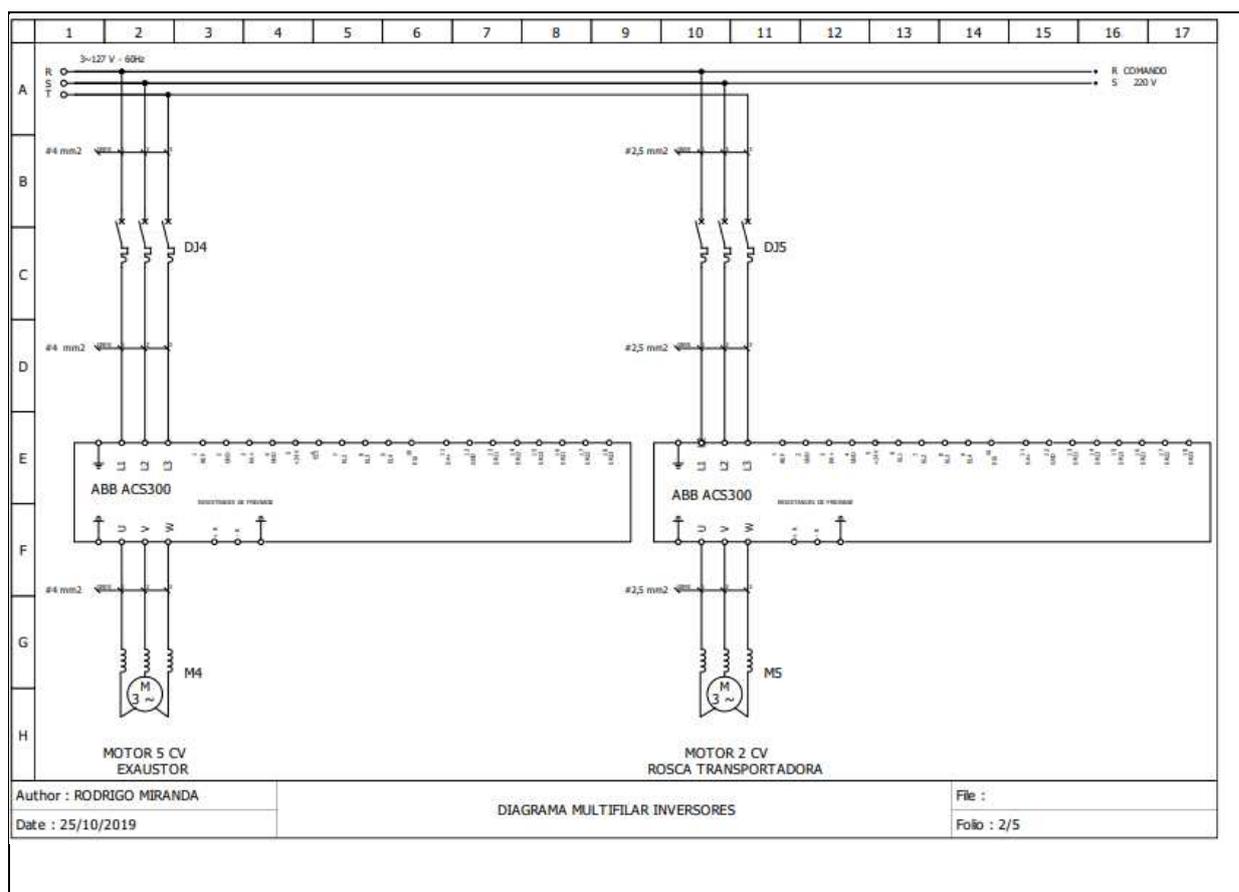


Fig. 7 – Diagrama multifilar de força para motores do exaustor e, rosca transportadoras acionados por conversores de frequência.
Fonte: O autor (2022).

A seguir teremos o diagrama elétrico de comando entre todos os componentes e a lógica de controle do aquecedor de óleo térmico. Neste diagrama elétrico observa-se que há possibilidade de controle dos conversores de forma manual e automática. Na primeira opção os conversores podem ser ligados manualmente e não são controlados de acordo com a lógica de controle PID. A velocidade do exaustor, por exemplo, pode ser ajustada manualmente por um potenciômetro. Essa opção é apenas na etapa de *startup* do equipamento para ajustes. Na opção automática, os conversores já seguem a lógica de controle em função do *setpoint*.

A partida do soprador e da bomba de engrenagem é feita de maneira manual em todos os casos. A bomba de engrenagem é utilizada só no início do processo para completar o nível de óleo térmico no sistema. O soprador fica o tempo

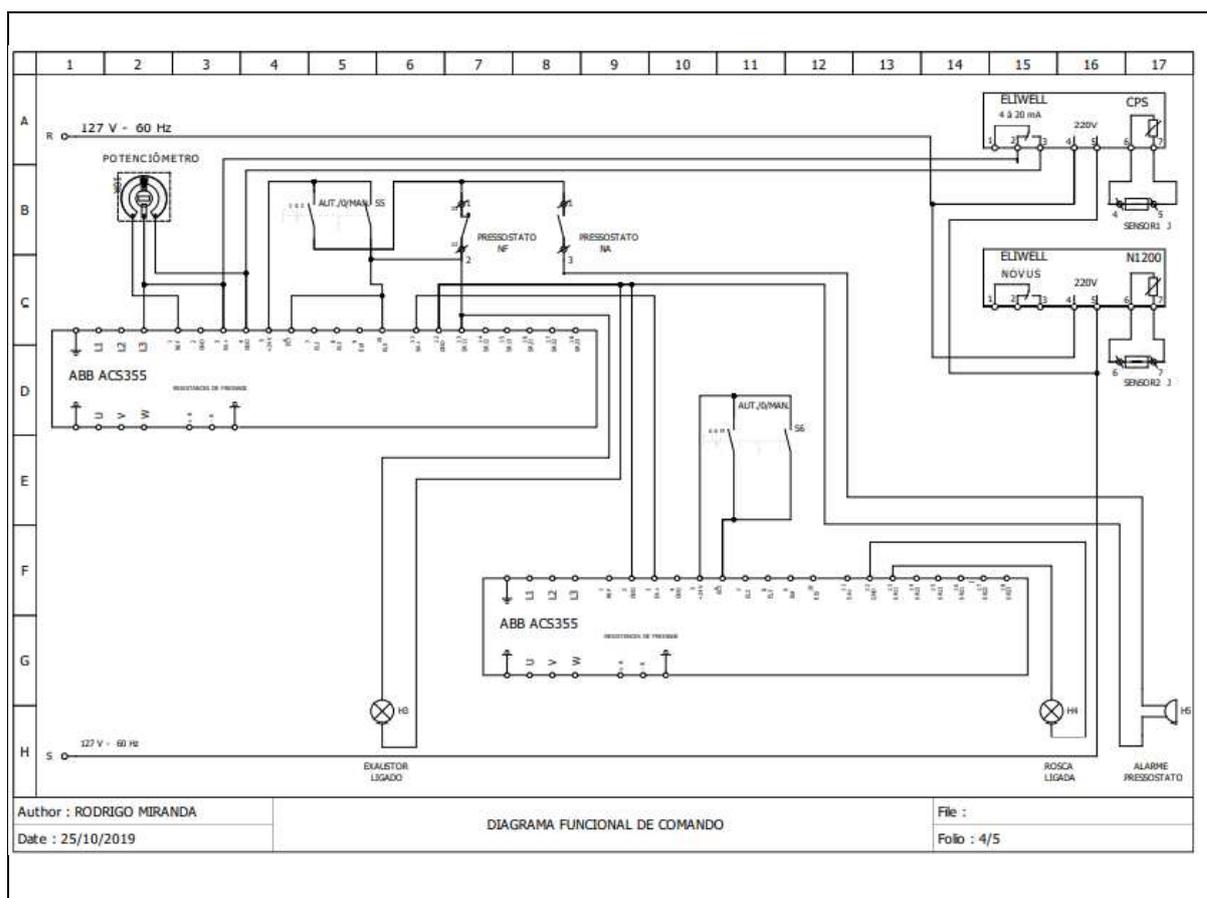


Fig. 9 - Diagrama funcional de comando do aquecedor de óleo térmico (parte 2).
Fonte: O autor (2022).

Caso a pressão da tubulação do sistema de circulação do óleo térmico fique abaixo do valor mínimo ajustado, o pressostato interrompe o sinal para o conversor de frequência e as velocidades tanto da rosca transportadora quanto do exaustor convergem para valores mínimos. Neste caso, também é acionado um alarme luminoso e sonoro no painel de comando para indicar ao operador a falha na pressurização da rede.

Observamos que nesta aplicação este tipo de sistema é em malha fechada, pois a informação da temperatura tem influência na quantidade de energia liberada, formando um elo fechado.

4.3.9 Comissionamento

Depois de concluída a instalação, inicia-se o comissionamento do equipamento para a verificação de que os instrumentos de campo e os sistemas de controle instalados cumprem e funcionam de acordo com a intenção do projeto, integrando, conferindo, testando e avaliando o funcionamento de todas as partes do equipamento e instalações, de forma a garantir o seu uso em condições normais de operação.

Na figura abaixo podemos observar o aquecedor instalado:



Fig. 10 - Aquecedor de óleo térmico instalado.

Fonte: O autor (2022).

A seguir o painel de comando elétrico do aquecedor, frente e interior do painel com os conversores, contadores, etc.:



Fig. 11 – Quadros de comando do aquecedor de óleo térmico.
Fonte: O autor (2022).

O quadro de comando elétrico possui uma chave seletora para energizar o painel, uma chave seletora para partida manual da bomba de circulação e soprador. Já para o exaustor e rosca transportadora a chave seletora possui a opção automático e manual. A opção manual é somente para ajustes iniciais de partida do equipamento. Também tem um botão de parada de emergência e dois controladores de temperatura, sendo um apenas para visualização e acompanhamento da temperatura pelo operador e, outro controlador, para fazer a leitura do termopar e retransmissão do sinal de 4 a 20 mA para os conversores.

A bomba de engrenagem é a primeira a ser acionada para enchimento da tubulação com óleo térmico. O acionamento dessa bomba é manual (partida direta):



Fig. 12 – Bomba de Engrenagem.
Fonte: O autor (2022).

Após o sistema ser preenchido com o óleo térmico é necessário acender a fornalha e, para isso, inicialmente é usado um pouco de lenha. Os próximos passos é acionar o motorreductor para inserir o cavaco para o interior da fornalha, ligar o soprador de ar e acionar a bomba hidráulica de circulação do óleo.

Abaixo temos o motorreductor acoplado a rosca transportadora que fica na parte inferior do armazenador e é responsável por enviar o cavaco para o interior da fornalha:



Fig. 13 – Motorreductor e rosca transportadora do armazenador de cavaco.
Fonte: O autor (2022).

A bomba de circulação de óleo possui um motor de 15 cv. Pode-se observar na figura 14 que logo na saída da bomba tem-se o manômetro e o pressostato:

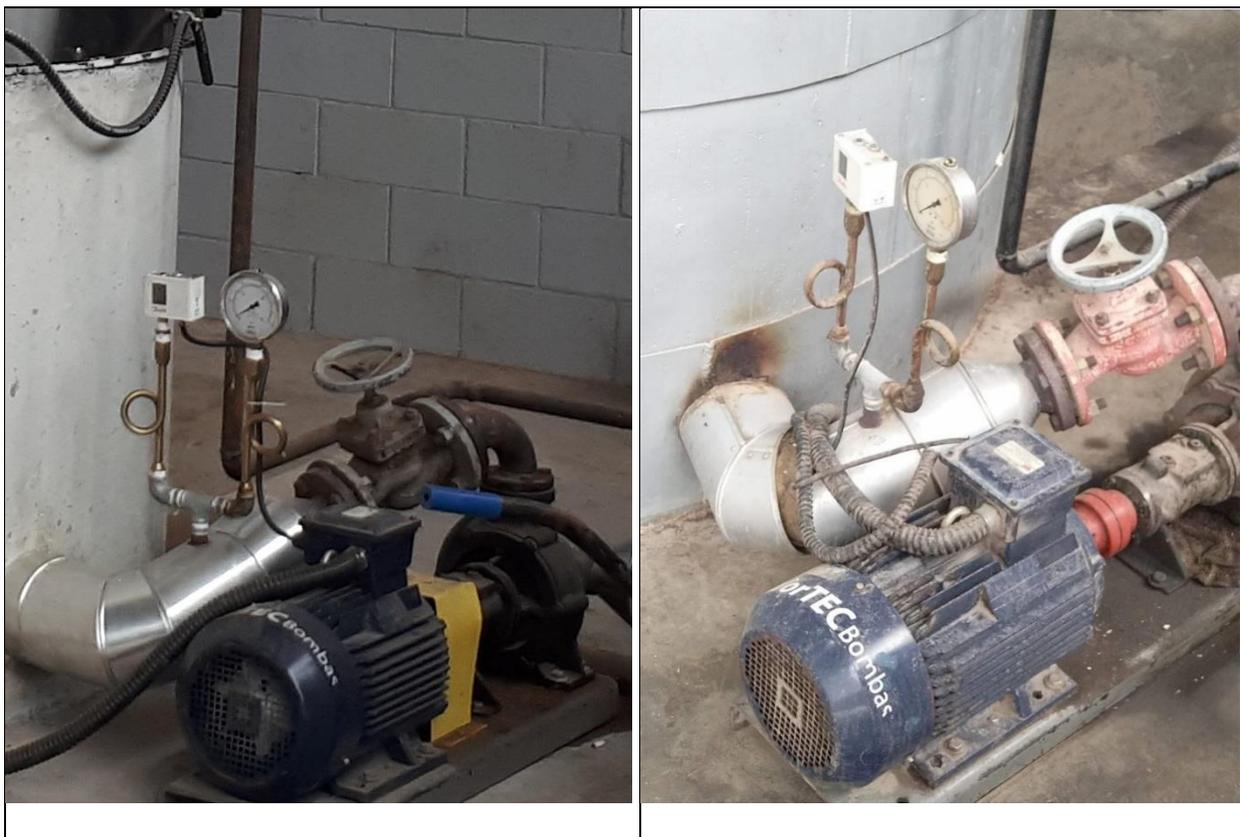
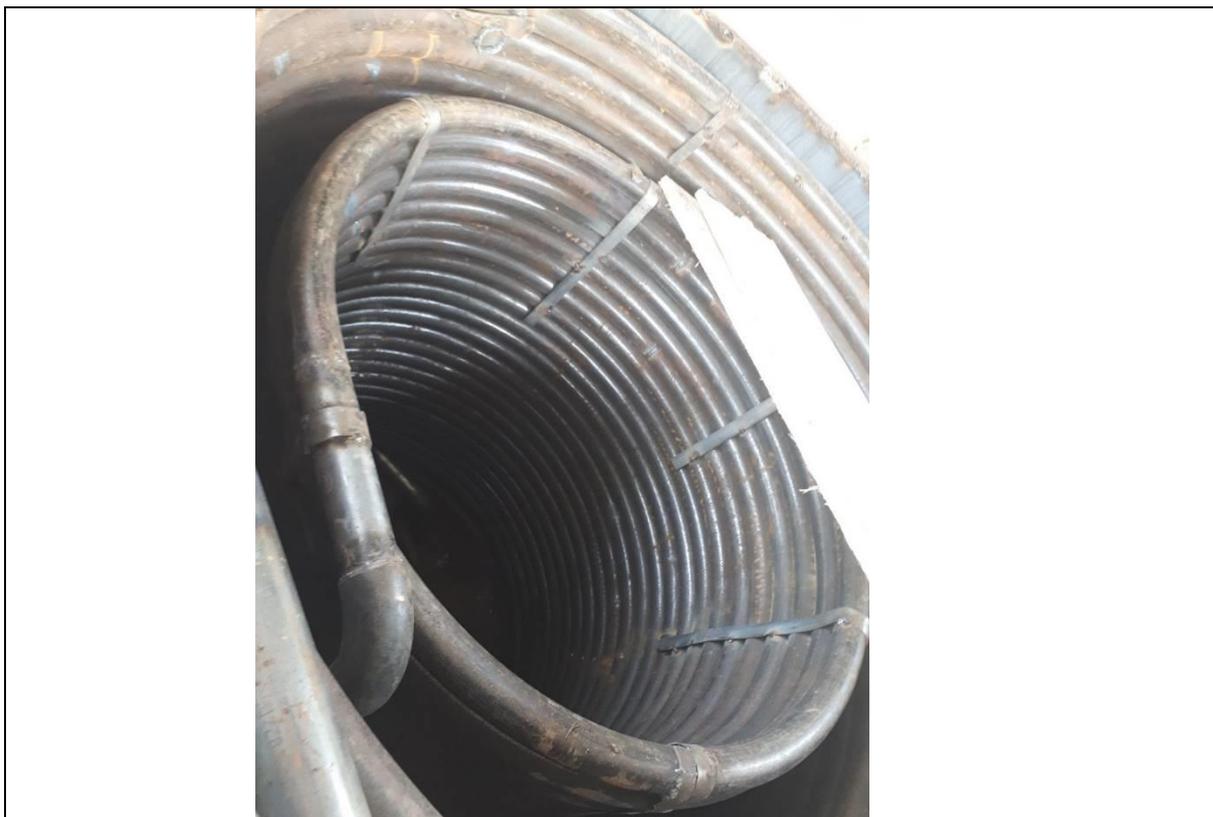


Fig. 14 – Bomba centrífuga de circulação de óleo térmico, manômetro e pressostato.
Fonte: O autor (2022).

A figura 15 mostra o interior do aquecedor onde está a serpentina dupla por onde o óleo térmico circula para aquecimento. Essa serpentina fica na parte superior da fornalha:



**Fig. 15 – Serpentina no interior do aquecedor de óleo térmico (foto na fase de fabricação).
Fonte: O autor (2022)**

Outro componente a ser acionado quase ao mesmo tempo que se acende a fornalha é o motor do exaustor, de 5 cv, que fica na parte superior do aquecedor e está acoplado a chaminé:



**Fig. 16 – Motor do exaustor para chaminé.
Fonte: O autor (2022).**

Na saída do aquecedor temos os dois termopares tipo J que medem a temperatura do óleo térmico:



**Fig. 17 – Termopares tipo J na saída do aquecedor de óleo térmico.
Fonte: O autor (2022).**

Logo abaixo da entrada da fornalha o soprador de ar, com motor de 2 cv, que fica ligado durante todo o processo:



Fig. 18 – Soprador de ar.
Fonte: O autor (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do controle automático do sistema de aquecimento do equipamento apresentou de forma geral um resultado satisfatório para o cliente, pois o aquecedor passou a funcionar em tempo integral no automático. O operador ficou responsável por realizar apenas uma rotina bem simples que é verificar se o sistema está funcionando e monitorar eventuais alarmes, conferir o fogo da fornalha e a temperatura do óleo, até que este atinja o ponto em que estiver pronto para ser utilizado.

As operações necessárias para o pleno funcionamento do aquecedor ganharam precisão e confiabilidade. Foi entregue ao cliente um sistema de controle inteligente de geração de energia térmica de forma automatizada. Contando com uma lógica de controle PID em malha fechada, que controla a velocidade da rosca transportadora e do exaustor.

Após o *startup* do aquecedor foram feitas algumas alterações no projeto inicial para melhoria da qualidade e eficiência do controle:

- Foram trocados os termopares tipo J de baioneta por termopares tipo J com cabeçote.

- Foi necessário abrir uma segunda porta na fornalha para se colocar lenha para iniciar a queima, pois apenas o cavaco demorava muito para se atingir uma chama grande e de qualidade.

- A velocidade da rosca transportadora precisou ser ajustada várias vezes e foi necessário aumentar o torque de partida, no conversor de frequência, em função do conjugado que ficou alto, pois o cavaco algumas vezes prensava na rosca e desarmava o conversor no momento da partida.

- O motorreductor precisou ser trocado por outro com um motor um pouco maior e com uma relação de redução 1 para 60.

6 CONCLUSÃO

O aquecedor de óleo térmico trabalhando com o sistema automático de controle de malha fechada com a lógica PID proporcionou um resultado satisfatório pois trouxe uma economia considerável, visto que além de se fazer o controle de velocidade da rosca transportadora e do exaustor, a principal economia foi a do consumo de biomassa. Pois com a substituição da lenha pelo cavaco e com a queima controlada, passou-se a evitar a queima em excesso e gastos desnecessários, tanto com material quanto com energia elétrica.

Com o sistema manual o operador alimentaria a fornalha com lenha sem ter um controle efetivo da temperatura e da quantidade de lenha necessária, gerando consumo excessivo. Com o controle automático, o cavaco passou a ser queimado de maneira controlada e somente quando necessário. A utilização de conversores de frequência também geraram economia de energia elétrica, visto que os motores tanto da rosca quanto do exaustor trabalham em velocidades controlada em função da temperatura do óleo. Com a temperatura do óleo térmico próxima ao *setpoint* ou depois de atingir a temperatura ideal, as velocidades dos motores são muito reduzidas e, por consequência, há economia de energia elétrica e de consumo de cavaco na fornalha.

Com a automação do aquecedor as funções do operador passaram a ser apenas o de iniciar a combustão na fornalha, ligar o soprador e a bomba de óleo térmico, e conferir algumas variáveis do processo. Deste modo, a intervenção do operador no processo diminuiu consideravelmente, tornando o sistema muito mais seguro e confiável, pois o processo não fica totalmente dependente da ação humana e evita a ocorrência de erros.

Com a nova configuração proposta a empresa teve ganho de eficiência que refletiu na redução dos custos em função da melhoria da eficiência energética, deixando o sistema muito mais robusto, confiável e seguro. Garantindo um funcionamento eficiente e otimizado do equipamento e com um sistema que garante sua disponibilidade de segurança para toda a empresa.

6.1 Recomendação para Trabalhos Futuros

Pode-se considerar melhorar a automação desse sistema introduzindo também o controle automático do acionamento do soprador e da bomba de circulação de óleo térmico. Para isso seria necessário a instalação de um PLC e mais sensores, o que demandaria mais investimentos financeiros para a empresa.

Outra sugestão seria a instalação de um sistema por esteira transportadora para alimentar de forma automática o local onde fica o armazenador de cavacos, que é feito atualmente de forma manual através de big bags (espécie de saco grande) e empilhadeira.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Saulo S. de. **Estudo do Monitoramento de Sistema de Ar Comprimido Industrial para Evitar Contaminação por Condensados**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2020. Disponível em: < <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4414/1/Saulo%20Silva%20de%20Aguiar.pdf> > Acesso em: 13 de setembro de 2022.

BLOG DA SCHNEIDER ELECTRIC. **Ponte Inversora do Conversor de Frequência**. 2022. Disponível em: < <https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2020/10/22/o-que-e-um-inversor-de-frequencia-e-como-escolher-a-melhor-opcao/> > Acesso em: 24 de setembro de 2022.

BOJORGE, Ninoska. **Introdução a Instrumentação Industrial**. Niterói: UFF, 2017. Disponível em: < https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula01_Instrumen_Introd_2sem2014.pdf > Acesso em: 27 de agosto de 2022.

CASTRUCCI, Plínio de L.; BITTAR, Anselmo; SALES, Roberto M. **Controle Automático**. 2. ed. Rio de Janeiro: ITC, 2018.

DIÉZ, Pedro F. **Bombas Centrífugas y Volumétricas**. Cantabria: Universidad de Cantabria. [19--?]. Disponível em: < https://www.academia.edu/8929393/Bombas_centrifugas_y_volumetricas_ingenieria?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page > Acesso em: 13 de setembro de 2022.

FERNANDES FILHO, Guilherme E. F.; DIAS, Rubens A. **Comandos Elétricos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

FRANCHI, Claiton M. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

FRANCHI, Claiton M. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008.

GARCIA, Claudio. **Controle de Processos Industriais: Estratégias Convencionais**. vol 1. São Paulo: Blucher, 2017.

HAND, Augie. **Motores Elétricos: Manutenção e Solução de Problemas**. Tradução: Flávio Adalberto Poloni Rizzato. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

LAMB, Frank. **Automação Industrial na Prática**. Tradução: Marcio José da Cunha. Revisão: Antonio Pertence Junior. Porto Alegre: AMGH, 2015.

LELUDAK, Jorge A. **Acionamentos Eletromagnéticos**. Curitiba: Base Editorial, 2010.

LINSINGEN, Irlan von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/422078001/Fundamentos-de-sistemas-hidraulicos-pdf> > Acesso em 25 de setembro de 2022.

MACINTYRE, Archibald J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed. ver. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NASCIMENTO, G. **Comandos Elétricos: Teoria e Atividades**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

OLIVEIRA, RAFAEL G. **Apostila de Controle de Processos**. Luzerna: IFSC, 2013. Disponível em: < https://professor.luzerna.ifsc.edu.br/rafael-oliveira/wp-content/uploads/sites/16/2016/02/Apostila_CDP-completa-05_03_13.pdf > Acesso em: 11 de agosto de 2022.

PÊSSOA, Marcelo S. de P.; SPINOLA, Mauro de M. **Introdução a Automação: para cursos de engenharia e gestão**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

RIBEIRO, Marco A. **Instrumentação**. 8. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

RODRIGUES, Alexandre J. **Estudo das Causas de Falhas em Selos Mecânicos de Bombas Centrífugas para Circulação de Óleo Térmico**. Guaratinguetá: Unesp, 2012; Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120812/rodrigues_aj_tcc_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y > Acesso em: 11 de setembro de 2022.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo C. **Automação Industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

SEGUAS. **Bomba Centrífuga**. 2022. Disponível em: < <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/> > Acesso em: 20 setembro de 2022.

SILVEIRA, Paulo R. da; SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e Controle Discreto**. 9. ed. São Paulo: Érica, 1998.

SOUZA, Geraldo T. de. **Controle e Automação Industrial**. Mogi Mirim: ETE Pedro Ferreira Alves, 2004.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2011.

WORTEC BOMBAS. **Bomba de Engrenagem**. 2022. Disponível em: < <https://wortecbombas.com.br/bombas-de-engrenagens/> > Acesso em: 12 setembro de 2022.

X-ENGINEER, **Malha fechada**. 2022. Disponível em: < <https://x-engineer.org/open-loop-vs-closed-loop-control-systems/> > Acesso em: 20 de setembro de 2022.

ANEXO A – DIREITOS AUTORAIS - LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. DISPOSIÇÕES PRELIMINARES



Presidência da República

Casa Civil

Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998.

Mensagem de veto Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I

Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos

processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

ANEXO B - CAPA DO LIVRO: NORMAS PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS

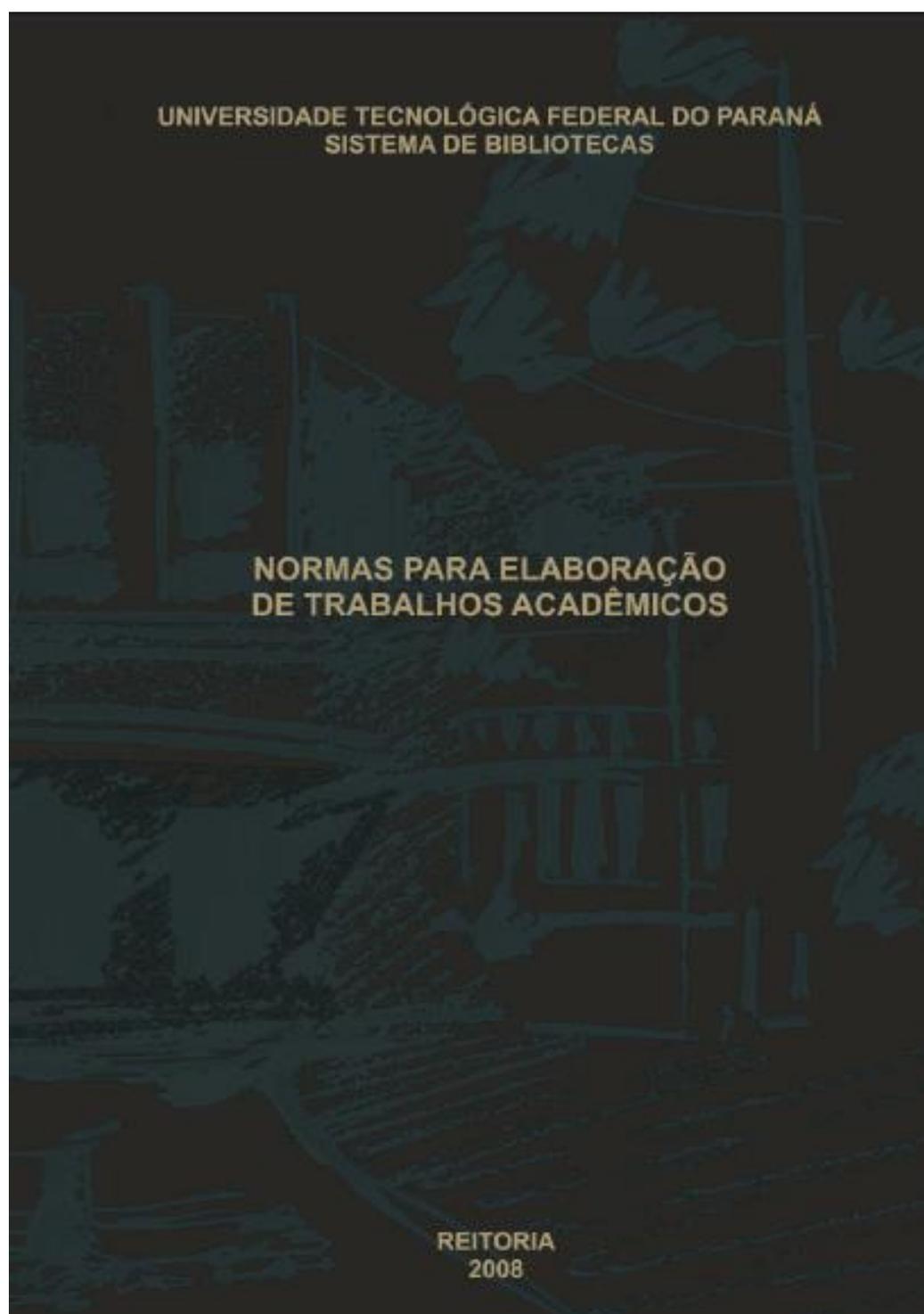


Figura 19 - Capa do livro: Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos
Fonte: UTFPR (2008)