



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

CAIO MARCON DE SOUSA

RAUL DE SOUZA SEVERINO CORREA

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DOS
SOPRADORES DE FULIGEM DA CALDEIRA DE UMA USINA TERMELÉTRICA**

Tubarão

2020

**CAIO MARCON DE SOUSA
RAUL DE SOUZA SEVERINO CORREA**

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DOS
SOPRADORES DE FULIGEM DA CALDEIRA DE UMA USINA TERMELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Luis Fernando Ferreira de Campos, Ms.

Tubarão
2020

CAIO MARCON DE SOUSA
RAUL DE SOUZA SEVERINO CORREA

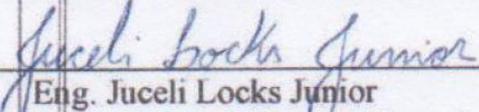
**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DOS
SOPRADORES DE FULIGEM DA CALDEIRA DE UMA USINA TERMELÉTRICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

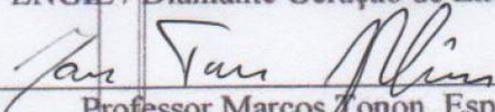
Tubarão, 6 de julho de 2020



Professor e orientador Luis Fernando Ferreira de Campos, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Juceli Locks Junior
ENGIE / Diamante Geração de Energia



Professor Marcos Tonon, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

A Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa.
Seu fôlego de vida foi nosso sustento nos deu
coragem para questionar realidades e propor
sempre um novo mundo de possibilidades.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer especialmente a nossas famílias que sempre nos apoia e incentiva nossas escolhas que foram fundamentais para chegar até aqui.

Um agradecimento especial para nosso orientador Luis Fernando Ferreira de Campos, que sempre se mostrou receptivo e prestando todo apoio necessário.

Agradecemos também todos os professores que transmitiram seus conhecimentos e experiencias, abrindo diversas portas e um mundo repleto de possibilidades para todos.

Gostaríamos de agradecer também a todos nossos colegas, que compartilharam diversas experiencias, dificuldades e conhecimentos, fortalecendo cada vez mais a amizade com cada um.

Por fim um agradecimento para os setores de Manutenção, Operação e Engenharia da empresa Engie - Diamante Geração de Energia e todos os colegas de trabalho que sempre estiveram dispostos a compartilhar seus conhecimentos, ajudando-nos a amadurecer nossa experiência profissional.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”
(ALBERT EINSTEIN, 1879-1955).

RESUMO

Este trabalho apresenta a modernização realizada no sistema de supervisão e controle dos sopradores de fuligem de uma usina termelétrica, o referido sistema tem a função de remover a cinza acumulada na parede da caldeira, que é resultante da queima de carvão, utilizando 134 sopradores ao total (100 sopradores de parede tipo V58E, 28 sopradores longos retráteis do tipo RMS80E, 2 sopradores tipo RK-PL e 4 nos aquecedores do ar). O projeto consiste na substituição do antigo sistema de controle misto analógico/digital que utilizava circuitos eletrônicos transistorizados, circuitos de comando por lógica a relés e um microcontrolador dos anos 80, por um sistema puramente digital que utiliza controladores lógicos programáveis com redundância de *hardware* modelo S7-400H da *Siemens*, permitindo a integração com um sistema de supervisão SCADA Elipse E3. Ao longo do trabalho será possível compreender como funciona o atual sistema, lógicas de controle e a estratégia de programação que foi adotada para a integração com o sistema de supervisão. Serão também abordadas as vantagens do novo sistema comparando com o antigo, que resultou em um sistema mais eficiente e fácil de operar.

Palavras-chave: Modernização. Soprador de fuligem. Sistema de controle e supervisão.

ABSTRACT

This work presents the modernization carried out in the supervision and control system of soot blowers of a thermoelectric powerplant, the referred system has the function of removing the accumulated ash in the boiler wall, which is the result of burning coal, using 134 blowers in total (100 V58E wall blowers, 28 RMS80E long retractable blowers, 2 RK-PL blowers and 4 on air heaters). The project consists in replacing the old mixed analog / digital control system that used transistorized electronic circuits, relay logic control circuits and an 80's microcontroller, with a purely digital system that uses programmable logic controllers with hardware redundancy model S7-400H from Siemens, allowing integration with a SCADA system using software Elipse E3. Throughout the work, it will be possible to understand how the current system works, control logic and the programming strategy that was adopted for integration with the supervision system. The advantages of the new system will also be discussed in comparison with the old one, which resulted in a more efficient and easier to operate system.

Keywords: Modernization. Soot blower. Control and supervision system.

LISTA DE ABREVIACOES

SIGLAS

UNISUL	___	Universidade do Sul de Santa Catarina
CNI	___	Confederao Nacional da Indstria
ABIMAQ	___	Associação Brasileira da Indstria de Máquinas e Equipamentos
UTLC	___	Usina Termoeltrica Lacerda C
SCADA	___	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SH	___	Abreviação para superaquecedores
RH	___	Abreviação para reaquadores
TAP	___	Abreviação para Turbina de Alta Pressão
TMP	___	Abreviação para Turbina de Média Pressão
TBP	___	Abreviação para Turbina de Baixa Pressão
<i>Bypass</i>	___	Termo da língua inglesa para caminho alternativo
CLP	___	Controlador Lógico Programável
setpoint	___	Valor de referência para controladores
DCS	___	<i>Digital Control System</i>
LED	___	<i>Lighting Emissor Diode</i>
IEC	___	<i>International Electrotechnical Commission</i>
FB	___	<i>Function Block</i>
IHM	___	Interface Homem Máquina
PCV	___	Abreviação de Válvula de Controle de Pressão
PID	___	Abreviação para controlador Proporcional, Integral e Derivativo
TAG	___	Identificador nico de um equipamento

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Subsistemas de uma termelétrica a carvão	17
Figura 2 – Fluxograma do processo	19
Figura 3 – Soprador curto.....	20
Figura 4 - Soprador V58E	21
Figura 5 - Soprador RMS80E.....	22
Figura 6 - Soprador RK-PL	23
Figura 7 - Exemplo de rede de comunicação Industrial	28
Figura 8 - Sala de Comando UTLC.....	29
Figura 9 - Painel de controle antigo.....	32
Figura 10 - Sensor tipo fim de curso	33
Figura 11 - Sensor Indutivo	34
Figura 12 - Painel de controle.....	35
Figura 13 - Arquitetura de Rede	36
Figura 14 - FB100	38
Figura 15 - FB200	39
Figura 16 - FB101	40
Figura 17 - FB102	41
Figura 18 - FB103	42
Figura 19 - FB104	43
Figura 20 - Vetores Sequência.....	44
Figura 21 - Ciclo do CLP	46
Figura 22 - Legenda dos objetos parte 1	49
Figura 23- Legenda dos objetos parte 2	50
Figura 24 - Tela principal	51
Figura 25 - Informações de sequência	51
Figura 26 – Seleção de sopradores	52
Figura 27 - Janela de interface.....	52
Figura 28 - Alarmes dos sopradores	53
Figura 29 - Janela de interface expandida	54
Figura 30 - Comandos de Manutenção.....	55
Figura 31 - Comandos Gerais.....	56
Figura 32 - Comandos em modo manual	57

Figura 33 - Seleção manual de sopradores	58
Figura 34 - Janela de interface válvulas on-off	59
Figura 35 - Janela de interface válvula de controle	60
Figura 36 - Painel de comando antigo	61
Figura 37 - Estação de controle	62
Figura 38 - Gráfico da pressão coletor vapor sopradores caldeira	65
Figura 39 – Giga de teste de manutenção antiga	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
1.4	DELIMITAÇÕES	14
1.5	METODOLOGIA	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	USINA TERMELÉTRICA	16
2.2	SISTEMA DE SOPRAGEM DE FULIGEM	17
2.2.1	Sopradores Instalados.....	18
2.2.1.1	Soprador de parede V58E.....	19
2.2.1.2	Soprador longo retrátil RMS80E.....	21
2.2.1.3	Soprador longo tipo RK-PL.....	22
2.3	VISÃO GERAL DO SISTEMA	23
2.4	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	24
2.4.1	Funcionamento de um CLP.....	25
2.5	SUB-ROTINA	25
2.6	SISTEMA DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS	26
2.7	ELIPSE E3	26
2.7.1	E3 Studio	26
2.7.2	E3 Server	26
2.7.3	E3 Viewer	27
2.8	REDE DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL.....	27
2.9	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	28
2.10	SERVIDOR.....	28
2.11	DCS UTLC	28
2.12	CONTROLE PID	29
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
3.1	REQUISITOS DO NOVO SISTEMA.....	31

3.2	SISTEMA DE CONTROLE ANTIGO	32
3.3	SUBSTITUIÇÃO DOS SENSORES.....	33
3.4	PAINEL DE CONTROLE.....	34
3.5	ARQUITETURA DE REDE	35
3.6	LÓGICA DE CONTROLE.....	36
3.6.1	Sub-rotinas FB100, FB200.....	37
3.6.2	Sub-rotinas FB101, FB201.....	39
3.6.3	Sub-rotinas FB102 e FB202.....	40
3.6.4	Sub-rotinas FB103 e FB203.....	41
3.6.5	Sub-rotina FB104	42
3.6.6	Sub-rotina do controle de sequência (FB300).....	43
3.6.7	Bloco de organização cíclico OB1	45
3.6.8	Bloco de organização por interrupção OB35.....	46
3.7	SISTEMA SUPERVISÓRIO	47
3.7.1	Driver de Comunicação.....	47
3.7.2	Bibliotecas e Objetos	47
3.7.3	Legendas dos Objetos	48
3.7.4	Telas do Sistema	50
3.7.4.1	Operação de válvulas on-off.....	58
3.7.4.2	Operação da válvula de controle	59
4	ANÁLISE.....	61
4.1	SOBRECARGA DE INFORMAÇÃO	62
4.2	COMPLEXIDADE DO SISTEMA DIGITAL.....	63
4.3	MELHORIAS NO PROCESSO	64
4.4	MELHORIAS NA MANUTENÇÃO	65
5	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS	68
	ANEXOS	69
	ANEXO A – DGT-I-0278 FOLHA 4.....	70

1 INTRODUÇÃO

O nível de obsolescência diminui a competitividade e fragiliza o futuro das empresas no competitivo mercado, para suprir isso as indústrias buscam melhorias no seu processo produtivo visando incremento na sua eficiência e garantia de sua produtividade e qualidade. Dentro desse processo de melhoria é possível destacar a transição dos sistemas de controle analógico para o digital, isso só é possível por conta dos avanços da tecnologia, computadores e outros sistemas que passaram a operar em conjunto com as máquinas, promovendo processos otimizados e inteligentes.

Pensando em uma usina de geração de energia elétrica através do carvão, o processo de queima de carvão gera uma série de resíduos, entre eles se destaca a cinza que se acumula na parede da caldeira. O sistema de sopradores de fuligem reaproveita uma parte do vapor gerado pela caldeira para efetuar a limpeza do seu interior, aumentando sua eficiência térmica na combustão.

Neste trabalho de conclusão de curso será analisado uma experiência de automação e informatização no sistema dos sopradores de fuligem de uma usina termelétrica a carvão apresentando suas características e motivações básicas. O sistema de controle dos sopradores de fuligem, que possuía um sistema de controle digital já obsoleto, com uma interface de operação através de botoeiras de comando e sinalizações por lâmpadas, recebeu um sistema de controle digital atualizado, integrado à um sistema supervisório também digital. Este tipo de atualização permite que seja disponibilizada uma interface mais amigável e intuitiva para operação e manutenção, através da customização do sistema supervisório.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com dados da CNI (2016), a indústria brasileira se encontra em um cenário desafiador com alto custo de produção combinado com baixo uso da capacidade instalada e queda na produtividade média na última década. Outro indicador é a idade média de equipamentos e máquinas, segundo a Abimaq (2015) no Brasil a idade média é de 17 anos enquanto nos Estados Unidos é de 10 e na Alemanha de 5 anos (VIEIRA, 2019).

O antigo sistema de controle de sopragem foi projetado com tecnologia dos anos 80, possuindo o dobro da idade média dos equipamentos no Brasil. Com o passar do tempo o referido sistema se tornou obsoleto, foram se esgotando os itens de reposição e perda de suporte do fabricante, o que ocasionou a impossibilidade de efetuar futuras manutenções. Os sistemas

de controle antigos eram puramente analógicos, como por exemplo os circuitos eletrônicos transistorizados e até mesmo circuitos de comando por lógica a relés. Os novos sistemas são puramente digitais, através de controladores lógicos programáveis e sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Partindo deste contexto houve a necessidade de desenvolver um novo sistema de controle, dessa vez digital e integrado com um sistema de supervisão.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O novo sistema de controle e supervisão trouxe diversas alterações no processo. Com esse trabalho será possível analisar quais os impactos causados por essa modificação dando ênfase na digitalização do sistema.

1.3 OBJETIVOS

Para tal projeto de modernização e melhoria no sistema de sopragem de fuligem, serão descritos abaixo o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a modernização do sistema de sopradores de fuligem e dos aquecedores regenerativos da caldeira de uma usina termelétrica a carvão.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Demonstrar o sistema antigo dos sopradores de fuligem, para que depois de concluída a modernização seja possível elaborar um comparativo entre os sistemas novo e antigo;
- Realizar o estudo do sistema dos sopradores de fuligem da caldeira;
- Mostrar atualização do sensoriamento de campo substituindo sensores do tipo fim de curso por sensores indutivos;
- Explicar as alterações efetuadas no painel elétrico de força e comando;

- Desenvolver a lógica de controle do sistema usando controlador lógico programável com redundância de *hardware*;
- Desenvolver o sistema SCADA de supervisão e controle utilizando a plataforma Elipse E3;
- Realizar o comissionamento da lógica e ajustes na malha de controle;
- Demonstrar o funcionamento do sistema de supervisão e controle;
- Realizar o comparativo entre os sistemas novo e antigo.

1.4 DELIMITAÇÕES

Análise que mostra as melhorias e vantagens de um novo sistema de sopragem de fuligem que conta com um processamento digital junto com um sistema de supervisão com o *software* SCADA Elipse E3 comparando com o antigo sistema de sopragem de fuligem.

1.5 METODOLOGIA

Todo o levantamento de dados e estudo foi realizado utilizando os documentos presentes no acervo técnico da usina, livros relativos a sistemas de supervisão e controle e por manuais dos fabricantes dos equipamentos envolvidos no projeto.

Dentre os principais documentos pode-se destacar:

- Manuais de operação e manutenção dos sopradores de fuligem;
- Projeto elétrico do painel;
- Esquemas elétricos, lógicos e unifilares dos periféricos do sistema de sopragem da caldeira da usina;
- Manual do *software* SCADA Elipse E3;
- Manual do *software* do controlador lógico programável Siemens da série S7-400H.

O estudo destes materiais consistiu em se aprofundar no conhecimento do princípio de operação do sistema de sopragem de fuligem, para ter propriedade para o desenvolvimento da nova lógica de controle. Os demais dados foram coletados em campo com o auxílio dos setores de operação, manutenção e engenharia da empresa controladora da usina termelétrica a carvão.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta seção tem o objetivo de apresentar a estrutura do TCC em partes e assim deixar claro ao leitor os passos que serão seguidos em seu desenvolvimento.

- Capítulo 1: Tem por objetivo situar o leitor no trabalho, mostrando uma introdução, junto com a justificativa e a delimitação dos temas;
- Capítulo 2: Aborda a explicação dos equipamentos e componentes utilizados no projeto de modernização dos sopradores de fuligem;
- Capítulo 3: Responsável por explanar os procedimentos metodológicos seguidos para a realização da modernização do sistema de sopragem de fuligem;
- Capítulo 4: Faz uma análise do sistema antigo demonstrando algumas características e mostra os resultados obtidos com o novo sistema de sopragem de fuligem.
- Capítulo 5: A conclusão faz o fechamento do trabalho apresentando os resultados do projeto e mostra o caminho para próximas pesquisas sobre o tema.
- Anexos: Mostra materiais que facilitam o entendimento e deixa o leitor mais contextualizado no tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas informações necessárias sobre equipamentos e componentes que fazem parte deste projeto para que as atividades desenvolvidas possam ser compreendidas com clareza pelo leitor.

2.1 USINA TERMELÉTRICA

A geração de energia elétrica se dá na conversão da energia mecânica em energia elétrica. A usina termelétrica é uma planta de geração de energia que utiliza a queima de um determinado tipo de combustível a fim de obter a energia elétrica. A UTLC (Usina Termelétrica Jorge Lacerda C), usina na qual é a base de pesquisa e desenvolvimento desse trabalho, é uma termelétrica que utiliza o carvão mineral, um combustível não renovável. A queima desse combustível gera o calor necessário para aquecimento da água que fica nas tubulações da caldeira.

O processo de geração de energia através do carvão em uma usina termelétrica começa com a logística, onde o carvão é transportado das minas de carvão para a usina por via férrea em vagões. O carvão é descarregado dos vagões para uma correia transportadora que fica em movimento e é armazenado em depósito “morto”. Esse depósito geralmente tem capacidade para manter 40 dias de suprimento de carvão, que serve como reserva de combustível em caso de gargalo nas minas ou problemas de transporte. O carvão bruto do depósito é fornecido a usina por um equipamento chamado alimentador de carvão.

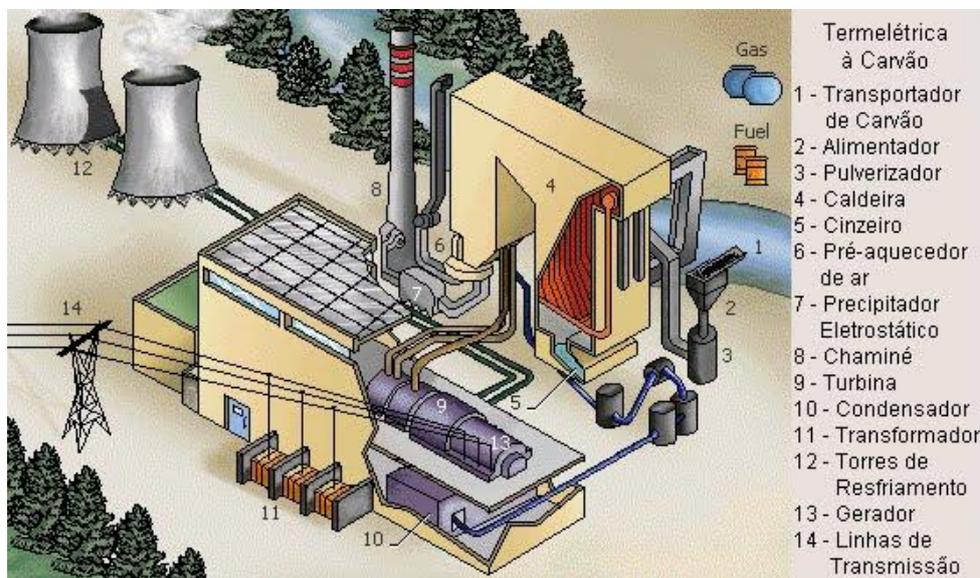
Ao chegar na usina, o carvão é levado aos moinhos de carvão para ser pulverizado. O carvão em pó é transportado para a caldeira em tubos arrastado por ar quente. A mistura de ar e carvão pulverizado é queimada na caldeira na zona de combustão a uma temperatura na ordem de 1300°C.

A caldeira é formada por uma série de tubos metálicos preenchidos de água que é convertida em vapor. O vapor é levado aos superaquecedores (SH) para então ser levado para a Turbina de Alta Pressão (TAP). Na TAP, a pressão do vapor é utilizada para girar a turbina e a resultante é energia rotacional. O vapor que sai da TAP é levado para o reaquecedor (RH) na caldeira para aumentar sua temperatura à medida que o vapor fica úmido na saída da TAP, pois a turbina deve trabalhar com vapor praticamente seco (superaquecido). Após o reaquecimento, esse vapor é levado para a Turbina de Pressão Média (TMP) e paralelamente ao sistema de

sopragem de fuligem (sistema foco deste trabalho), em seguida, para a Turbina de Baixa Pressão (TBP). A saída da TBP é enviada ao condensador para a transformação do vapor de volta à água por um sistema de água de resfriamento. Essa água, resultante do processo de condensação é coletada e novamente enviada à caldeira em ciclo fechado. A energia rotacional transmitida à turbina pelo vapor de alta pressão é convertida em energia elétrica no gerador. A planta da UTLC, tem como base o ciclo de Rankine, processo esse descrito acima.

A figura 1 mostra os principais processos de uma usina termelétrica a carvão.

Figura 1 - Subsistemas de uma termelétrica a carvão



Fonte: Energia em ação (2010).

2.2 SISTEMA DE SOPRAGEM DE FULIGEM

Este processo tem a finalidade de realizar a remoção da camada de cinza aderente às superfícies de troca de calor da caldeira.

Com a queima de carvão uma parte dos resíduos resultantes da queima aderem nas superfícies de troca de calor da caldeira. Essa cinza diminui o rendimento nas áreas de troca de calor pois apresentam uma baixa condutividade térmica.

À medida que a área afetada pela cinza aumenta há alteração na distribuição das quantidades de calor absorvidas pelas várias superfícies de troca e conseqüentemente um aumento das perdas de calor. Estes fatores levam a um decréscimo no rendimento geral da planta.

A camada que se forma sobre as superfícies da caldeira pode não ser uniforme, havendo concentrações localizadas, que formam "blocos" de resíduos.

Caso a limpeza for ineficiente, haverá uma diminuição gradativa do rendimento da geração de energia. Da mesma forma haveria a formação de aglomerados, os quais em função de seu volume, localização e na eventualidade de se desprenderem, poderiam ocasionar uma perturbação mais significativa na pressão da fornalha, levando eventualmente, à perda da unidade.

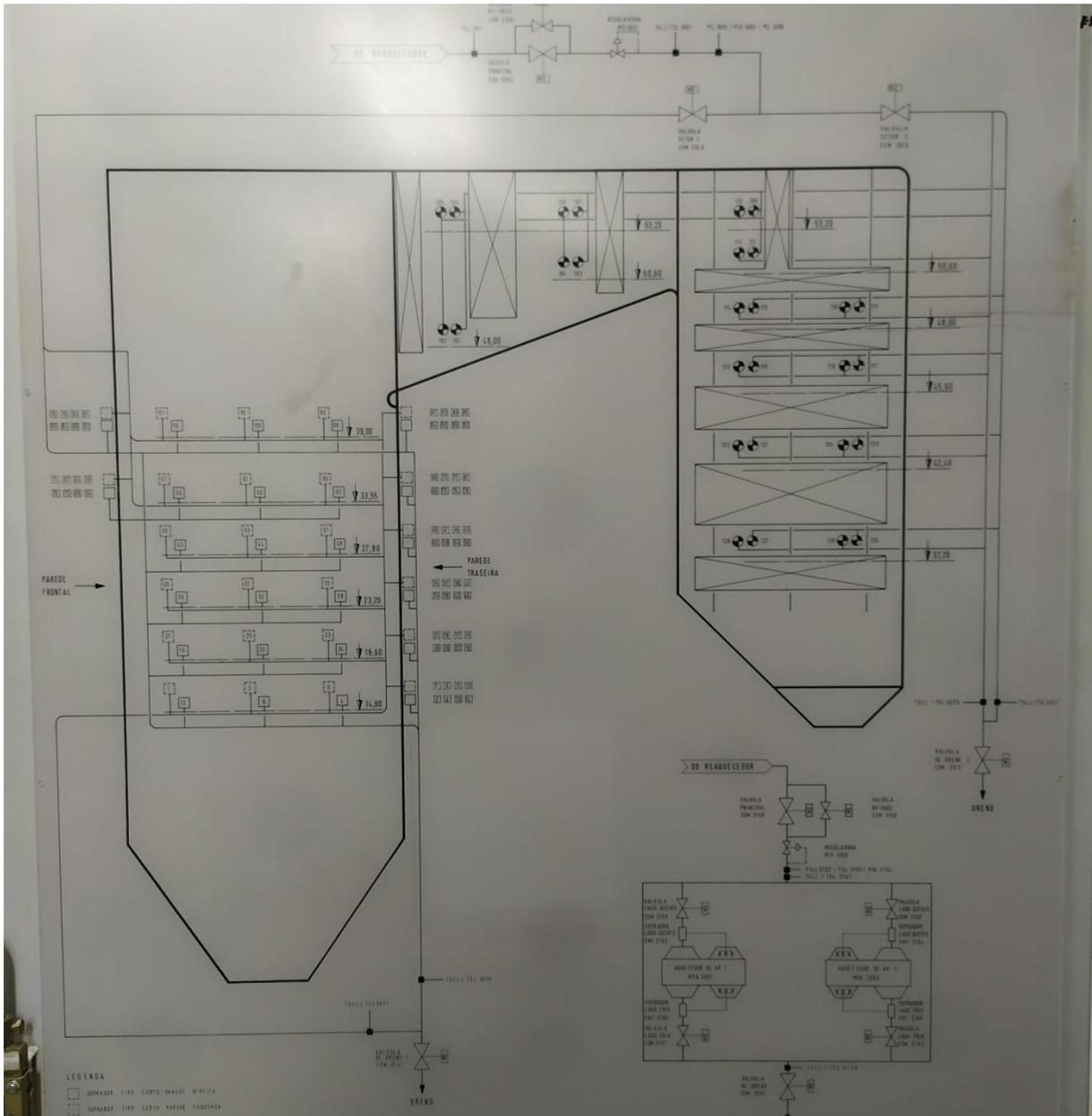
2.2.1 Sopradores Instalados

Para limpeza das superfícies de aquecimento, os seguintes tipos de sopradores foram instalados na UTLC:

- a) Superfícies das paredes da fornalha: 100 sopradores de parede tipo V58E;
- b) Passo intermediário dos feixes de tubos: 8 os sopradores longos retráteis do tipo RMS80E e 2 sopradores do tipo RK-PL;
- c) 2º Passo dos feixes de tubos: 20 sopradores longos retráteis do tipo RMS80E;
- d) Aquecedores regenerativos: 4 sopradores articulados horizontalmente, sendo: 2 inferiores e 2 superiores.

A figura 2 ilustra o fluxograma dos sopradores instalados na UTLC.

Figura 2 – Fluxograma do processo



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

2.2.1.1 Soprador de parede V58E

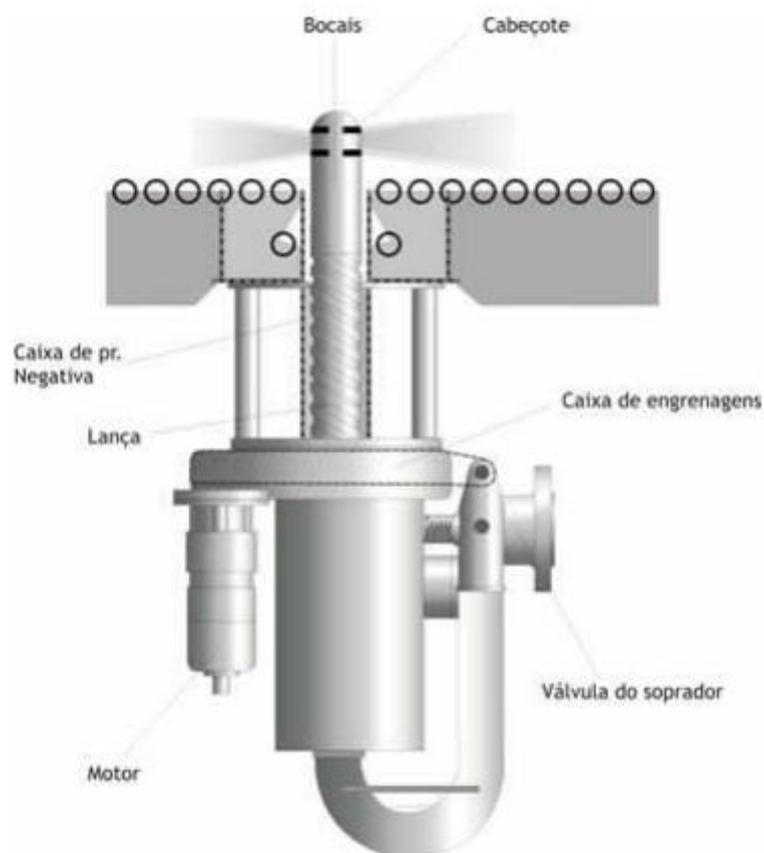
O soprador curto retrátil tipo V58 é usado principalmente para limpeza de paredes utilizadas como superfícies de aquecimento. Ele possui um cabeçote usualmente equipado com 2 bocais venturi.

Quando o soprador é colocado em operação, o cabeçote avança sem girar até sua posição de sopragem após a parede interna. Neste ponto, o soprador começa o movimento de

rotação, a válvula do soprador abre para admitir vapor e o cabeçote gira de acordo com o arco requerido de sopragem. Após terminar uma ou várias revoluções, a válvula do soprador fecha e o cabeçote retrai para sua posição de repouso na caixa da parede.

Na sua extremidade traseira, o cabeçote é montado em um tubo com rosca. Seu movimento de linha reta e movimento de rotação são iniciados através do tubo com rosca, o qual é motorizado ou ativado manualmente. A figura 3 mostra o soprador V58E ilustrando algumas das principais partes

Figura 3 – Soprador curto



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

Os sopradores tipo V58E, na parede frontal da superfície de aquecimento da fornalha são divididos em 2 níveis, enquanto nas paredes laterais e traseira eles são divididos em 6 níveis. Na parede frontal, eles são 8 sopradores por nível, nas paredes laterais são 3 sopradores e na parede traseira são 8 sopradores por nível. A figura 4 mostra a imagem de um soprador V58E na parede da caldeira.

Figura 4 - Soprador V58E



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

2.2.1.2 Soprador longo retrátil RMS80E

O soprador longo retrátil é um soprador geralmente usado para limpeza de bancos de tubos. Uma lança tubular atua como elemento de sopragem, a qual está equipada, na extremidade, com um cabeçote que possui 2 bocais venturi.

A lança tubular avança perpendicularmente ao fluxo de gás, enquanto gira, e retorna para a sua posição inicial.

O avanço por revolução da lança pode ser ajustado ao espaçamento dos tubos das superfícies de aquecimento. Por meio de 2 bocais opostos por onde sai o vapor, a limpeza completa é assegurada através do trajeto da lança.

A lança é movimentada através do acionamento do motor elétrico, o qual desloca-se sobre guias localizadas nas laterais das vigas de sustentação. O vapor é levado à lança via válvula do soprador e tubo de alimentação.

Os sopradores tipo RMS80E retráteis longos, mostrado na figura 5, são instalados nas paredes laterais do passo intermediário, são divididos em 2 níveis com 3 sopradores em cada nível em ambos os lados. No segundo passo são 4 níveis, em cada lado com 2 sopradores por nível.

Figura 5 - Soprador RMS80E



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

2.2.1.3 Soprador longo tipo RK-PL

Dois sopradores longos do tipo RK-PL, estão instalados no passo intermediário da caldeira, sendo um para o lado esquerdo e outro para o lado direito. Esses sopradores têm por objetivo remover a cinza neste ponto, minimizando a formação de acúmulo no passo intermediário.

A figura 6 mostra o soprador RK-PL instalado na caldeira.

Figura 6 - Soprador RK-PL



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

Estes sopradores, diferente dos demais sopradores longos, não giram continuamente, fazendo apenas um movimento de aproximadamente 30° de giro no sentido horário e realizam a inserção, após inseridos, realizam um giro de 60° no sentido inverso e retornam.

2.3 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O vapor utilizado nos sopradores da caldeira é proveniente do coletor de entrada do reauecedor 1 (RH1) e para os sopradores dos aquecedores regenerativos é proveniente do coletor entrada do reauecedor 2 (RH2). Uma linha de vapor sai de cada um dos 2 coletores, passando em um "T", onde o vapor é distribuído para os sopradores da caldeira.

Na condução do vapor para os sopradores da caldeira, há uma válvula de bloqueio (UTLCI728ESM2003) com uma válvula *bypass* (UTLCI728ESM2004) que deve ser aberta

quando a válvula de bloqueio do setor 1 (UTLCI728ESM2040) ou setor 2 (UTLCI728ESM2010) já estiver aberta, iniciando o aquecimento das linhas para a sopragem. Após a válvula de bloqueio, há uma válvula de controle de pressão (UTLCI728PCV3001) que reduz a pressão do coletor de entrada do RH1 para a pressão de sopragem ajustada.

Os 130 sopradores são divididos em dois setores. O setor 1 é composto dos 100 sopradores da fornalha. Já o setor 2 é composto dos 30 sopradores longos que estão no passo intermediário e 2º passo.

Para aquecimento das linhas de cada setor, antes da sopragem, existem duas válvulas com acionamento motorizado (UTLCI728ESM2141/2143). Nestas válvulas existe um *by-pass* com chicana que tem a finalidade de evitar que se forme condensado na linha, durante o processo de sopragem e quando os sopradores não estiverem em operação.

Os sopradores são, ainda, divididos em 5 grupos:

- e) Grupo 1: sopradores 1 a 50;
- f) Grupo 2: sopradores 51 a 100;
- g) Grupo 3: sopradores 101 a 108, 129 e 130;
- h) Grupo 4: sopradores 109 a 128;
- i) Grupo 5: sopradores dos aquecedores regenerativos.

O grupo 1 é constituído dos sopradores curtos localizados na parte inferior da fornalha. O grupo 2 é constituído dos sopradores curtos localizados na parte superior da fornalha. O grupo 3, pelos sopradores localizados no passo intermediário, na região do RH e SH. O grupo 4, pelos sopradores localizados no segundo passo da caldeira. O grupo 5, pelos sopradores localizados no aquecedor regenerativo.

Existem duas válvulas de segurança (UTLCI728MVS2001/2) para o caso de sobre pressão (± 21 bar) no sistema de sopragem da caldeira. Quando essas válvulas de alívio atuam o vapor é descarregado para a atmosfera.

2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Um controlador lógico programável (CLP) é um sistema de controle de computador industrial que monitora continuamente o estado dos dispositivos de entrada e toma decisões com base em um programa personalizado para controlar o estado dos dispositivos de saída.

Quase qualquer linha de produção, função da máquina ou processo pode ser significativamente aprimorada usando esse tipo de sistema de controle. No entanto, o maior

benefício do uso de um CLP é a capacidade de alterar e replicar a operação ou processo ao coletar e comunicar informações vitais.

Outra vantagem de um sistema com CLP é que ele é modular. Ou seja, pode-se misturar e combinar os tipos de dispositivos de entrada e saída para melhor se adequar à aplicação.

2.4.1 Funcionamento de um CLP

Existem quatro etapas básicas na operação de todos os CLPs: Leitura dos sinais de entrada, Execução do programa, Escrita de saída e tarefas de diagnóstico. Essas etapas ocorrem continuamente em um *loop* de repetição, abaixo será abordado de forma sucinta o que acontece em cada etapa.

1) Leitura dos sinais de entrada:

Detecta o estado de todos os dispositivos de entrada conectados ao CLP;

2) Execução do programa:

Executa a lógica do programa criado pelo usuário;

3) Escrita de saídas:

Energiza ou desenergiza todos os dispositivos de saída que estão conectados ao CLP;

4) Tarefas de diagnóstico:

Esta etapa inclui comunicações com terminais de programação, diagnóstico interno etc.

2.5 SUB-ROTINA

Em programação, uma sub-rotina é definida como um programa menor utilizado pelo programa principal. As sub-rotinas são utilizadas principalmente para diminuir o número de ícones (ou linhas) na programação, resumindo os comandos referentes a uma tarefa repetida diversas vezes (como ir para frente) em um único ícone. (Pontes, 2020)

2.6 SISTEMA DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Comumente chamado de supervisor ou *software SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)*, é um sistema que utiliza *softwares* (programas de computador) para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados através de uma rede de comunicação. Um *software SCADA* permite realizar operações de leitura e escrita nas áreas de memória dos diversos dispositivos de uma rede, como por exemplo CLPs. Atualmente o *software SCADA* tende operar em diferentes sistemas operacionais (Windows, Linux ...) com uso de diversos protocolos de comunicação, como por exemplo: DNP3, OPC UA, MQTT, Modbus RTU, Modbus TCP e muitos outros.

2.7 ELIPSE E3

O Elipse E3 é uma plataforma SCADA para aplicações avançadas e distribuídas, ideal para sistemas de missão crítica e centros de controle. Líder no mercado brasileiro, o Elipse E3 é uma consagrada ferramenta SCADA para monitoramento e controle de processos, oferecendo escalabilidade e constante evolução para diversos tipos de aplicações, desde simples interfaces até complexos centros de operação em tempo real. O Elipse E3 é composto por três componentes chamados de *E3 Studio*, *E3 Server* e *E3 Viewer*.

2.7.1 E3 Studio

É um *software* que funciona como ferramenta única de configuração do sistema, servindo como plataforma universal de desenvolvimento. Possui um ambiente moderno e amigável, incluindo desde a configuração da comunicação até editores de *scripts* e de gráficos para a criação das telas de operação. Permite que um mesmo aplicativo seja editado por diversos usuários simultaneamente, facilitando o trabalho em equipe (ELIPSE, 2019).

2.7.2 E3 Server

É o servidor de aplicações onde são gerenciados os principais processos do sistema, além de realizar a redundância e sincronismo de bases de dados. Oferece grande robustez e

estabilidade, permitindo que as informações gráficas e dados sejam enviados ininterruptamente aos clientes (*Viewers*) em qualquer local (ELIPSE, 2019).

2.7.3 E3 Viewer

É a interface de operação com o usuário. Permite visualizar e operar em qualquer computador, a aplicação que está no servidor, podendo ser executado tanto na intranet quanto na internet, via *browser*. Não é necessária a instalação do aplicativo (projeto) na máquina cliente, pois todos os componentes, telas e bibliotecas são baixados do servidor e registrados ou atualizados automaticamente (ELIPSE, 2019).

2.8 REDE DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

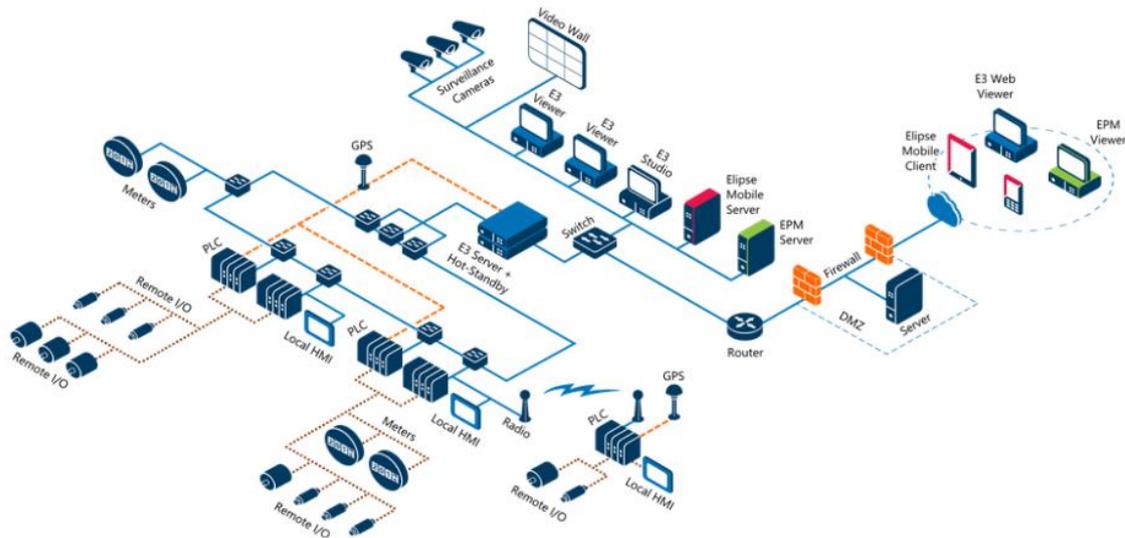
Uma rede de comunicação industrial pode ser definida como uma série de caminhos que possibilitam o compartilhamento de dados na indústria. Utilizando tecnologias da informação e comunicação é possível realizar a troca de dados através de um meio físico, que pode ser por condutores de cobre, fibra óptica ou *wireless* (sem fio).

As redes de comunicação são muito importantes para que as empresas consigam processar dados, principalmente devido a imensa carga de informações que são criadas e compartilhadas a todo momento. A troca de informações ocorre, principalmente, por meio de computadores e sensores.

Em busca por automatização, eficiência de logística e maior produtividade muitas empresas investem em redes de comunicação por conta dos diversos benefícios, como operações rápidas e eficientes, interconexão de equipamentos e processos e a descentralização da produção.

A figura 7 mostra um exemplo de rede de comunicação industrial e os diversos componentes que podem fazer parte de uma rede.

Figura 7 - Exemplo de rede de comunicação Industrial



Fonte: Elipse (2019).

2.9 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Na ciência da computação, um protocolo é uma convenção que controla e possibilita uma conexão, comunicação e transferência de dados entre dois sistemas computacionais. De maneira simples, um protocolo pode ser definido como “as regras que governam” a sintaxe, semântica e sincronização da comunicação, ou seja, a linguagem de comunicação entre equipamentos em uma rede de comunicação.

2.10 SERVIDOR

Um servidor é um software ou computador com sistema de computação centralizada que fornece serviços a uma rede de computadores. Em uma usina de geração de energia elétrica com sistema SCADA, um servidor (ou conjunto de servidores) é considerado como um “coração”, pois toda informação dos processos em tempo real é concentrada no mesmo.

2.11 DCS UTLC

DCS UTLC é o nome que foi dado ao *software* SCADA de operação em tempo real da usina termelétrica Jorge Lacerda C, o DCS UTLC possui no topo de sua arquitetura de rede um total de 2 servidores de aplicação, um servidor de banco de dados, 4 servidores de

comunicação e 21 clientes (*E3 Viewers*). O DCS UTLC comunica em tempo real com mais de 10.000 *tags* de comunicação por segundo, que estão em uma rede de comunicação industrial com diversos dispositivos, como controladores lógico programáveis (CLPs), unidades de aquisição de dados (UADs), sistemas de controle e outros servidores.

A figura 8 mostra a foto de alguns clientes do DCS UTLC localizados na sala de comando da UTLC:

Figura 8 - Sala de Comando UTLC



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

2.12 CONTROLE PID

Nos sistemas de controle, um controlador corrige a saída de um sistema específico para uma entrada desejada na presença de erros e distúrbios. O tipo mais popular de controlador é o PID, que é um acrônimo para Proporcional, Integral e Derivativo. O nome deriva dos métodos sobre como esse controlador lida com distúrbios no sistema.

Segundo Dorf (2009) um sistema de *feedback* é um sistema em que parte da saída é "realimentada" para a entrada. Por exemplo, um projeto que controla a temperatura em um forno deseja manter a temperatura no forno até um determinado ponto definido. Um sensor instalado no forno determina a temperatura a qualquer momento. Este sensor, nesse caso, fornece o *feedback* como uma referência sobre o aumento ou diminuição da temperatura necessária. A diferença entre o valor do sensor de *feedback* e um ponto de ajuste de temperatura (*setpoint*) é o erro.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A modernização do sistema de controle dos sopradores de fuligem ocorreu em algumas etapas sendo elas:

- 1) Especificação dos equipamentos;
- 2) Compra dos equipamentos;
- 3) Projeto elétrico do painel;
- 4) Desenvolvimento do *software* do CLP;
- 5) Desenvolvimento do *software* SCADA;
- 6) Substituição dos sensores em campo;
- 7) Modificações do Painel;
- 8) Comissionamento do sistema.

As etapas 1,2,3,6,7 foram executadas pelo setor de Engenharia da empresa ENGIE/Diamante Geração de Energia, já as etapas 4,5,8 foram as que os autores do presente trabalho estiveram diretamente envolvidos e serão explanadas nos tópicos a seguir.

3.1 REQUISITOS DO NOVO SISTEMA

Conforme especificação técnica do setor de engenharia, dados internos da empresa, os novos equipamentos deverão ser fornecidos montados em novas placas de montagem, além de ligados ao sistema supervisorio da usina termoeletrica. Também se faz necessária a substituição dos sensores de posição dos sopradores (inserido/retraído) para eliminar as constantes intervenções da manutenção.

Além de manter todas as funcionalidades do atual sistema de controle, o novo sistema a ser fornecido deverá permitir maior flexibilidade operacional. Deverá permitir também a sopragem da caldeira e aquecedor regenerativo simultaneamente.

Depois de modernizado, a operação dos sopradores deverá ocorrer em dois modos distintos, definidos como modo manual e automático, assim a sopragem poderá ser customizada de acordo com as condições operacionais, maximizando a eficiência da sopragem da caldeira, com benefícios.

Deverá ainda atender as seguintes funcionalidades:

- Permitir a configuração do ciclo de sopragens de cada soprador (fornalha);

- A sequência automática deve ser subdividida em subseqüências (fornalha, passo intermediário, 2º passo, aquecedor regenerativo, completa, paredes lateral direita, lateral esquerda, frontal e traseira);
- Na sequência customizada, deverá ser possível definir a sequência (inverter ordem) dos sopradores;
- Monitorar a condição do soprador (retraindo ou inserindo);
- Comutar a qualquer momento o funcionamento de automático para manual e vice-versa;
- Acrescentar informação de temperatura dos drenos e temperatura de entrada do vapor auxiliar.

3.2 SISTEMA DE CONTROLE ANTIGO

A unidade de controle eletrônico consistia em uma unidade de controle programável SIMATIC S5-115 e cartões dos sopradores, mostrados na figura 9, onde cada soprador possuía seu próprio cartão, incluindo a lógica de controle do respectivo soprador.

Figura 9 - Painel de controle antigo

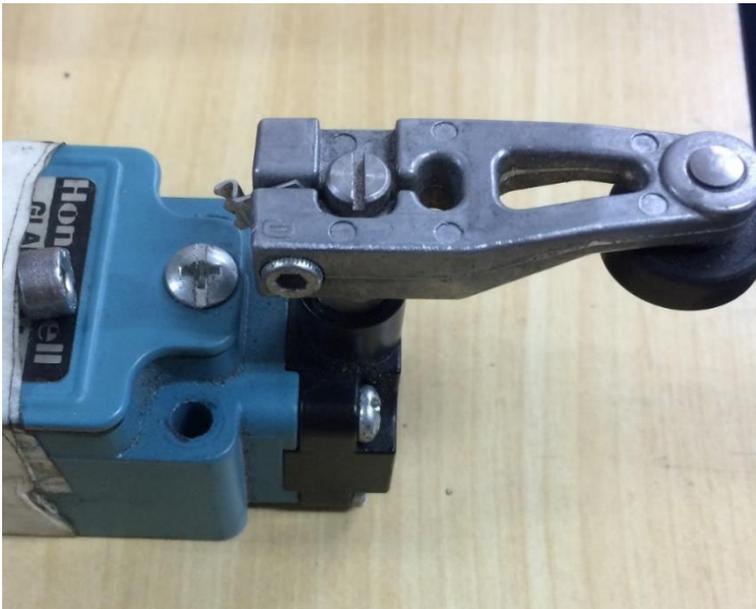


Fonte: Acervo técnico da usina (2019).

3.3 SUBSTITUIÇÃO DOS SENSORES

Os sensores antigos eram do tipo fim de curso, onde uma haste acoplada ao mesmo é empurrada fazendo que os seus terminais elétricos fiquem em curto conforme pode ser observado na figura 10. Com isso pode-se ler se o sensor foi acionado em uma entrada digital de um controlador e depois enviar um sinal para o motor para que este pare ou inverta seu giro.

Figura 10 - Sensor tipo fim de curso



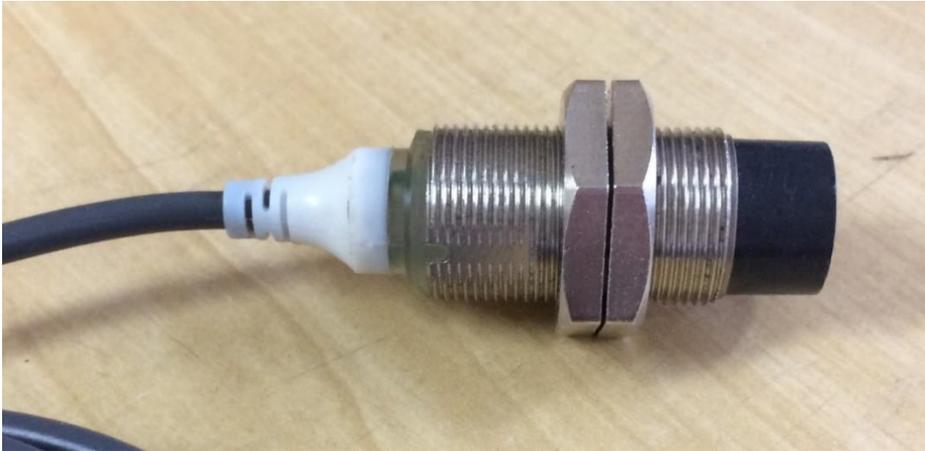
Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

Os novos sensores são do tipo indutivo, seu funcionamento acontece a partir de um campo eletromagnético variável que é gerado pelo oscilador interno em conjunto com a bobina na extremidade do dispositivo. Quando um material metálico penetra este campo, são induzidas pequenas correntes parasitas. Com a indução no metal, ocorre uma diminuição na energia do campo e, conseqüentemente, na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Quando este sinal se torna muito baixo, o circuito de disparo percebe a mudança e altera a tensão de saída. Fornecendo uma resposta lógica, de nível alto ou baixo, que pode ser utilizada no controle do processo.

Esta atualização tecnológica aumentou a confiabilidade dos sensores, pois os do tipo fim de curso, por terem o acionamento mecânico, necessitavam de maior manutenção corretiva. Os novos sensores possuem um *led* de sinalização amarelo em sua parte traseira, quando ele está aceso significa que o sensor está atuado e quando o *led* está apagado significa

que o sensor está atuado, auxiliando também em sua instalação e ajuste. A figura 11 apresenta um comparativo dos sensores.

Figura 11 - Sensor Indutivo



Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

3.4 PAINEL DE CONTROLE

No painel dos sopradores foram substituídos todos os equipamentos de controle antigos (cartões eletrônicos, relés, microcontroladores) por equipamentos novos, o controle agora se dá por dois CLPs (principal e retaguarda) da família Siemens S7-400H que trabalham de forma redundante. Os sinais de sensores e comandos são tratados por expansões com módulos de entradas e saídas analógicas/digitais da Siemens S7-300. Toda a parte de potência e alimentação elétrica (contatores e disjuntores) continua da mesma forma, a figura 12 mostra como ficou o novo painel.

Figura 12 - Painel de controle



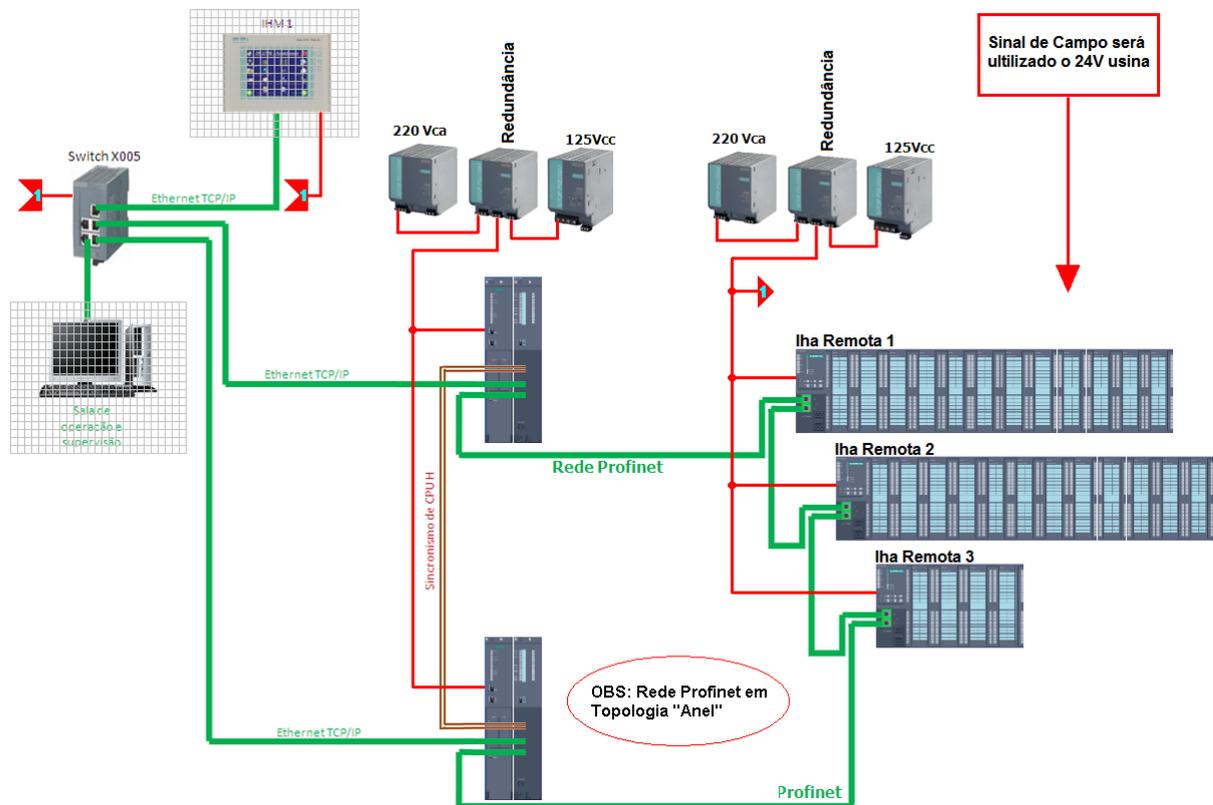
Fonte: Elaboração dos Autores (2019).

3.5 ARQUITETURA DE REDE

Para a redundância entre CLPs é necessário cordões ópticos conectando a CPU principal com a retaguarda, responsável por efetuar o sincronismo. Para a leitura dos sinais dos módulos de expansão de entradas e saídas, foi utilizado uma topologia de rede em anel onde trafega o protocolo de comunicação Profinet¹ para a troca de informações, que pode ser observada na figura 13.

¹ Protocolo de comunicação baseado em ethernet que tem como objetivo conectar sensores e atuadores aos sistemas de controle.

Figura 13 - Arquitetura de Rede



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.6 LÓGICA DE CONTROLE

Tendo em vista os requerimentos citados no tópico 3.1 e levando em consideração os padrões de programação da norma IEC61131-3 e recomendações da Siemens:

Tarefas complexas de automação podem ser controladas de maneira mais fácil se forem divididas em tarefas pequenas que refletem as funções do processo tecnológico ou que podem ser usadas mais de uma vez. Essas tarefas representadas pelas seções correspondentes do programa, são conhecidas como blocos de programação estruturada. (SIEMENS, 2010, p.79)

O *software* dos CLPs S7-400H foi totalmente orientado a objetos e desenvolvido da seguinte maneira:

- 1 Sub-rotina para soprador curto V58E, chamada de FB100;
- 1 Sub-rotina para soprador longo RMS80E, chamada de FB101;

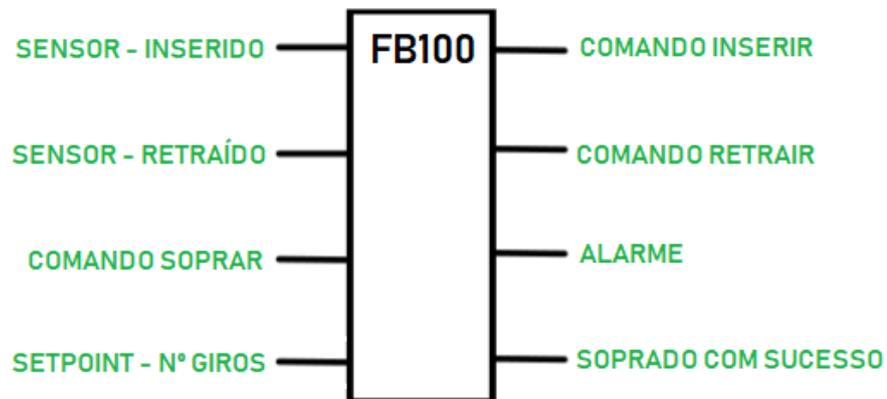
- 1 Sub-rotina para soprador especial RK-PL, chamada de FB102;
- 1 Sub-rotina para válvula *on-off*, chamada de FB103;
- 1 Sub-rotina para válvula de controle, chamada de FB104;
- 1 Sub-rotina dos sopradores curtos, chamada de FB200;
- 1 Sub-rotina dos sopradores longos, chamada de FB201;
- 1 Sub-rotina dos sopradores especiais, chamada de FB202;
- 1 Sub-rotina das válvulas *on-off*, chamada de FB203;
- 1 Sub-rotina de controle de sequência de sopragem da fornalha, chamada de FB300;
- 1 bloco de organização cíclico, chamado de OB1;
- 1 bloco de organização por interrupção, chamado de OB35.

3.6.1 Sub-rotinas FB100, FB200

Cada soprador curto (V58E), possui 2 sinais de entradas digitais, sendo eles soprador inserido e soprador retraído, provenientes dos sensores indutivos instalados em campo. O soprador também possui 2 saídas digitais, os comandos inserir e retrain.

A sub-rotina FB100 serve como controle para o soprador, recebendo o sinal da FB300 (controle de sequência) de quando o soprador deve ser inserido e acionando o comando inserir, o diferencial do soprador curto é que quando o mesmo insere, não deve retornar imediatamente, deve ser contado um número específico de giros e após o *setpoint* o mesmo deve retornar. A FB100 faz esse controle e monitora as possíveis falhas nos comandos inserir e retrain por tempo excedido, ao término a FB100 sinaliza para a FB300 que a sopragem foi concluída com sucesso. A figura 14 exemplifica a FB100 em diagrama de blocos, onde na esquerda estão as entradas do bloco e na direita as saídas.

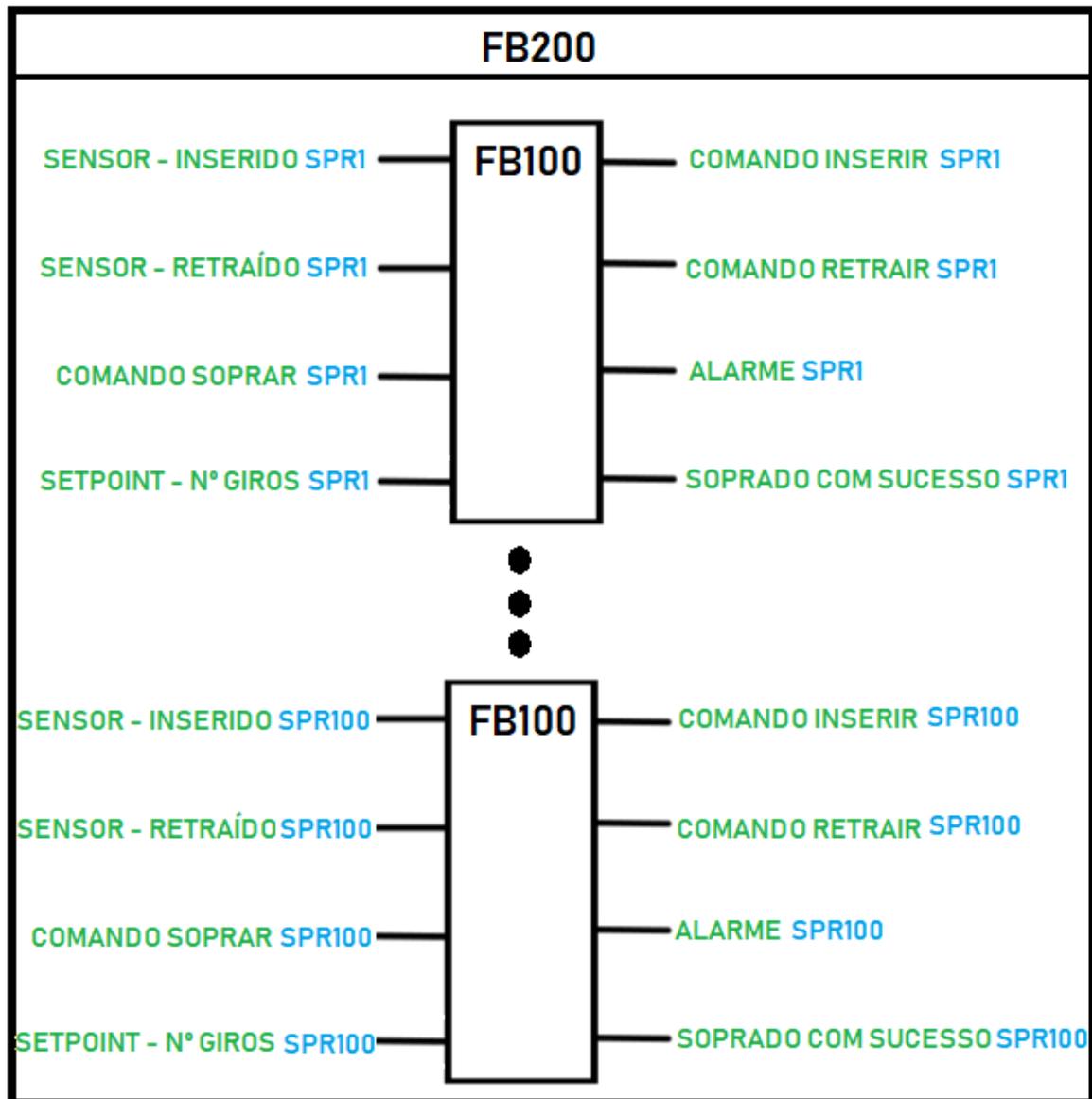
Figura 14 - FB100



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

A sub-rotina FB200 serve para chamar e preencher 100 vezes a função FB100, ou seja, uma vez para cada soprador curto da caldeira, conforme pode ser observado na figura 15.

Figura 15 - FB200



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

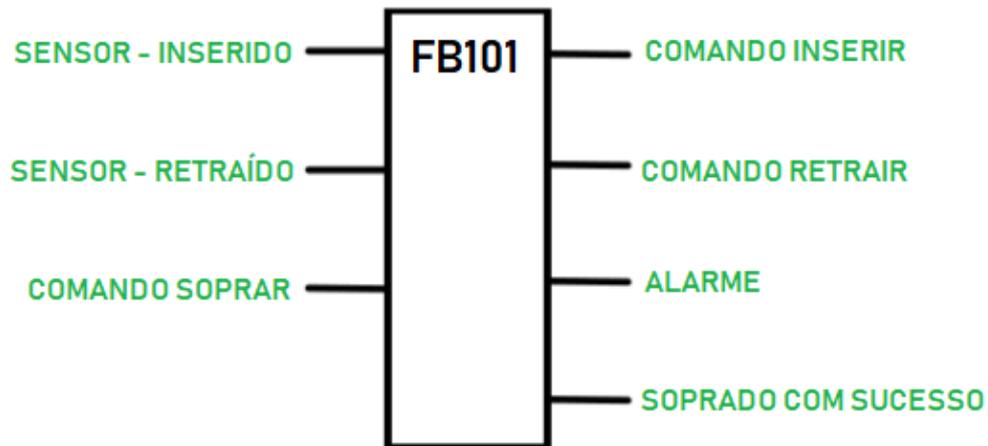
3.6.2 Sub-rotinas FB101, FB201

Cada soprador longo (RMS80E), possui num total 2 sinais de entradas digitais e 2 sinais de saídas digitais, idêntico aos sopradores curtos.

A sub-rotina FB101 é semelhante a FB100, sendo mais simples pois os sopradores longos não requerem o giro na inserção, apenas inserem e retraem. Desta forma a FB101 recebe o sinal da FB300 (controle de sequência) de quando o soprador deve inserir, realiza o comando

e monitora as possíveis falhas nos comandos inserir e retrainr por tempo excedido, conforme pode ser observado na figura 16.

Figura 16 - FB101



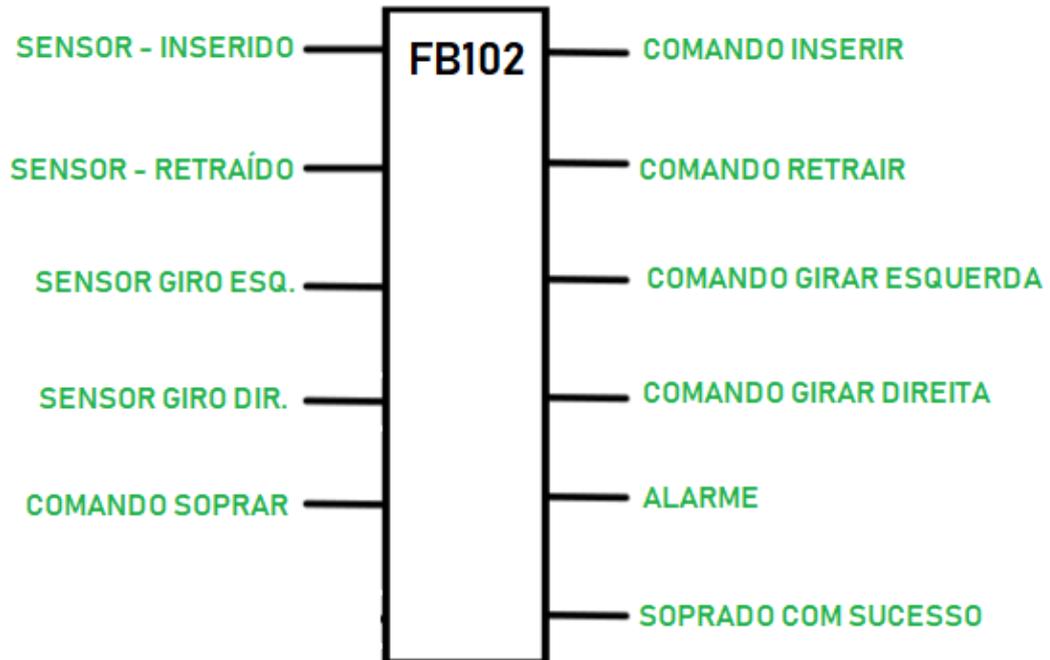
Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Analogamente a sub-rotina FB200 da figura 13, a sub-rotina FB201 serve para chamar e preencher 28 vezes a função FB101, ou seja, uma vez para cada soprador longo da caldeira.

3.6.3 Sub-rotinas FB102 e FB202

Para os dois sopradores longos do tipo RK-PL, foi necessário o desenvolvimento de sub-rotinas especiais, esses sopradores além dos sensores de inserido e retraído, possuem os sensores de giro esquerda e giro direita, pois em seu funcionamento mecânico deve girar 60° para o lado direito e inserir. Quando inserido, o mesmo deve girar 120° para esquerda e então retornar. Isso se faz necessário para que a limpeza de cinza da caldeira aconteça nas duas paredes em que o soprador está localizado. A sub-rotina FB102 faz esse controle e monitoramento de possíveis falhas no processo de inserção/retração do soprador, conforme pode ser observado na figura 17. A sub-rotina FB202 serve para preencher duas vezes a função FB102, ou seja, uma vez para cada soprador longo especial (RK-PL).

Figura 17 - FB102

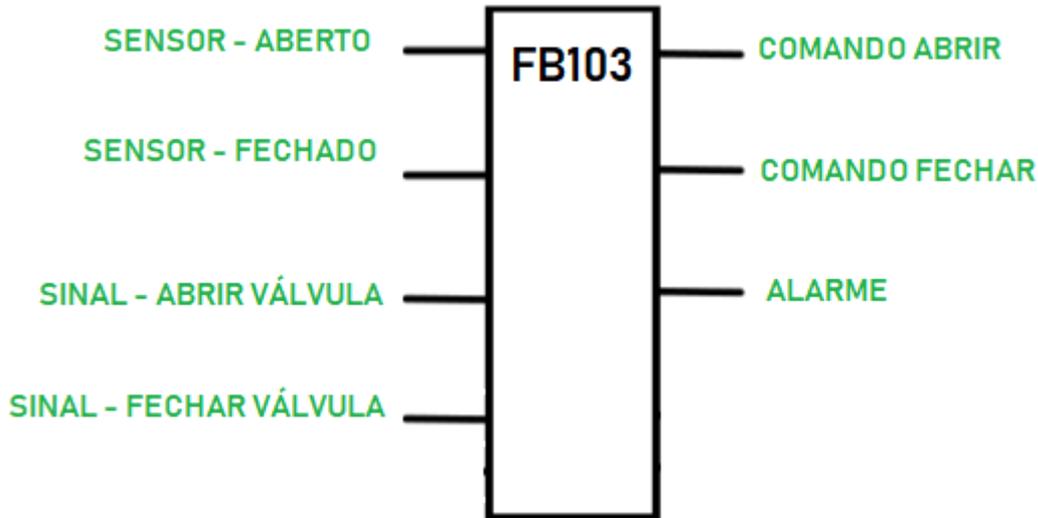


Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.6.4 Sub-rotinas FB103 e FB203

Para os elementos finais de controle do tipo válvulas *on-off*, válvulas que só tem dois estados de posições (aberto ou fechado), foi desenvolvida a sub-rotina FB103 que recebe da FB300 (controle de sequência) quando a válvula deve abrir (ou fechar), executa o comando e monitora possíveis falhas, como por exemplo, falha na abertura ou dupla sinalização. A figura 18 possibilita a análise da sub-rotina FB103 como diagrama de blocos.

Figura 18 - FB103



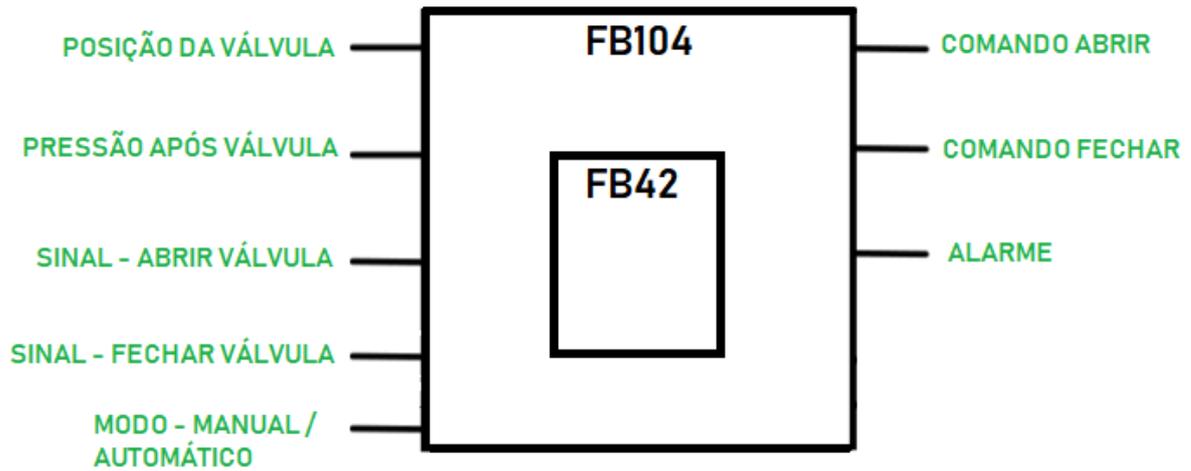
Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

A sub-rotina FB203 serve para chamar a FB103 para cada válvula existente no sistema, ou seja, 6 vezes.

3.6.5 Sub-rotina FB104

A regulação de pressão de vapor para os sopradores de fuligem era feita através de cartões eletrônicos no sistema TELEPERM, um sistema de controle de processos baseado em eletrônica digital e analógica da década de 80 e 90, a malha de controle pode ser observada no ANEXO A. A sub-rotina FB104 foi programa para substituir a malha de controle do TELEPERM, utilizando internamente o bloco de PID fornecido pela Siemens chamado de FB42 “CONT_S”, que é específico para válvulas de controle por acionamento via modulação de largura de pulso (PWM). A FB104, representada pela figura 19, recebe como entradas os sinais analógicos de pressão na saída da válvula e posição da válvula, que são utilizados na malha de controle. Em sua saída estão os comandos abrir e fechar válvula, que acionam dois relés do tipo estado sólido, que fazem a interface com a gaveta elétrica do motor da válvula.

Figura 19 - FB104

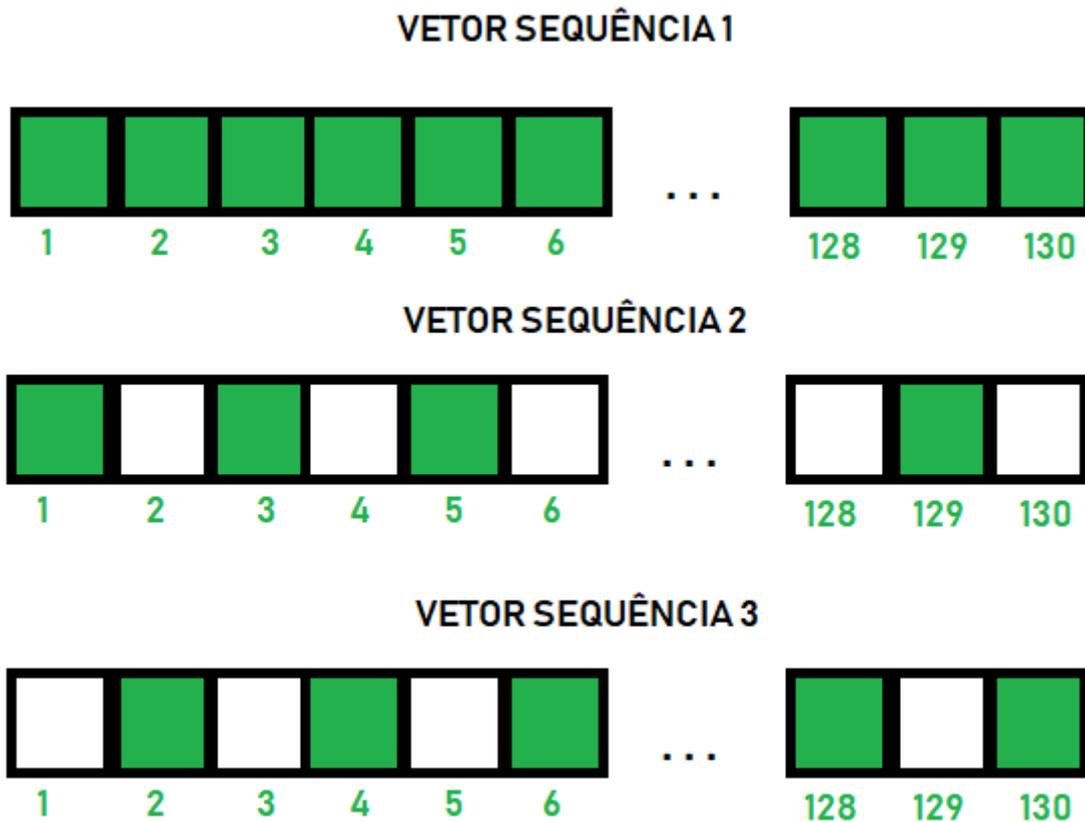


Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.6.6 Sub-rotina do controle de sequência (FB300)

O controle de sequência realizado pela sub-rotina FB300 é baseado no comportamento de vetores. Existem 7 vetores do tipo memória com 130 posições (1 para cada soprador), que armazenam quais sopradores devem ser ativados em cada receita, conforme pode ser observado na figura 20, onde a cor verde simboliza que o soprador está selecionado para a receita.

Figura 20 - Vetores Sequência



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

No modo manual os vetores são ignorados e os sopradores podem ser operados a partir do sistema supervisor da usina (DCS UTLC) ou IHM no painel dos sopradores, que utilizam o *software* SCADA Elipse E3.

No modo automático um comparador é acionado para saber qual receita deve ser realizada em cada comando soprar fornalha. Os sopradores apenas poderão operar nas sequencias pré-definidas nos vetores de sequência, são elas:

1) Fornalha total: é constituída pela sopragem do 1 ao 100. A sopragem será realizada com 2 sopradores por vez, 1 par e 1 ímpar (exemplo: 1 e 2, 3 e 4 e assim por diante), do menor para o maior;

2) Fornalha parcial: é constituída pelos sopradores 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 61, 62, 65, 66, 69, 70, 73, 74, 77, 78, 81, 82, 85, 86, 89, 90, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100. A sopragem será realizada com 2 sopradores por vez, do menor para o maior;

3) Passo intermediário: sopradores 101 ao 108 e 129 e 130. A sopragem se dará:

- Simultaneamente: 101 e 102, 103 e 104, 105 e 106, 107 e 108;
- Individual: 129 e 130.

4) Passo Intermediário 1: sopradores 101, 102, 103, 104 e 129. A sopragem se dará:

- Simultaneamente: 101 e 102, 103 e 104;
- Individual: 129.

5) Passo Intermediário 2: sopradores longos 101, 102, 105, 106, 129 e 130. A sopragem se dará:

- Simultaneamente: 101 e 102, 105 e 106;
- Individual: 129 e 130.

6) 2º passo: sopradores 109 ao 128. A sopragem se dará simultaneamente em pares (1 par e 1 ímpar);

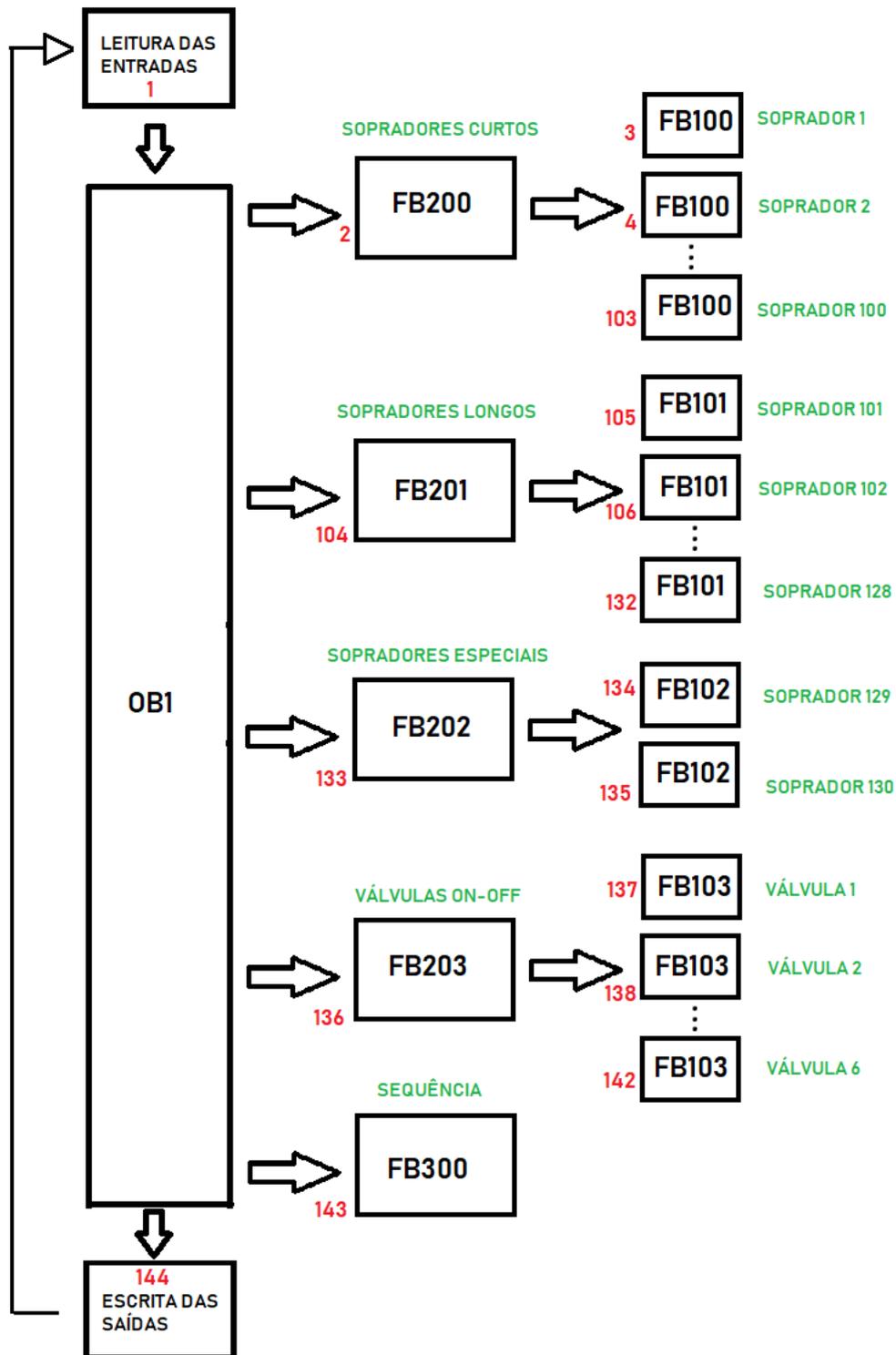
7) Sopragem completa: 1 ao 130 soprando 2 sopradores por vez, 1 par e 1 ímpar. Com exceção do 129 e 130, que são soprados individualmente.

Após a seleção de sequência ser definida e o comando iniciar sopragem ser realizado, a FB300 realiza toda sequência de abertura/fechamento de válvulas *on-off* (interface com FB203), envia o sinal para a estabilização da pressão para a válvula de controle (interface com FB104) e aguarda a temperatura da rede de vapor estabilizar. Então inicia a interface com as FBs 200, 201 e 202 informando quais sopradores devem ser soprados e aguarda sua conclusão.

3.6.7 Bloco de organização cíclico OB1

O termo OB, é utilizado pela Siemens como abreviação para *Organization Block*, ou seja, Bloco de Organização. Neste bloco é onde deve ser definida a sequência de instruções que o CLP irá realizar ciclicamente. Para o programa dos CLPs do sistema de sopragem, o bloco OB1 foi estruturado conforme a figura 21, nele foram inseridas todas funções explanadas nos tópicos anteriores exceto a FB104.

Figura 21 - Ciclo do CLP



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.6.8 Bloco de organização por interrupção OB35

A Siemens recomenda o uso de interrupções cíclicas para processamentos matemáticos que requerem cálculos com precisão de tempo, como por exemplo cálculos de PID

que internamente utilizam derivadas e integrais. O bloco OB35 foi programado para ser executado a cada 10ms nas CPUs, sua única função é executar a sub-rotina FB104 da válvula de controle de pressão de vapor. O processamento da OB35 na CPU tem prioridade em relação a OB1, em caso de a contagem de tempo na CPU chegar a 10ms a OB1 é pausada e a OB35 é executada. Após a execução da OB35 a OB1 retorna a sua execução e o ciclo do CLP continua.

3.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO

O sistema supervisório foi desenvolvido com o *software* Elipse E3 e integrado ao DCS UTLC (sistema SCADA da usina). Através da plataforma Elipse Studio foram programados todos os objetos de comunicação e de visualização que serão explanados nos tópicos a seguir.

3.7.1 *Driver* de Comunicação

Para a comunicação entre servidor do DCS UTLC e CLPs seja possível é necessário que todos estejam na mesma rede de comunicação industrial. Também é necessário que o servidor e os CLPs falem a mesma língua, quem faz esse papel é o *driver* de comunicação. Para a comunicação entre DCS UTLC e CLPs foi utilizado o *driver SIEMENS MProt* que é fornecido pela Elipse, sua configuração foi realizada conforme o manual do fabricante.

3.7.2 Bibliotecas e Objetos

Diversos projetos que levam muito tempo para serem configurados, devido a sua complexidade e extensão, podem ser desenvolvidos muito mais rapidamente com o uso dos recursos de orientação a objetos e as bibliotecas disponíveis no E3, criando projetos simples e objetivos, reduzindo drasticamente o tempo de manutenção (ELIPSE, 2019).

Algumas das vantagens do uso das bibliotecas de usuário do E3 são:

- Reutilização de código
- Minimização de testes durante o desenvolvimento
- Criação de interface padrão para os objetos desenvolvidos
- Diminuição do tempo de desenvolvimento de novos projetos
- Proteção do conteúdo do projeto

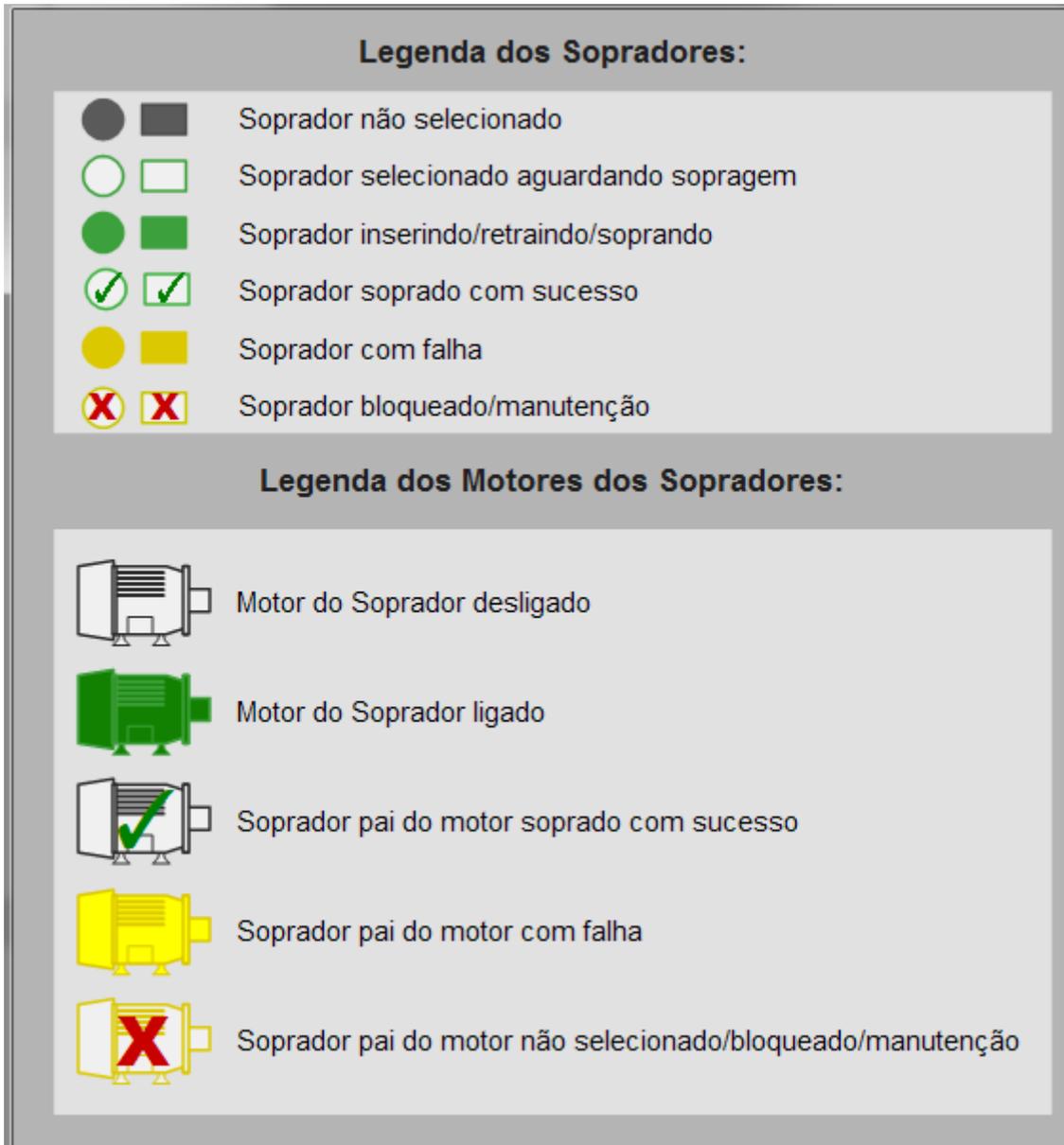
Ao ter mais experiência na utilização das bibliotecas do E3, cada vez mais o tempo de desenvolvimento será voltado ao aprimoramento dos objetos, e não na aplicação em si, já que ao modificar a biblioteca, a aplicação é atualizada automaticamente (ELIPSE, 2019).

Todos os objetos do sistema SCADA foram desenvolvidos no Elipse Studio utilizando a estrutura de bibliotecas, de tal forma, a mesma biblioteca pode ser utilizada em outra usina em uma futura modernização de sopradores de fuligem. Nos tópicos a seguir serão abordados os objetos desenvolvidos.

3.7.3 Legendas dos Objetos

Os objetos do sistema supervisório que tem animação conforme a lógica de controle dos CLPs, são os sopradores, motores de sopradores, válvulas *on-off* e válvula de controle. Conforme as figuras 22 e 23, foram definidos que a cor cinza representa desligado/fechado, a cor verde representa ligado/aberto e amarelo representa alarme/atenção.

Figura 22 - Legenda dos objetos parte 1



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Figura 23- Legenda dos objetos parte 2

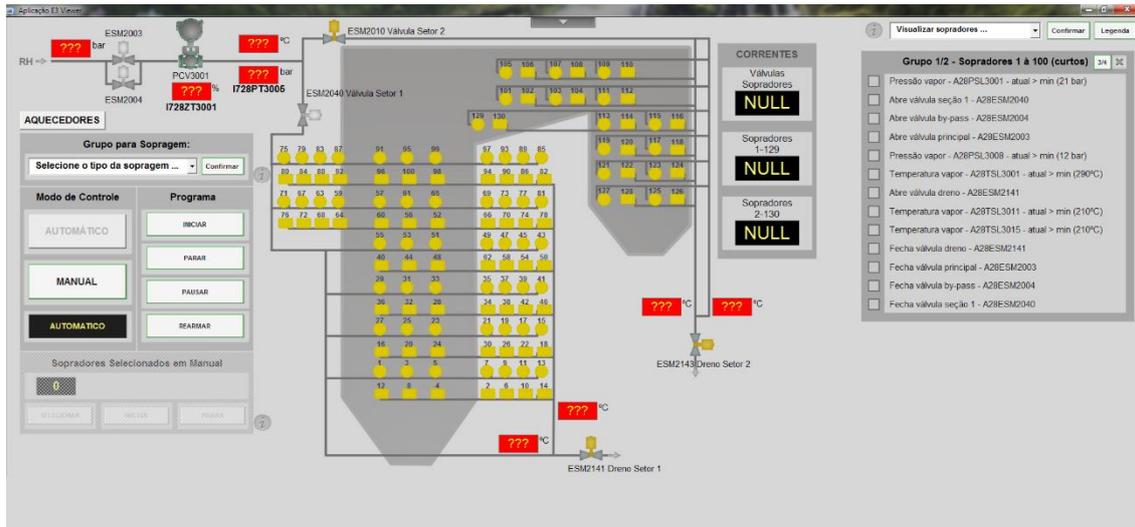


Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.7.4 Telas do Sistema

Visando a otimização do processo para os operadores, foi desenvolvida no sistema supervisório uma tela que contempla todas as informações do sistema possibilitando uma visão geral de seu comportamento. A figura 24 mostra a tela principal do sistema que foi inserida no DCS UTLC.

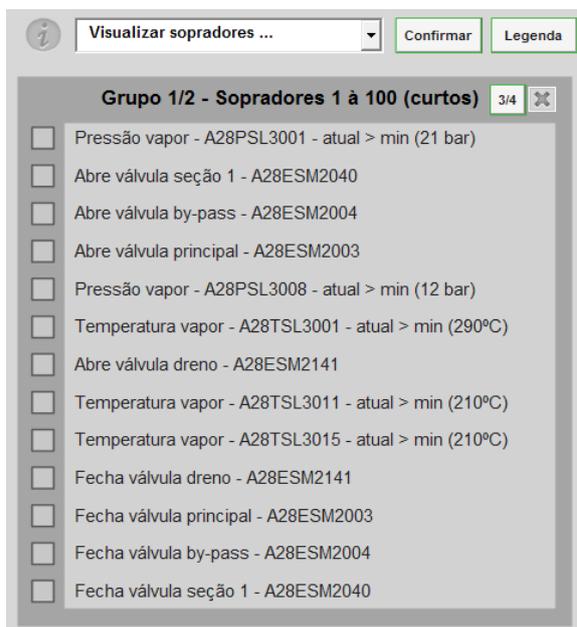
Figura 24 - Tela principal



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Foram inseridos botões de informação próximos aos comandos para auxiliar o operador, ao clicar nos mesmos é aberta uma caixa de diálogo explicando o modo de operação do sistema. No canto superior direito foi inserida a opção de o operador visualizar na tela apenas os sopradores do grupo que desejar, apenas selecionando o grupo e clicando em confirmar. Próximo a essa seleção se encontra um botão de informação que ao clicado mostra na tela informações sobre a sequência lógica de sopragem dos grupos 1/2 e 3/4 conforme mostra a figura 25.

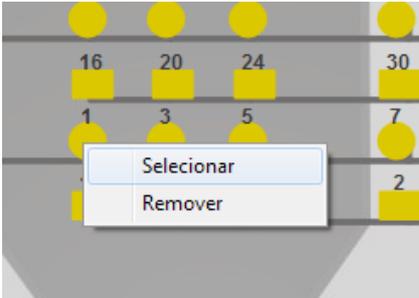
Figura 25 - Informações de sequência



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Se o sistema estiver em automático o operador pode selecionar/remover um soprador apenas clicando com o botão direito do mouse sobre o mesmo e escolher a opção (ver figura 26), sem que haja necessidade de abrir a janela de interface.

Figura 26 – Seleção de sopradores



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Ao clicar em cada objeto do tipo válvula, válvula de controle ou soprador uma janela de interface abrirá (ver figura 27) com informações específicas sobre o equipamento e com alguns comandos.

Figura 27 - Janela de interface



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Na janela de interface com o soprador o operador terá acesso a informações específicas do mesmo como localização e *tag*², podendo também checar o número de giros em tempo real, as informações de inserido/inserindo/retraído/retraindo, tempo de inserção e retração de forma decrescente, data/hora da última sopragem e liberação da lógica. Se o sistema estiver em automático, o mesmo também poderá selecionar/remover o mesmo pela *check-box* que estará visível. Nesta tela também serão exibidas detalhadamente os alarmes do soprador tal como ilustrado na figura 28.

Figura 28 - Alarmes dos sopradores

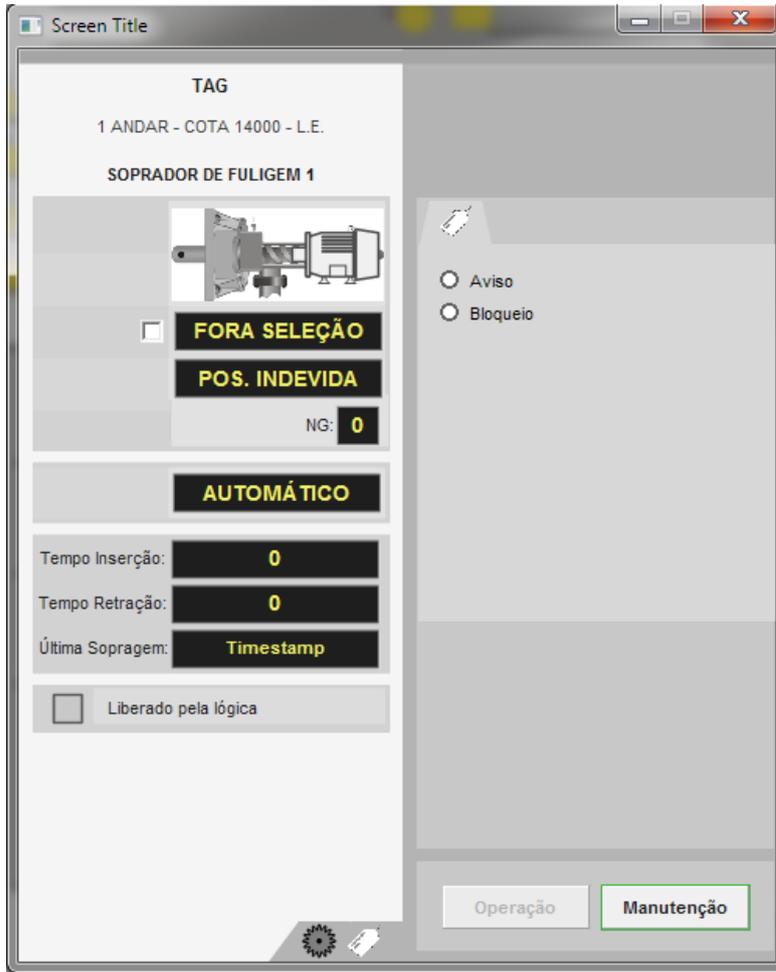


Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Nesta mesma janela o operador poderá colocar um cartão de aviso ou bloqueio no soprador ou colocar o soprador em manutenção/operação, basta clicar no ícone cartão para a tela se estender e habilitar novas funções conforme a figura 29.

² Identificação única de um equipamento no sistema de gerenciamento de ativos da empresa.

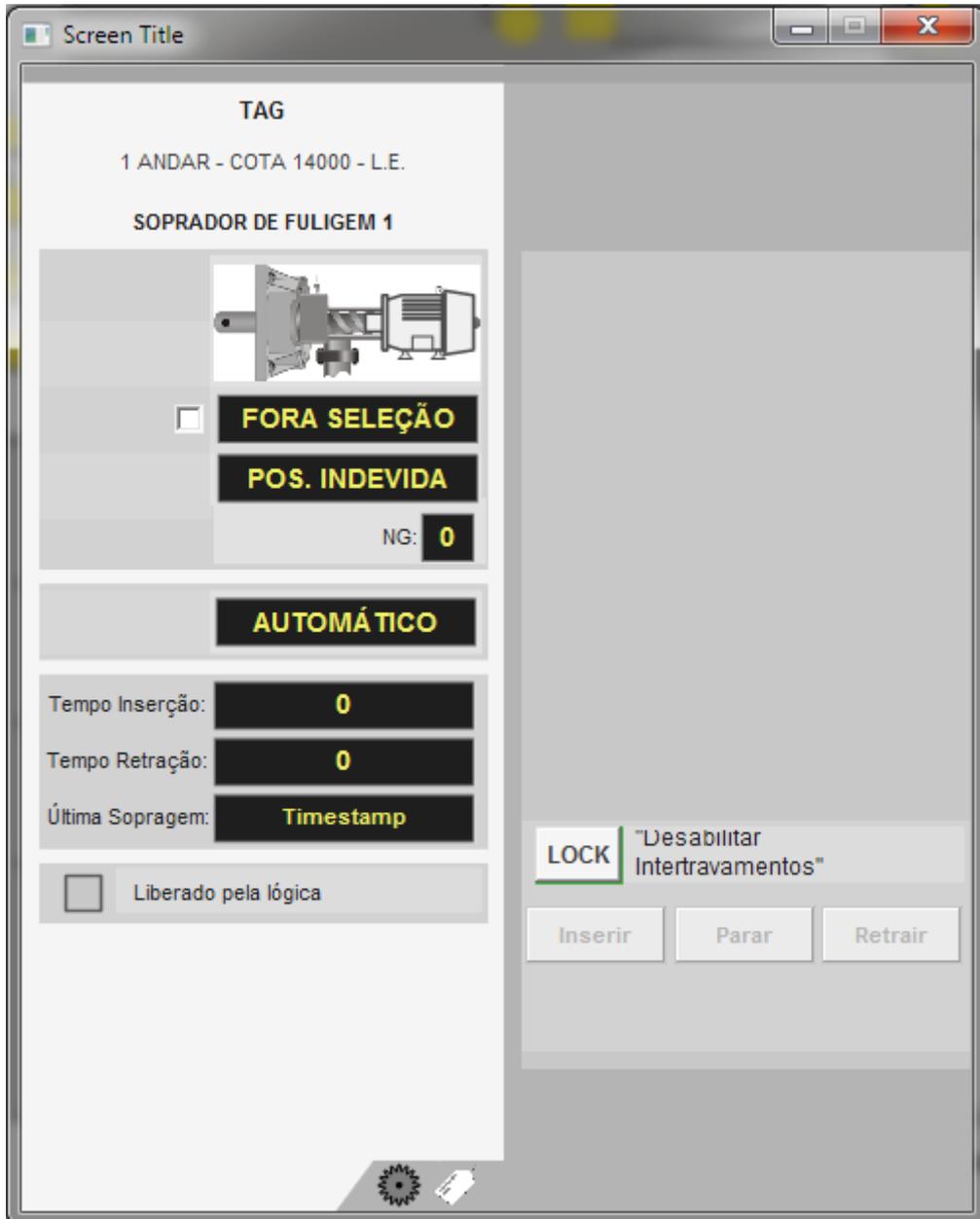
Figura 29 - Janela de interface expandida



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Também nesta tela dos sopradores foi inserido um ícone com uma engrenagem, este ícone abre uma tela específica para a manutenção (automação) e só estará visível para os usuários deste grupo. Onde o usuário do grupo Automação poderá desabilitar todos os intertravamentos de um determinado soprador que estiver em manutenção e inserir/retrair o mesmo sem vapor, conforme a figura 30.

Figura 30 - Comandos de Manutenção



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Voltando a tela principal dos sopradores de fuligem da caldeira, para iniciar a sopragem em automático o operador deverá selecionar o grupo de sopragem na esquerda da tela, confirmar e dar o comando de iniciar. Todos os comandos requerem confirmação do operador, abaixo na figura 31 podem ser observados os comandos gerais.

Figura 31 - Comandos Gerais



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Os botões trabalham de forma intuitiva, caso seja possível clicar no mesmo ele estará habilitado com a borda verde e caso não seja possível ele estará na cor cinza impossibilitando o clique. Abaixo segue a lista de possíveis comandos:

- Comando Iniciar – Inicia a sopragem do grupo selecionado;
- Comando Parar – Interrompe imediatamente a sopragem da caldeira retraindo os sopradores;
- Comando Pausar – Conclui a sopragem do soprador atual e pausa a sopragem;
- Comando Rearmar – Retorna a sopragem de uma pausa.

Caso o operador passe o sistema para manual a caixa de comandos gerais ficará da conforme a figura 32.

Figura 32 - Comandos em modo manual

Grupo para Sopragem:

Selecione o tipo da sopragem ... Confirmar

Modo de Controle

AUTOMÁTICO

MANUAL

MANUAL

Programa

INICIAR

PARAR

PAUSAR

REARMAR

Sopradores Seleccionados em Manual

0

SELECIONAR INICIAR PARAR

Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Para seleccionar os sopradores, deve-se clicar em seleccionar e então será aberta uma janela para seleção dos sopradores (ver figura 33) que serão soprados em manual, os sopradores devem ser seleccionados conforme as regras pré-estabelecidas sendo elas:

- Até 4 sopradores curtos sendo eles 2 pares e 2 ímpares;
- Até 2 sopradores longos sendo eles 1 par e 1 ímpar;
- Até 2 sopradores curtos e mais 1 soprador longo;

Após concluir a seleção basta fechar a tela e clicar em iniciar nos comandos gerais.

Figura 33 - Seleção manual de sopradores

Seleção manual de sopradores da caldeira

0

Remover

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130

Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.7.4.1 Operação de válvulas on-off

Caso o operador necessite abrir/fechar alguma das válvulas *on-off* do sistema (Setor, Drenos, *By-Pass*, Principal) o sistema deverá estar em manual e os comandos se darão pelas janelas de interface das válvulas, se o sistema estiver em automático todas as válvulas operarão de acordo com a lógica. Na janela de interface das válvulas, conforme a figura 34, o operador continua com a mesma funcionalidade dos sopradores podendo colocar uma válvula em manutenção/operação ou inserir um cartão de aviso/bloqueio e checar detalhadamente um alarme/falha da válvula.

Figura 34 - Janela de interface válvulas on-off



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

3.7.4.2 Operação da válvula de controle

Para a válvula de controle I728PCV3001, apesar de o seu controle também estar no CLP dos sopradores, ela fica separada do controle dos sopradores, ou seja, o controle dos sopradores pode estar em automático e o controle da PCV pode estar em manual e vice-versa. A figura 35 ilustra a janela de interface que é aberta quando o operador clica na PCV:

Figura 35 - Janela de interface válvula de controle



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

4 ANÁLISE

Com a implantação do novo sistema de supervisão e controle o primeiro impacto a ser analisado foi a substituição do painel de comando antigo, pois era ali onde o operador da usina tinha o contato com o sistema, que antes era dominado por equipamentos analógicos como interruptores eletromecânicos, medidores montados em painel e anunciadores que podem ser observados na figura 36.

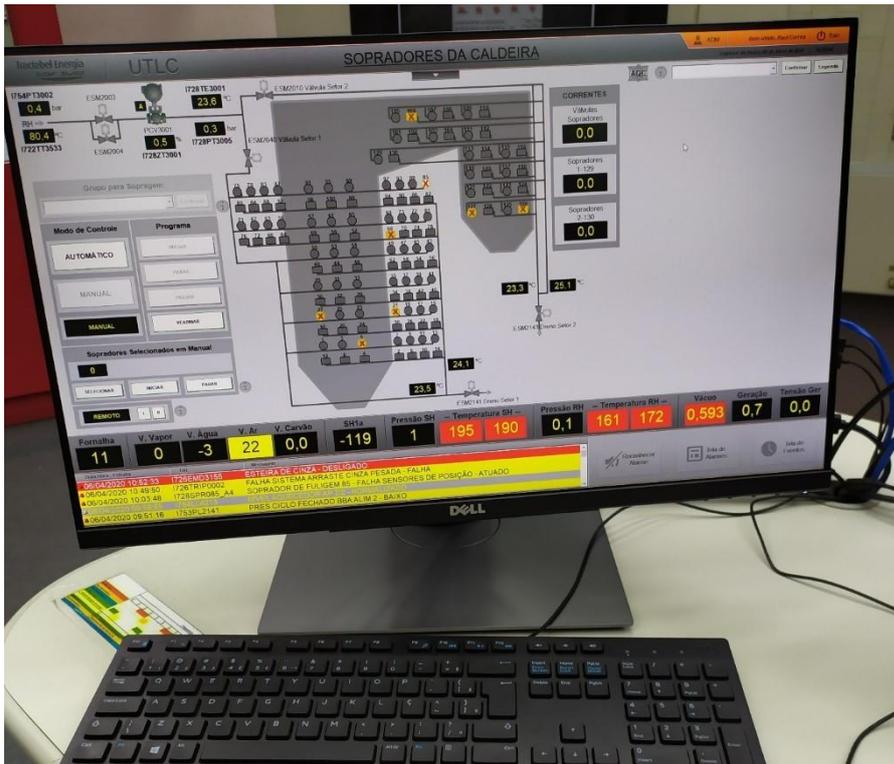
Figura 36 - Painel de comando antigo



Fonte: Acervo técnico da usina (2020).

O novo painel de controle agora é chamado de estação de controle (ver figura 37), é composto por um computador conectado à rede de comunicação da usina e um monitor com *touch-screen* de 24", este computador roda o *software* E3 Viewer que acessa as informações do servidor do DCS UTLC e as telas do sistema de sopragem.

Figura 37 - Estação de controle



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

O uso de tecnologia avançada é geralmente considerado para melhorar a segurança, no entanto, se mal projetado e implementado, pode ter o potencial de afetar o desempenho e reduzir confiabilidade. A digitalização do sistema mudou significativamente todo o funcionamento do ambiente, o papel dos operadores e a maneira como eles interagem com o sistema. Nos próximos tópicos serão abordados de forma crítica, temas como o desempenho humano, problemas decorrentes da digitalização e mecanismos cognitivos que impactam os operadores.

4.1 SOBRECARGA DE INFORMAÇÃO

O painel de controle antigo contava apenas com informações básicas do sistema de sopragem, mas era acoplado a mesa de comando geral da usina onde existem muitos indicadores analógicos e *displays* dedicados, cada um deles tem locais fixos. Os operadores podem navegar fisicamente para informações da planta mudando sua atenção.

Com a digitalização dos sopradores, todo esse sistema foi excluído da mesa de comando e se encontra apenas no DCS UTLC, um aspecto importante é que o tamanho da janela

de exibição é muito pequeno para o volume de dados. A maioria das informações está oculta e as telas foram otimizadas para obter o melhor rendimento.

A sobrecarga de informação representa um grande desafio para a entrada de informações na digitalização de sistemas. Embora os operadores possam obter vários dados dos sistemas de informação, eles devem encontrar e escolher as informações necessárias a partir de uma grande quantidade de informações. Como o ser humano pode coletar apenas uma quantidade limitada de informações por vez, a quantidade de informações apresentadas nas telas deve estar de acordo com o que o cérebro poder lidar, caso o contrário, lapsos de atenção e erros de omissão de informações podem ocorrer.

Apesar de o sistema de sopragem ser considerado um sistema secundário da usina, ou seja, que não afeta diretamente a geração de energia elétrica, caso o mesmo esteja com um volume grande de informações no DCS UTLC o operador pode focar sua atenção para o mesmo em um momento em que deveria estar voltado especificamente no controle da usina.

Desta forma um dos grandes desafios desta digitalização foi encontrar um ponto ideal entre informações necessárias e informações complementares. A utilização de bibliotecas no sistema supervisorio possibilitou o melhor desempenho nesse aspecto. As animações dos objetos dinâmicos na cor amarela quando ocorre algum problema, facilitaram com que a atenção dos operadores seja voltada somente quando necessário.

4.2 COMPLEXIDADE DO SISTEMA DIGITAL

Comparado com o sistema antigo, o novo sistema digital parece ser mais simples e compacto, mas na realidade ele se tornou mais complexo. A introdução de novas tecnologias como CLPs, redes de comunicação, suporte ao processamento de informações, e interface mediada por *software*, não apenas aumentam o número de componentes, mas também tornam a opacidade e o acoplamento dos sistemas ao mais alto nível.

O esquema cognitivo dos operadores é construído e atualizado principalmente através da educação formal, treinamento e acumulação de experiência operacional. A adoção de alto nível de automação pode ajudar operadores e minimizar sua carga de trabalho, mas eles também têm efeitos negativos. Em primeiro lugar, os operadores que controlam os sistemas altamente automatizados geralmente têm um conhecimento e entendimento limitados dos sistemas, o papel do operador mudou de um controlador ativo para um observador passivo durante o funcionamento normal do sistema (modo automático).

Para executar a tarefa de monitoramento e controle, os operadores devem interagir ativamente com a interface computadorizada e precisam executar tarefas de gerenciamento de interface, incluindo pesquisa de dados e navegação nos monitores etc. A fim de minimizar o impacto da complexidade da digitalização, foi disponibilizado um curso a todos os operadores onde puderam ter contato com a lógica e o sistema supervisório antes de sua implementação.

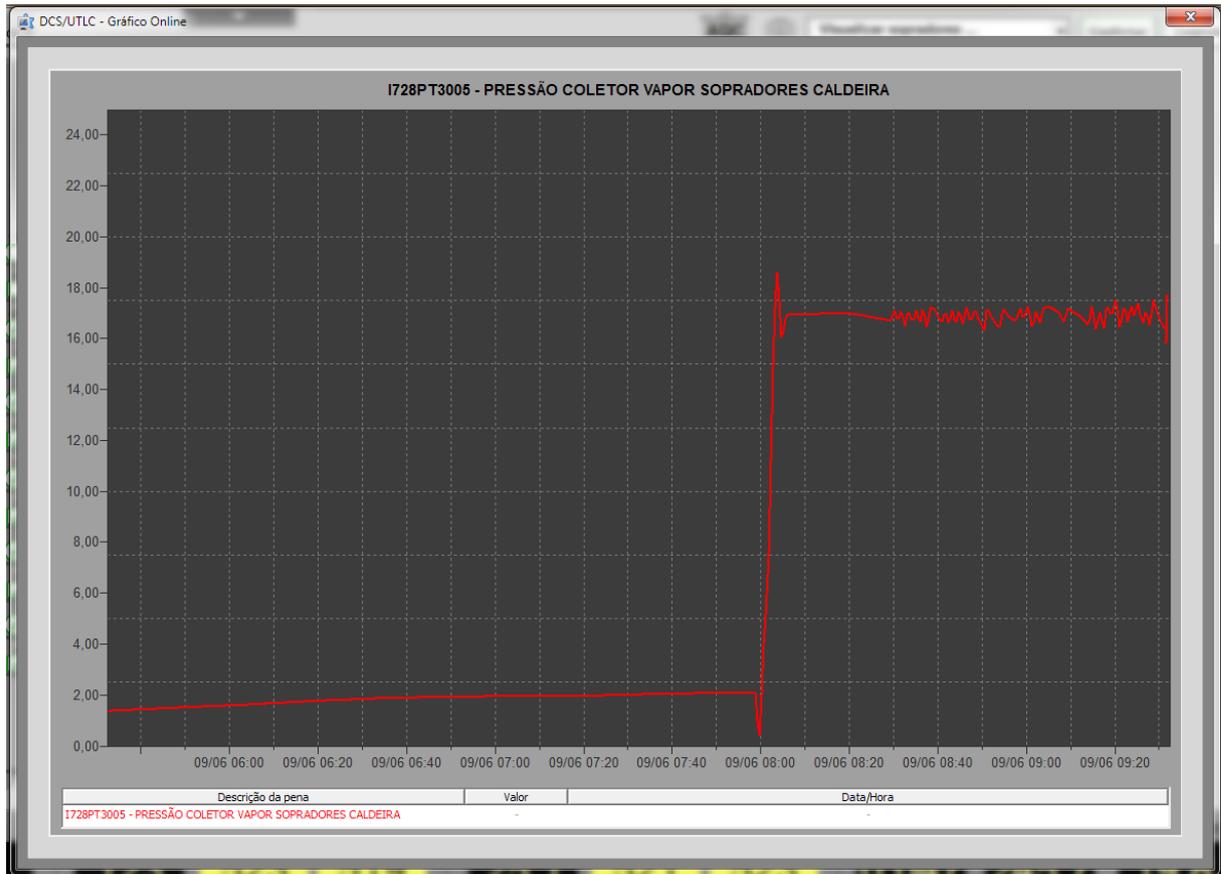
Durante o curso foi notado que alguns operadores mais velhos mostraram certa aversão a digitalização do sistema enquanto operadores mais novos se mostraram empolgados. Depois da implementação o sistema se mostrou muito eficaz e prático, tornando a rotina mais fácil, e com o uso contínuos os operadores se adaptaram e aprovaram a mudança.

4.3 MELHORIAS NO PROCESSO

Como o processo de supervisão e controle antigo era quase puramente analógico, as principais grandezas envolvidas, pressão e temperatura, não eram registradas. Desta forma não era possível mensurar se o sistema estava devidamente ajustado sem o uso de medições com osciloscópio acoplado ao sistema TELEPERM.

Com as variáveis inseridas no DCS UTLC e armazenadas em banco de dados, agora é possível gerar gráficos e relatórios e com esses dados avaliar o desempenho do sistema como um todo. Como por exemplo a sintonia do controle de PID da válvula de controle de pressão, agora é possível verificar seu ajuste de forma gráfica e avaliar a resposta do controle que pode ser observado na figura 38.

Figura 38 - Gráfico da pressão coletor vapor sopradores caldeira



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

4.4 MELHORIAS NA MANUTENÇÃO

Antes da modernização a equipe de manutenção tinha dificuldades no diagnóstico de problemas, principalmente os internos ao painel e causas de falha ou interrupção da sopragem. Um objeto chamado internamente pela manutenção da planta de “cumbuca”, uma espécie de giga de teste que pode ser observado na figura 39, era utilizado para o diagnóstico e teste dos sopradores.

Figura 39 – Giga de teste de manutenção antiga



Fonte: Elaboração dos Autores (2020).

Comparando a giga de teste da figura 39 com a interface desenvolvida na figura 30, fica visível o benefício para a manutenção. As informações para cada elemento ficam claras e visíveis na janela pop-up, com os devidos privilégios no DCS UTLC o usuário de manutenção pode inclusive ignorar a lógica e efetuar um comando abrir/fechar para as válvulas ou inserir/retrair para os sopradores. Um benefício desse procedimento é no ajuste mecânico dos equipamentos, onde é necessário que uma válvula ou soprador fique parado em posições específicas e que agora são comandados via supervisor de forma remota, diferentemente da cumbuca que tinha que ser acoplada ao painel.

5 CONCLUSÃO

A modernização do sistema de supervisão e controle dos sopradores de fuligem foi uma necessidade que não poderia ser mais adiada, e para tanto, foi desenvolvido um projeto contendo as etapas que estariam envolvidas no processo de modernização.

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível verificar que a etapa mais importante de modernização de um sistema é a etapa de projeto. Deve ser executada em partes para que sejam levantados os pontos que serão tratados no processo, em comum acordo com autoridades da planta, engenheiros, operadores e técnicos de manutenção, os quais deram diversas sugestões que complementaram o sistema de supervisão e controle dos sopradores de fuligem.

O projeto abrange componentes de diversos níveis hierárquicos da automação, iniciando com sensores, evoluindo para os controladores e finalizando nos softwares de supervisão, aquisição e análise de dados. O conhecimento do processo deve ser a primeira etapa de desenvolvimento do sistema de supervisão e controle, onde são levantados todos os elementos que irão fazer parte da implementação.

Um aspecto relevante na parte de sistemas supervisórios é que o desenvolvimento da tela deve ser bem homogêneo: a quantidade de elementos por tela deve ser compatível com a capacidade humana de interpretá-los a fim de reduzir as possibilidades de equívoco por parte do operador, inclusive nos momentos de alta demanda operacional, o que gera um aumento de stress. Assim, devem ser representadas as entidades de processo de forma única, permitindo uma operação independente da estrutura física, sem surpresas para o operador.

Com a finalização desta modernização, fica um amplo sentimento de dever cumprido e que os conhecimentos adquiridos em sala de aula foram mesclados com o conhecimento prático diante as dificuldades enfrentadas. A pesquisa e troca de informações foram fatores determinantes para a elaboração deste trabalho.

Para projetos futuros poderá ser abordado um estudo da eficiência do sistema de sopradores de fuligem, seu impacto no consumo de vapor da planta e o uso de suas informações em novas tecnologias aplicadas a Indústria 4.0, como por exemplo *Machine Learning* e *Big Data* já que todas suas variáveis estão digitalizadas.

REFERÊNCIAS

- ABIMAQ. (18 de Setembro de 2019). *Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos*. Fonte: Abimaq: <http://www.abimaq.org.br/>
- CNI. (18 de Setembro de 2019). *Confederação Nacional da Indústria*. Fonte: CNI: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/cni_estatistica_2/2015/02/11/165/Industria_Numeros_mar2016_MOBILE.pdf
- Dorf, R. C. (2009). *Sistemas De Controle Modernos*. LTC.
- ELIPSE. (09 de Setembro de 2019). Fonte: Elipse Software: <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/>
- Energia em Ação. (26 de 10 de 2019). Fonte: Energia em ação: <http://energiaacao.blogspot.com/2010/04/esquema-de-usina-termeletrica-carvao.html>
- IEC-61131. (2013). *IEC-61131: Programming Industrial Controllers*.
- Nise, N. S. (2017). *Engenharia de Sistemas de Controle*. Tubarão: LTC.
- Pontes, P. M. (15 de janeiro de 2020). Fonte: Vias Positronicas: <http://viaspositronicas.blogspot.com/2008/07/utilizacao-de-sub-rotinas-no-robolab.html>
- Siemens. (2010). *Programming with STEP 7*. NÜRNBERG.
- Teach Me Microcontroller*. (25 de Setembro de 2019). Fonte: <https://www.teachmemicro.com>
- Vieira, E. (20 de Setembro de 2019). *Brasil Logic Sistemas*. Fonte: BLSistemas: <http://www.blsistemas.com.br/>

ANEXOS

ANEXO A – DGT-I-0278 Folha 4

