



GERENCIAMENTO DE ALARMES EM PLANTAS INDUSTRIAIS

Isabelle Silva Contreras

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadores: Rossana Odette de Mattos Folly
Andrea Valdman

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2017

GERENCIAMENTO DE ALARMES EM PLANTAS INDUSTRIAIS


Isabelle Silva Contreras

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Examinado por:



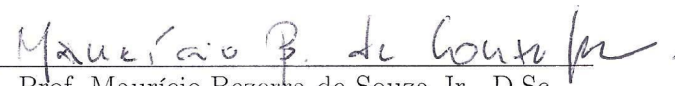
Prof. Rossana Odette de Mattos Folly, D.Sc.



Prof. Andrea Valdman, D.Sc.



Prof. Andréa Pereira Parente, M.Sc.



Prof. Maurício Bezerra de Souza Jr., D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2017

Silva Contreras, Isabelle

Gerenciamento de Alarmes em Plantas Industriais/Isabelle Silva Contreras. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

XII, 79 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Rossana Odette de Mattos Folly

Andrea Valdman

Projeto de graduação – UFRJ/Escola Politécnica/Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 69 – 70.

1. Gerenciamento de Alarmes. 2. EEMUA 191. 3. ISA 18-2. 4. Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes. I. Folly, Rossana Odette de Mattos *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

Agradecimentos

Aos meus pais Márcia e Pedro e a minha avó Sônia, por sempre acreditarem e investirem em mim.

Ao meu melhor amigo Lucas, por estar sempre do meu lado.

Às minhas orientadoras Andrea Valdman e Rossana Folly, pela oportunidade e por toda a atenção prestada.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à POLI/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

GERENCIAMENTO DE ALARMES EM PLANTAS INDUSTRIAIS

Isabelle Silva Contreras

Fevereiro/2017

Orientadores: Rossana Odette de Mattos Folly
Andrea Valdman

Curso: Engenharia de Controle e Automação

Nesta tese, foi feito um estudo de como aplicar as recomendações das normas de referência de gerenciamento de alarmes EEMUA 191 e ISA 18.2 em plantas industriais. Estas normas abordam diferentes tópicos referentes a boas práticas de sistemas de alarmes: desde de definição de alarme e seu ciclo de vida até requisitos e recomendações da interface homem-máquina. Com base nestas normas, foi desenvolvida uma metodologia de estudo que auxilia a análise de sistema de alarmes e a identificação de pontos que podem ser melhorados a fim de adequá-los às exigências das normas. Esta metodologia contém cinco etapas: levantamento da documentação da planta, estudo do processo, análise da lista de alarmes configurados, avaliação do histórico dos alarmes e realização de questionários com usuários. Adicionalmente, foi realizado um caso de estudo da implementação da metodologia desenvolvida na planta da caldeira que se localiza no Laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O resultado deste estudo indicou que existem aspectos desse sistema de alarmes que podem ser aprimorados. Com isso, foram sugeridas modificações, como por exemplo, a eliminação de alguns alarmes redundantes ligados à eficiência da reação de queima e a realização de uma nova distribuição de prioridades.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Control and Automation Engineer.

ALARM MANAGEMENT IN INDUSTRIAL PLANTS

Isabelle Silva Contreras

February/2017

Advisors: Rossana Odette de Mattos Folly
Andrea Valdman

Course: Control and Automation Engineering

In this thesis, a study of how to apply the recommendations of the reference standards for alarm management EEMUA 191 and ISA 18.2 in industrial plants was done. These standards cite different topics related to the good practices in alarm systems: from the definition of alarm and its life cycle to the requisites and recommendations of a human interface machine. Based on these standards, it was developed a methodology of study that helps the analysis of an alarm system and the identification of the features that could be improved in order to achieve the standards' requirements. This methodology has five steps: documents gathering, process study, analysis of alarms list, evaluation of alarm history and application of feedbacks with users. In addition to that, a case of study was done implementing the developed methodology in a plant of a semi-industrial boiler located in the Chemical Engineering Department Laboratory in the Rio de Janeiro's Federal University. The result of this study showed that there are some aspects of this alarm system that could be improved. In order to do that, some modifications such as the elimination of some redundant alarms related to the reaction efficiency and the implementation of a new priority distribution were suggested.

Sumário

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas	xi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Organização do Texto	4
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Gerenciamento de Alarmes	5
2.1.1 Definição de Alarme	5
2.1.2 Ciclo de Vida do Alarme	7
2.2 Funcionamento de uma Caldeira	22
2.2.1 Tipos de Caldeira	23
3 Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes	26
3.1 Etapa 1 - Levantamento da Documentação da Planta	28
3.2 Etapa 2 - Estudo do Processo	29
3.3 Etapa 3 - Análise da Lista de Alarmes Configurados	30
3.4 Etapa 4 - Avaliação do Histórico dos Alarmes	31
3.5 Etapa 5 - Realização de Questionários com Usuários	32
3.6 Implementação de Modificações Sugeridas	33
4 Estudo de Caso	35
4.1 Descrição da Planta	36
4.2 Aplicação da Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes	39
4.2.1 Etapa 1 - Levantamento da Documentação da Planta	39
4.2.2 Etapa 2 - Estudo do Processo	40
4.2.3 Etapa 3 - Análise da Lista de Alarmes Configurados	42

4.2.4	Etapa 4 - Avaliação do Histórico dos Alarmes	54
4.2.5	Etapa 5 - Realização de Questionários com Usuários	56
4.3	Resultados Obtidos do Estudo	57
4.3.1	Racionalização	57
4.3.2	Priorização	59
4.3.3	Design Detalhado de Alarmes	65
5	Conclusões e Sugestões	67
	Referências Bibliográficas	69
A	P&ID da Planta da Caldeira	71
B	Questionário <i>Feedback</i> da Planta da Caldeira	73
C	Parâmetros de Configuração da Nova Priorização	76

Lista de Figuras

1.1	Painel de alarmes antigo	1
1.2	Número de alarmes configurados por operador	2
2.1	Interação do operador com o processo através do sistema de alarmes .	6
2.2	Ciclo de vida do alarme	8
2.3	Representação do <i>on-delay</i>	16
2.4	Representação do <i>off-delay</i>	16
2.5	Representação do <i>deadband</i>	17
2.6	Exemplo de interface homem-máquina	18
2.7	Simbologia sugerida para as prioridades	19
2.8	Esquemático do funcionamento de uma caldeira genérica	23
2.9	Ilustração da arquitetura das caldeiras flamotubulares	24
2.10	Ilustração da arquitetura das caldeiras aquatubulares	24
3.1	Etapas presentes na metodologia de estudo de sistema de alarmes . .	27
4.1	Centro de utilidades do LADEQ	35
4.2	Tela principal da caldeira no sistema supervisório	37
4.3	Sumário de alarmes do sistema supervisório	38
4.4	Distribuição de tipos de alarmes configurados na planta da caldeira .	53
4.5	Faixa de prioridades sugerida para a planta da caldeira	60
4.6	Comparação entre distribuição de prioridades inicial e proposta . . .	64
4.7	Campos "Alarm Extension Field2" e "Area" localizados na tela sumário de alarmes	66
A.1	Diagrama P&ID da Planta do LADEQ	72

Lista de Tabelas

2.1	Exemplo de tabela de índice de criticidade	14
2.2	Exemplo de tabela de índice de tempo de resposta	15
2.3	Exemplo de tabela de faixas de prioridade	15
2.4	<i>Benchmarks</i> dos <i>Key Performance Indicators</i>	22
3.1	Estimativa da distribuição de tempo gasto para atividades realizadas para a aplicação da metodologia de estudo do sistema de alarmes . . .	28
4.1	Variáveis analógicas que possuem alarmes do tipo absoluto	43
4.2	Variáveis analógicas que possuem alarmes de diagnósticos	45
4.3	Variáveis discretas que possuem alarmes	47
4.4	Consequência de não atuação para alarmes de variáveis analógicas do tipo absoluto	49
4.5	Consequência de não atuação para alarmes de variáveis analógicas de diagnósticos de instrumentos	51
4.6	Consequências de não atuação para alarmes de variáveis discretas . . .	52
4.7	Exemplo de histórico de alarmes exportado pelo iFix	55
4.8	Métricas calculadas para os históricos dos alarmes	56
4.9	Tabela de índices de criticidade	59
4.10	Tabela de índice de tempo de resposta	60
4.11	Prioridade proposta em alarmes do tipo absoluto de variáveis analógicas	61
4.12	Prioridade proposta em alarmes do tipo diagnóstico de instrumentos de variáveis analógicas	62
4.13	Prioridade proposta em alarmes de variáveis discretas	63
C.1	Índices de priorização de alarmes de variáveis analógicas do tipo absoluto	77
C.2	Índices de priorização de alarmes variáveis analógicas do tipo diagnósticos de equipamentos	78
C.3	Índices de priorização de alarmes de variáveis discretas	79

Lista de Abreviaturas

AI *Analog Input (Entrada Analógica)*

DI *Digital Input (Entrada Discreta)*

EEMUA *Engineering Equipment and Materials Users Association*

HAZOP *Hazard and Operability Study*

HH *Alarme cujo o valor de processo ultrapassou seu limite muito alto*

HI *Alarme cujo o valor de processo ultrapassou seu limite alto*

IHM *Interface Homem-Máquina*

ISA *International Society of Automation*

KPI *Key Performance Indicator*

LADEQ *Laboratório do Departamento de Engenharia Química*

LL *Alarme cujo o valor de processo ultrapassou seu limite muito baixo*

LO *Alarme cujo o valor de processo ultrapassou seu limite baixo*

P&ID *Piping and Instrumentation Diagram*

PFD *Process Flow Diagram*

UFRJ *Universidade Federal do Rio de Janeiro*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

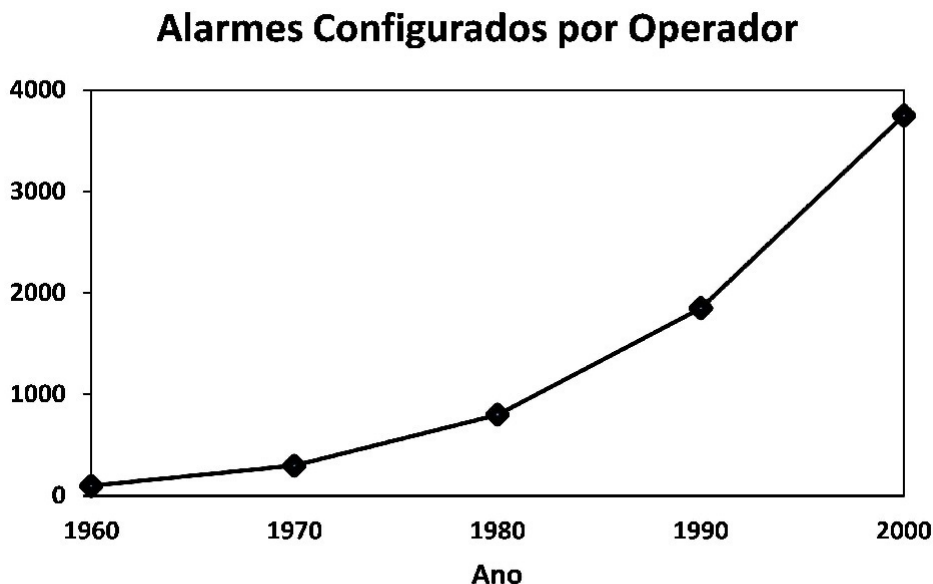
Até a década de 1950, antes da invenção de sistemas de controle computadorizados, a instrumentação industrial era somente pneumática. Ou seja, os sinais de sensores e atuadores eram transmitidos utilizando ar comprimido cuja pressão variava de 3 a 15 psi (SAMAD *et al.*, 2007). Desde desta época, os alarmes já eram utilizados para auxiliar o operador a operar a planta. Para representar o disparo destes alarmes, eram usados painéis dedicados com recursos visuais e sonoros (SEBORG *et al.*, 2010). Um exemplo de um painel semelhante ao utilizado anteriormente à década de 1950 é visualizado na Figura 1.1. Nota-se que nele foram configurados apenas 22 alarmes como, por exemplo, vibração alta e falha de equipamentos. Também verifica-se que este painel possui o recurso de reconhecimento que irá apagar luzes e sons que chamavam atenção para os alarmes ativos. Considerando que este tipo de painel possui um número finito de entradas (neste caso, só podem ser configurados no máximo 22 alarmes), a criação de novos alarmes era limitada pelo custo associado a compra de mais equipamentos. Por causa disto, somente eram criados alarmes para monitorar as variáveis mais relevantes do processo.



Fonte: Engineered Solutions Inc., 2012

Figura 1.1: Painel de alarmes antigo

No começo da década de 1960, microcomputadores começam a ser utilizados para auxiliar o controle de processos industriais e, finalmente, em 1975 os primeiros sistemas digitais de controle distribuídos foram criados. Estes sistemas eram especializados no registros de dados das variáveis de processo, nos cálculos de eficiência da planta e no auxílio do seu gerenciamento, utilizando, dentre outras ferramentas, os alarmes para informar o usuário da situação da planta (SAMAD *et al.*, 2007). Desta maneira, após a aquisição deste sistemas de controle, a adição de novos alarmes passa a ocorrer sem aumento de custo associado a compra de novos equipamentos. Com isso, a facilidade de criação de novos alarmes fez com que o número de alarmes configurados nas plantas aumentasse bastante ao longo dos anos. Pode-se perceber esta tendência através do gráfico mostrado na Figura 1.2. Nele, é possível observar que o número de alarmes configurados totais por operador nas plantas industriais aumenta 4000 vezes em 40 anos.



Fonte: Hollifield & Habibi, 2010

Figura 1.2: Número de alarmes configurados por operador

Porém, ao contrário do que muitos pensavam, a ampliação da quantidade de alarmes configurada não gera o aumento do grau de segurança e da controlabilidade de um processo. Como existe um número máximo de dados que um operador consegue gerir, existe um limite na qual a adição de mais informações irá auxiliar a controlar a planta. Pelo contrário, a criação de mais alarmes apenas sobrecarrega o operador, estressando-o e prejudicando seu trabalho (HOLLIFIELD e HABIBI, 2010).

Um exemplo de problema grave causado pela mau gerenciamento do sistema de alarmes ocorreu na fábrica da *DuPont* localizada na cidade de Belle nos Estados Unidos (SAFETY e BOARD, 2011), onde houve o vazamento de aproximadamente 930 quilos de cloreto de metila na atmosfera. O relatório de investigação realizado pelo *U. S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board* indicou que o sensor de rachadura do disco de ruptura, que liberaria o gás para a atmosfera, estava alarmando cinco dias antes do acidente e os operadores haviam ignorado estes alarmes. O resultado do estudo concluiu que os operadores não confiavam nas informações advindas deste sensor, pois as condições de disparo dos alarmes eram inadequadas. Com isso, quando uma situação problemática realmente ocorreu, os operadores ignoraram a informação que eles acreditavam que estava errada.

A situação descrita anteriormente é somente um dos exemplos em que uma situação trágica foi evitada. Para todo acidente existem eventos precursores que por muitas vezes não causam danos significativos na planta e acabam passando despercebidos (PARIYANI *et al.*, 2010). Esta má gestão dos distúrbios predecessores dos acidentes é intrinsecamente interligada com a gestão dos alarmes de plantas industriais. Pensando na influência deste tópico, as instituições EEMUA (*Engineering Equipment and Materials Users Association*) e ISA (*International Society of Automation*) criaram normas para auxiliar o gerenciamento de alarmes. As normas EEMUA 191 (*Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement*) e a ISA 18.2 (*Management of Alarm Systems for the Process Industries*) são a principal referência da literatura deste assunto atualmente e foram utilizadas como base para este estudo. Elas abordam todos os tópicos referentes a alarmes: desde sua definição e seu ciclo de vida até requisitos e recomendações para a interface homem-máquina.

Apesar do seu conteúdo bem fundamentado, muitas das orientações contidas na ISA 18.2 e EEMUA 191 podem parecer pouco práticas e de difícil implementação para quem passa o dia-a-dia no chão de fábrica e não possui tanto interesse em definições e formalismos. Considerando este fato, este trabalho busca desenvolver metodologias práticas e intuitivas que auxiliem membros de indústrias a aplicar os conceitos destas normas no gerenciamento de alarme em plantas industriais.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo dos princípios e das recomendações apresentadas nas principais normas de gerenciamento de alarme publicadas e desenvolver uma metodologia de estudo para sistemas de alarmes que torne mais intuitiva a aplicação do conteúdo destas normas. Por fim, para exemplificar a utilização da metodologia desenvolvida, o presente trabalho irá aplicá-la em uma caldeira

semi-industrial de pequeno porte localizada no Laboratório do Departamento de Engenharia Química da UFRJ (LADEQ) da Escola de Química da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro).

1.3 Organização do Texto

O primeiro capítulo explicita a motivação do estudo. Esta é constituída pela introdução do tema de gerenciamento de alarmes e pelo contextualização de como este assunto foi ganhando importância no decorrer dos anos. No final desta capítulo, o objetivo deste estudo é relatado.

No segundo capítulo é apresentado todos os conceitos relevantes de gerenciamento de alarmes apresentados nas normas ISA 18.2 e EEMUA 191, como por exemplo, a definição de *setpoints* e os índices de performance definidos como referência de um sistema de alarmes robusto. Adicionalmente, é abordado o funcionamento e os tipos mais comuns de caldeira.

No terceiro capítulo, será apresentada a metodologia de estudo criada para analisar a robustez de sistema de alarmes e identificar os aspectos que não estão em conformidade com as normas.

No capítulo quatro, com o objetivo de avaliar a metodologia de estudo do capítulo 3, será realizado um caso de estudo em uma planta de uma caldeira localizada no Laboratório do Departamento de Engenharia Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Com isso, neste capítulo serão abordados o passo a passo realizado para a aplicação da metodologia de estudo nesta planta industrial e os resultados obtidos do estudo.

Finalmente, no quinto capítulo serão apresentadas as conclusões do estudo.

Capítulo 2

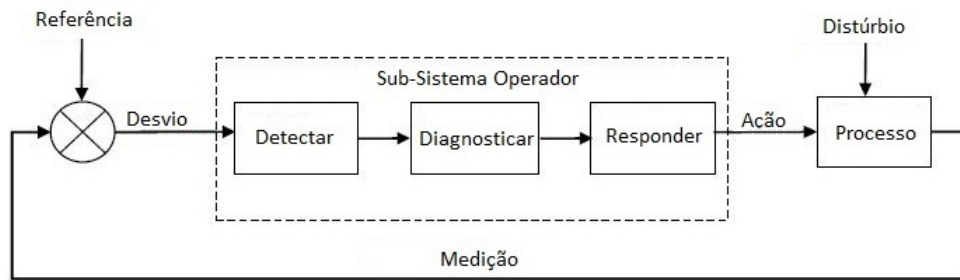
Revisão Bibliográfica

2.1 Gerenciamento de Alarmes

2.1.1 Definição de Alarme

O alarme é definido por um recurso visual ou sonoro utilizado para alertar o operador que uma situação anormal está ocorrendo e que uma ação para consertar este problema precisa ser tomada (EEMUA 191, 2013). Esta intervenção pode ser abrir ou fechar uma válvula, parar um equipamento, ou até mesmo avisar a um superior ou a um funcionário de outra área sobre a situação crítica. Caso exista uma informação que não requeira a execução de uma atividade, esta não deve ser configurado como um alarme. Apresentar este tipo de informação para o operador junto com os alarmes só irá sobrecarregá-lo desnecessariamente com situações que fogem ao seu controle.

A Figura 2.1 é uma boa representação de como é feita a interação do operador com o processo através do sistema de alarmes. Quando as condições operacionais do processo divergem de seus valores ideais, o sistema de alarmes detecta esta variação e ativa um alarme. Este disparo chamará a atenção do operador que, por sua vez, terá que diagnosticar a situação. Uma vez identificado o que está causando esta situação, o operador atuará na planta para esta poder voltar ao seu estado normal de operação. Como representado na Figura 2.1, este ciclo é reiniciado toda vez que houver um novo distúrbio no processo.



Fonte: ANSI/ISA-18-2, 2016

Figura 2.1: Interação do operador com o processo através do sistema de alarmes

Se após o acionamento do alarme e a interferência do operador no processo a situação crítica não for controlada, devem existir mais camadas de proteção para garantir a segurança do processo, de todos os funcionários da fábrica e dos residentes da área onde a indústria está localizada (SEBORG *et al.*, 2010). Após o disparo dos alarmes, se a situação continuar agravando-se, a primeira proteção adicional acionada são os sistemas de *interlock* ou intertravamentos de segurança. O intertravamento é um mecanismo de contenção automático que comanda a parada de equipamentos, como bombas e motores, no momento em que uma condição é atendida. Esta estratégia só é utilizada após o acionamento de alarmes porque a parada de equipamentos geralmente está associada a parada parcial ou total da produção, ocasionando perdas monetárias. Caso o problema continue a piorar após o acionamento dos intertravamentos, válvulas de alívio e disco de ruptura podem ser acionados a fim de evitar que a pressão continue aumentando na tubulação e cause uma explosão. Se ainda sim a situação não for contida, deve-se soar um alerta para que todos os funcionários e a comunidade ao redor da planta industrial evacuem a área.

2.1.1.1 Tipos de Alarme

Entradas analógicas são aquelas cujo sinal, que geralmente está relacionado com uma voltagem ou uma corrente, variam em um intervalo definido. Por exemplo, a temperatura medida por um termopar é uma variável analógica porque esta varia de acordo com o *range* do instrumento. Ao contrário da primeira, variáveis discretas só admitem dois valores que costumam ser associados a 0 e 1. Este tipo de variável é utilizado para indicar o estado ou condição de uma chave ou equipamento (por exemplo, aberto ou fechado, ON ou OFF, START ou STOP). Por exemplo, chaves de nível são variáveis do tipo digital uma vez só possuem dois estados (aberto ou fechado) que são associados ou a 0 ou a 1.

Para estes tipos de variáveis, podem ser criados diferentes tipos de alarmes:

- **Alarmes Absolutos**

Tipo mais comum de alarme que é acionado quando o valor das variáveis analógicas ultrapassa valores absolutos, também conhecidos como *setpoints*. Estes valores devem ser suficientemente pequenos para que haja tempo para agir antes que o problema ocorra, porém grande o bastante para relatar uma situação crítica. Normalmente, este tipo de alarme é classificado como *high* (HI) quando ultrapassa o valor máximo de uma variável, como *high-high* (HH) quando ultrapassa um valor maior e mais crítico que o *setpoint* do alarme *high*, como *low* (LO) quando ultrapassa o valor mínimo de uma variável, e como *low-low* (LL) quando ultrapassa um valor menor e mais crítico que o *setpoint* do alarme *low*.

- **Alarmes de Taxa de Mudança**

Alarme acionado quando a taxa de variação no tempo de uma variável analógica ultrapassa um *setpoint* preestabelecido

- **Alarmes de Discrepância**

Alarmes gerados quando há discrepância entre o estado esperado de uma variável digital e seu valor atual.

- **Alarmes Calculados**

Tipo de alarme baseado na combinação lógica de vários sinais.

- **Alarmes de Diagnóstico do Sistema**

Tipo de alarme que indica uma falha no hardware ou software do sistema de controle.

- **Alarmes de Diagnóstico de Instrumentos**

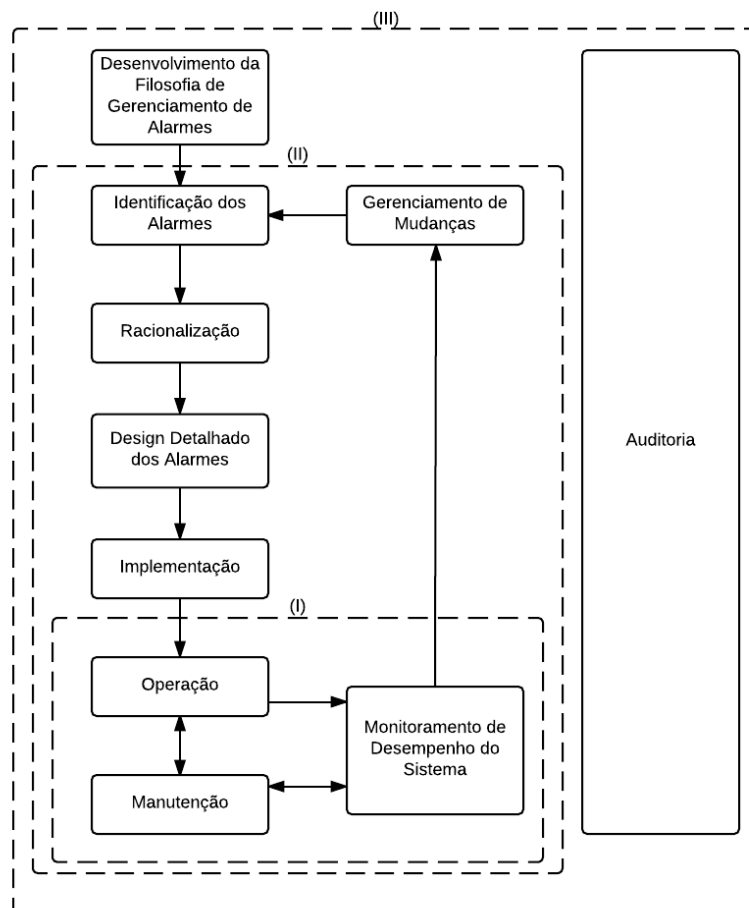
Alarme que indica o estados do instrumento como normal, falha na medição ou falha na conexão.

2.1.2 Ciclo de Vida do Alarme

O gerenciamento de alarmes se constitui de todas as atividades realizadas para criar e manter o sistema de alarmes funcionando adequadamente. Com objetivo de auxiliar a execução destas atividades, foi criada a concepção do ciclo de vida do alarme que aborda ações desde a criação do sistema até a atualização e manutenção do mesmo (ANSI/ISA-18.2, 2016). Na Figura 2.2, é possível visualizar o fluxograma

representativo do ciclo de vida do alarme. Após esta figura, há uma breve definição de suas etapas e dos fluxos destacados. Os procedimentos necessários para concretizar as atividades dos fluxos (I) e (II) - que são as atividades mais complexas do ciclo - serão detalhados ao longo deste capítulo. Na prática, como a etapa de Identificação de Alarmes costuma ocorrer ao longo da etapa de Racionalização, não será criado um tópico específico para o primeiro.

Para garantir um gerenciamento de alarmes eficaz é necessária a participação de diversas áreas de uma indústria. Por exemplo, as áreas de processo, manutenção e automação são essenciais para o bom funcionamento do sistema. O primeiro setor terá o conhecimento a respeito das condições do processo, dos equipamentos utilizados e das variáveis que precisam ser monitoradas com mais atenção. Os funcionários da manutenção podem informar sobre os equipamentos que costumam ter falhas recorrentes e o que fazer para reparar o dano. Já a área de automação será responsável por toda a configuração do sistema de alarmes.



Fonte: ANSI/ISA-18-2, 2016

Figura 2.2: Ciclo de vida do alarme

- **Desenvolvimento da Filosofia de Gerenciamento de Alarmes**

Etapa em que é desenvolvido o documento de referência para todas as outras etapas do ciclo. Neste documento, serão definidos conceitos, diretrizes e as metodologias a serem seguidas ao longo do ciclo. Por exemplo, ele contará com as metodologias escolhidas para as etapas de racionalização e a priorização, padrões e cores a serem utilizados na Interface Homem-Máquina (IHM), procedimentos a serem executados quando alarmes são disparados, entre outros. Nota-se que o documento de Filosofia de Gerenciamento de Alarmes pode variar bastante dependendo da planta para qual foi desenvolvido.

- **Identificação dos Alarmes**

Compreende a etapa na qual é levantada a lista com os potenciais alarmes.

- **Racionalização**

Nesta etapa, são analisados quais alarmes são realmente necessários. Para isso, deve ser avaliado quais são as consequências caso o alarme seja ignorado, quais são as ações de correção do problema e o tempo de resposta adequado. Neste item, também são definidos os valores limites que acionarão os alarmes, conhecidos como *setpoints*, e as prioridades que destacarão o grau de urgência e importância do mesmo.

- **Design Detalhado dos Alarmes**

Etapa na qual há a definição de mais atributos dos alarmes, tal como os valores de *delay* e a *deadband* que são recursos para diminuir o número de falsos positivos e negativos. Além disso, nesta etapa, são desenvolvidas as telas gráficas da IHM.

- **Implementação**

Etapa em que nova configuração do sistema de alarmes entrará em funcionamento, havendo também a realização de treinamentos e testes iniciais.

- **Operação**

Contempla a operação do sistema de alarmes. A partir desta etapa, os operadores utilizarão o sistema para serem avisados sobre as situações anormais e tomar as ações necessárias.

- **Gerenciamento de Mudanças**

Etapa em que é descrito e documentado todo o processo de implementação de atualizações. Quando uma mudança do sistema é aprovada e implementada,

deve-se retornar a etapa de identificação de alarmes e racionalização para a avaliação da nova lista de alarmes.

- **Manutenção**

Etapa em que um ou mais alarmes são retirados momentaneamente do sistema de alarmes para realização manutenção e testes, tal como testes nos instrumentos.

- **Monitoramento de Desempenho do Sistema**

Etapa em que é avaliada a performance do sistema de gestão de alarmes através da utilização de indicadores e métricas. A partir do monitoramento, pode ser evidenciada a necessidade de manutenção de alguma parte da planta ou a implementação de mudanças no sistema, quando identificado que existe algum ponto que não está de acordo com a filosofia.

- **Auditoria**

Ocorre concomitantemente com o ciclo de gestão de alarmes. Etapa em que se verifica se tudo o que foi definido durante todas as etapas foi implementado corretamente no sistema de alarmes, se todas as etapas previstas estão sendo cumpridas e se há algum aspecto que pode ser melhorado no ciclo de gestão de alarmes.

Dentro do ciclo de gerenciamento de alarme, três fluxos são identificados. São eles:

- (I) **Monitoramento e manutenção**

É realizado toda vez que um alarme é posto em manutenção.

- (II) **Monitoramento e gestão de mudanças**

Ocorre quando é identificada, através do monitoramento da gestão de alarmes, a necessidade de mudanças no sistema para a adequação à filosofia. Os alarmes em questão podem continuar em operação enquanto o procedimento não é finalizado.

- (III) **Auditoria e ciclo de vida**

Este fluxo se refere a todas as etapas do ciclo de vida do gerenciamento do alarme, refletindo uma busca contínua de aperfeiçoamento do sistema de alarmes.

2.1.2.1 Racionalização de Alarmes

A racionalização é considerada uma das etapas mais relevantes do ciclo de vida do alarme. Nela, será realizado um estudo profundo sobre os alarmes configurados no sistema a fim de se certificar que estes estão em conformidade com a definição de alarmes apresentada anteriormente. Neste estudo, também deve ser verificado se os alarmes configurados são os melhores identificadores das situações anormais e que não há alarmes com relação pai e filho. Ou seja, caso um primeiro alarme seja acionado, um segundo será ativado conjuntamente. Adicionalmente, nesta etapa são avaliados os valores dos *setpoints* e as prioridades destes alarmes. Devido a complexidade da etapa de priorização, esta será abordada em um item separado.

2.1.2.1.1 Documentos Essenciais para a Racionalização

Para inicializar a racionalização, deve-se ter em mãos alguns documentos básicos da planta que serão destacados a seguir.

Primeiramente, são necessários todos os *Piping and Instrumentation Diagrams* (P&IDs) e *Process Flow Diagrams* (PFDs) do processo para que o contexto no qual os alarmes foram inseridos na planta possa ser avaliado com mais detalhes. Por exemplo, é necessário verificar se o alarme em questão está relacionado a uma malha de controle, se o alarme está configurado em instrumentos redundantes, ou seja, um instrumento que possui um substituto em caso de falha, ou se há mais de um alarme relacionado ao mesmo instrumento.

Além disso, estudos de segurança da planta como o *Hazard and Operability Study* (HAZOP) são uma ótima referência para esta etapa. Este tipo de estudo tem como principal objetivo identificar e avaliar os potenciais riscos para a operação, principalmente relacionados com a segurança dos operários, a segurança da planta e a interferência na produção. Com isso, é possível obter informações dos equipamentos que devem possuir alarmes e qual situação crítica estes propõem evitar. Considerando também os riscos de operação, é bastante recomendado avaliar os relatórios de incidentes da própria planta e de equipamentos semelhantes aos utilizados. Isto complementarará o mapeamento das situações críticas dos estudos de segurança, indicando quando alarmes precisam ser criados.

Para análise dos valores dos *setpoints*, deve-se utilizar a documentação das condições normais de operação da planta para avaliar o intervalo de valores das variáveis de processo que não compreendem a situações esperadas. Para variáveis que não possuem um intervalo específico de operação, deve ser definido se serão seguidas as orientações do fornecedores ou de alguma norma específica.

Adicionalmente, deve-se analisar os documentos de partida e parada da planta. Muitas vezes, os *setpoints* configurados não possuem a mesma aplicabilidade

nestas situações, tendo que ser modificados. Outra situação bastante corriqueira é a não-relevância de alguns alarmes durante a partida ou a parada. Por exemplo, durante a partida de uma planta, enquanto um tanque estiver enchendo, um alarme de nível baixo não é necessário. Para estes casos, é importante que os alarmes sejam suprimidos nos momentos que não forem significativos.

2.1.2.1.2 Metodologia de Identificação e Racionalização de Alarme

Neste tópico, serão apresentadas duas metodologias sugeridas para as etapas de identificação e de racionalização de alarmes. Estes métodos foram estruturados para sistemas de alarme com maturidades diferentes. A Metodologia de Análises Estatísticas é mais eficaz para sistemas que nunca passaram pela racionalização e para avaliar sucintamente o funcionamento de sistemas de alarmes mais consolidados. Por outro lado, o Método das Vazões (ROTHENBERG, 2009) é preferencialmente utilizado para uma avaliação completa de sistemas que estão sendo criados e de sistema que já estão em funcionamento e que nunca passaram antes por um processo parecido.

A Metodologia de Análises Estatísticas consiste na investigação dos alarmes com maior número de disparos na planta para identificar problemas em sua configuração como, por exemplo, a validação da necessidade do alarme, o valor adequado de *setpoints*, o uso de *delay* ou *deadband* para eliminar falsos positivos e negativos, entre outros. Caso não seja identificado nenhum problema na configuração destes alarmes, deve ser investigado se há algum problema no arranjo da planta que está causando o grande número de disparos. Este método é uma forma rápida e simples de realizar a avaliação dos alarmes configurados. Seu passo a passo é descrito abaixo:

1. Levantam-se os históricos de alarmes que apresentem condições semelhantes no processo;
2. Verificam-se os 10 alarmes que mais apresentam disparo;
3. Analisa-se se os alarmes em questão indicam situações críticas do processo que necessitam da ação do operador para ser normalizada. Caso algum alarme não represente uma situação crítica, deve-se removê-lo da lista de alarme;
4. Verifica-se se os *setpoints* dos alarmes são disparados somente quando há uma situação crítica;
5. Analisa-se se é necessário adicionar recursos como o *delay* e o *deadband*.

Ao contrário do primeiro, o Método das Vazões fará uma avaliação completa dos alarmes configurados na planta através da análise dos P&IDs e PFDs, identificando os que precisam ser criados e avaliando os já existentes. O seu passo a passo é descrito a seguir.

1. Com base nos diagramas de processo da planta, escolhe-se uma área de interesse para iniciar o procedimento;
2. Nesta área, identifica-se a corrente, ou linha de processo, de maior relevância;
3. Ao longo da corrente selecionada, verifica-se os possíveis cenários que podem fugir das condições normais de operação, analisando as causas que levam a estas condições e também as suas consequências. Além disso, avalia-se quais são as melhores maneiras de identificar estes cenários e quais são as intervenções que o operador deve realizar para normalizá-las. Na análise destes cenários, algumas situações podem surgir:
 - (a) Caso seja confirmada a necessidade de criação de um novo alarme, deve-se investigar todos instrumentos relacionados para se assegurar que o alarme identificado não é redundante. Por fim, é documentado o valor de *setpoint* e prioridade do alarme;
 - (b) Caso já exista um alarme que identifica tal cenário, deve-se analisar as configurações implementadas e avaliar se este não é redundante;

Se após este processo, ainda existam alarmes implementados na corrente que não identifiquem condições anormais de operação ou que não requeiram uma ação do operador, estes devem ser excluídos da base.

4. Após o término desta análise, deve-se continuar o procedimento em direção às correntes menores, até alcançar a saída da unidade escolhida;
5. Deve-se repetir o procedimento para as outras unidades da planta.

Ao final de todo o processo de Identificação e Racionalização de Alarmes, é essencial que sejam documentadas todas as alterações no sistema de alarmes com suas devidas justificativas para manter a sua rastreabilidade.

2.1.2.2 Priorização

É importante salientar que o operador precisa atender todos os alarmes disparados do sistema. Porém, quando existem muitos ativos, ao invés de respondê-los por ordem temporal de disparo, deve-se utilizar uma ordem de preferência que reflita os diferentes níveis de urgência destes alarmes. Considerando este princípio, foi criado o recurso de prioridades para orientar o operador sobre sua ordem de atendimento.

Durante muito tempo se discutiu o número ideal de prioridades que identifique adequadamente os níveis de urgência dos alarmes e, até hoje, ainda existe uma certa divergência em relação a este número. Normas como a EEMUA 191 e a

ISA 18.2 sugerem entre três e quatro prioridades e são unânimes ao dizerem que um número muito grande de prioridades pode confundir o operador que não consegue avaliar a diferença entre estes níveis. Ao mesmo tempo, estas normas também enfatizam que a utilização de dois níveis (*High* e *Low*) não é suficiente para expressar a diversidade de situações.

Na literatura, existem diversos métodos de priorização que utilizam critérios muito diferentes entre si. Dentre eles, neste presente trabalho foi escolhido o Método de Matriz de Prioridades (EEMUA 191, 2013), pois os outros métodos apresentam critérios subjetivos, como por exemplo o custo em termos monetários que a empresa terá que arcar caso não seja resolvida a situação crítica a tempo. Um outro fator atrativo para esta metodologia é que seus critérios podem ser facilmente ajustados. Com isso, pode-se ajustar a quantidade de alarmes em cada nível de prioridade de modo a adequar às metas escolhidas.

No Método de Matriz de Prioridades, os alarmes são caracterizados segundo dois critérios. O primeiro é a criticidade da consequência para o caso em que não há a atuação do operador no problema. Para esta análise deve-se avaliar os seguintes aspectos: segurança da equipe; impacto no meio ambiente; qualidade, produção e cumprimento do prazo dos produtos; integridade dos equipamentos; finanças e reputação da empresa. O segundo é o tempo de resposta que o operador dispõe para atender o alarme e a planta voltar ao seu estado normal. Em outras palavras, deve-se avaliar o tempo que o operador possui para observar o disparo, analisar as possíveis causas do alarme, agir na planta e esperar esta voltar ao estado normal.

Considerando estes dois aspectos são criadas duas tabelas de referência relacionando níveis de gravidade e tempos de resposta médios com valores de um a quatro, que serão seus índices, como exemplificado nas Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1: Exemplo de tabela de índice de criticidade

Índice de Criticidade	Eventos
1	Desvio de linha não-crítica
2	Desvio de linha crítica
3	Parada de equipamento
4	Comprometimento da segurança de funcionários
5	Parada da planta

Tabela 2.2: Exemplo de tabela de índice de tempo de resposta

Índice de Tempo de Resposta	Tempos de Resposta
1	Maior que 30 minutos
2	Entre 10 e 30 minutos
3	Entre 3 e 10 minutos
4	Menor que 3 minutos
5	Imediato

Uma vez definidas as tabelas de referência, para realizar a priorização de um alarme, deve-se multiplicar os Índices de Criticidade e de Tempo de Resposta encontrados nas Tabelas 2.1 e 2.2 e comparar este valor com uma tabela que possui os intervalos de valores para cada nível de prioridade, conforme exemplificado na Tabela 2.3. Nota-se que, devido às particularidades de cada planta, as tabelas de referência podem divergir bastante umas das outras, principalmente no que se diz respeito ao tempo de resposta.

Tabela 2.3: Exemplo de tabela de faixas de prioridade

Prioridade	Faixa de Valores
Emergência	Entre 20 e 25
High	Entre 15 e 19
Medium	Entre 6 e 14
Low	Entre 1 e 5

2.1.2.3 Design Detalhado do Alarme

2.1.2.3.1 *Delay* e *Deadband*

O *delay* (atraso) e o *deadband* (banda morta) são recursos empregados para evitar que ruídos e pequenas variações gerem alarmes falsos positivos ou negativos, confundindo assim o usuário do sistema. Para verificar a necessidade de utilização destes recursos, deve-se analisar se o histórico de alarmes contém alarmes que são disparados e voltam ao seu estado inativo em um espaço muito curto de tempo (IZADI *et al.*, 2010).

O *delay* pode ter dois tipos: *on-delay* e *off-delay*. O primeiro representa o tempo na qual o alarme terá que permanecer acionado antes que ele apareça na tela de alarmes ativos do sistema, como demonstrado na Figura 2.3.

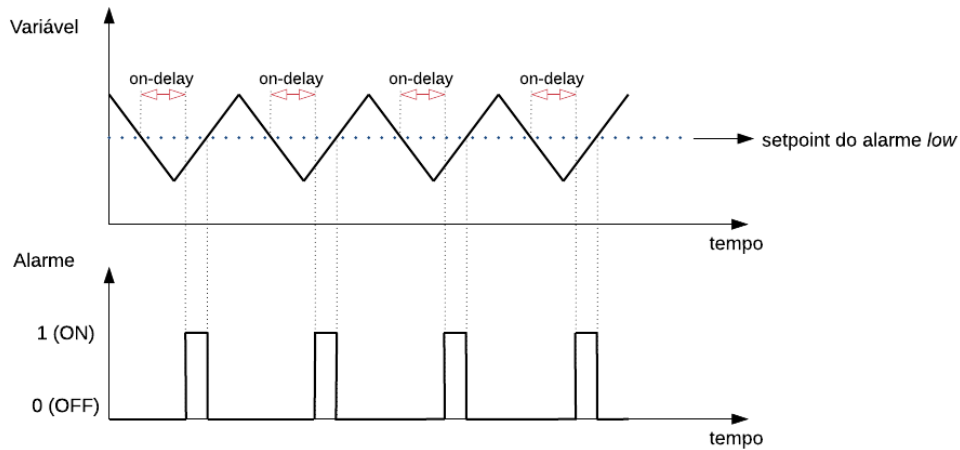


Figura 2.3: Representação do *on-delay*

O *off-delay* é definido o tempo em que o alarme deve permanecer inativo para este deixar de aparecer na tela de alarmes ativos, como visualizado na Figura 2.4. Na prática, os *off-delays* são preferidos, pois os alarmes continuam fixos na tela até que a operação volte ao seu estado normal.

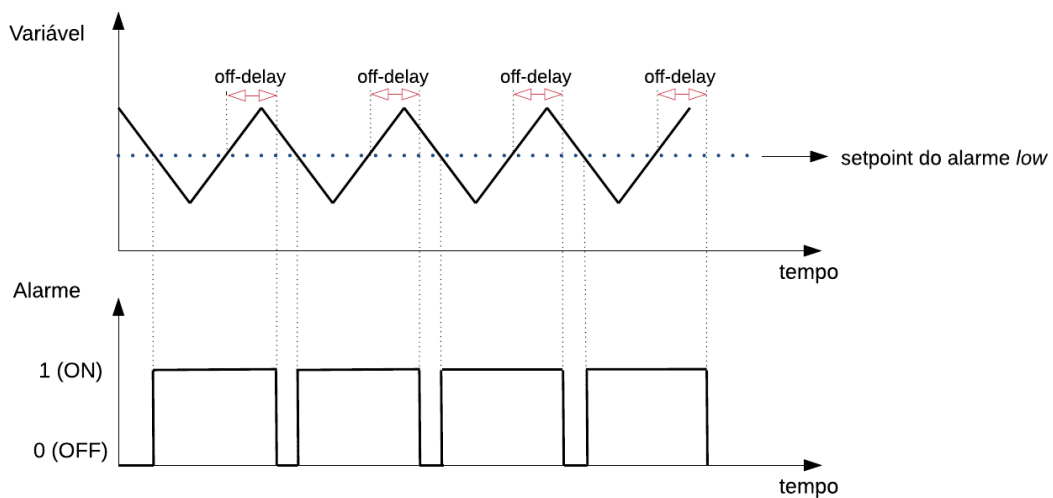


Figura 2.4: Representação do *off-delay*

O *deadband* é a faixa de valores na qual o estado do alarme permanece inalterado. Na Figura 2.5, pode-se observar o esquemático representando o *deadband*. Nela, é possível verificar que o estado só muda de *ON* para *OFF* e vice-versa quando a variável de processo ultrapassa os valores ($setpoint + deadband$) e ($setpoint - deadband$).

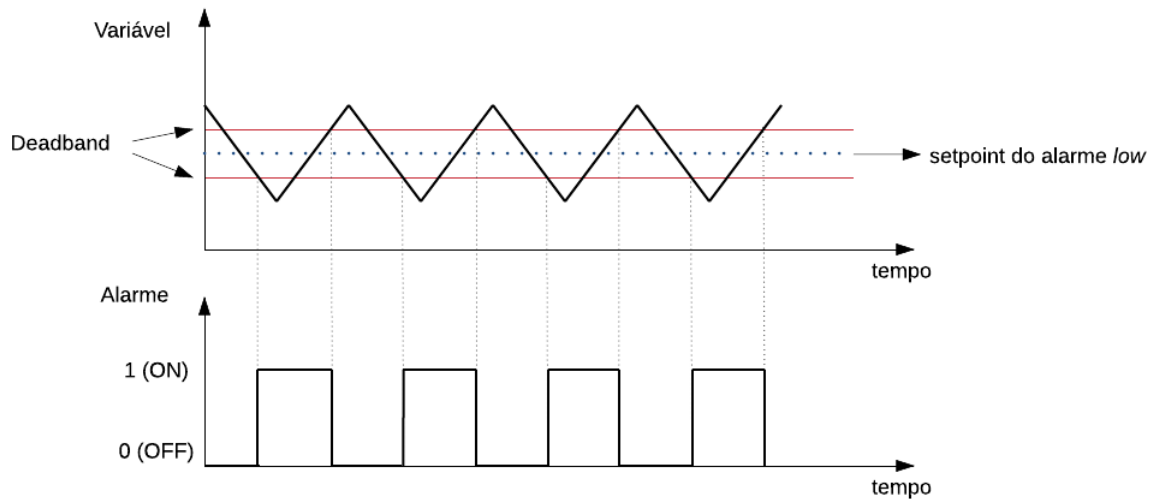


Figura 2.5: Representação do *deadband*

2.1.2.3.2 Interface Homem-Máquina

Em um sistema de automação, a IHM é o meio pelo qual todas as informações do estado da planta são transmitidas para o operador e pelo qual é possível interagir com a planta configurando parâmetros. Na Figura 2.6, é mostrado um exemplo de IHM (SUSTAINABLE PLANT, 2011). Dados apontam que a má estruturação da IHM é um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes atualmente (HOLLIFIELD, 2012). Por isso, é essencial a utilização de recursos nas telas gráficas a fim de garantir a representação das informações de maneira organizada e intuitiva para maximizar a eficiência do operador.

Neste tópico, serão destacados os recursos criados especificamente para auxiliar o gerenciamento de alarmes e serão apresentadas também as principais telas gráficas que um sistema de alarmes deve possuir.

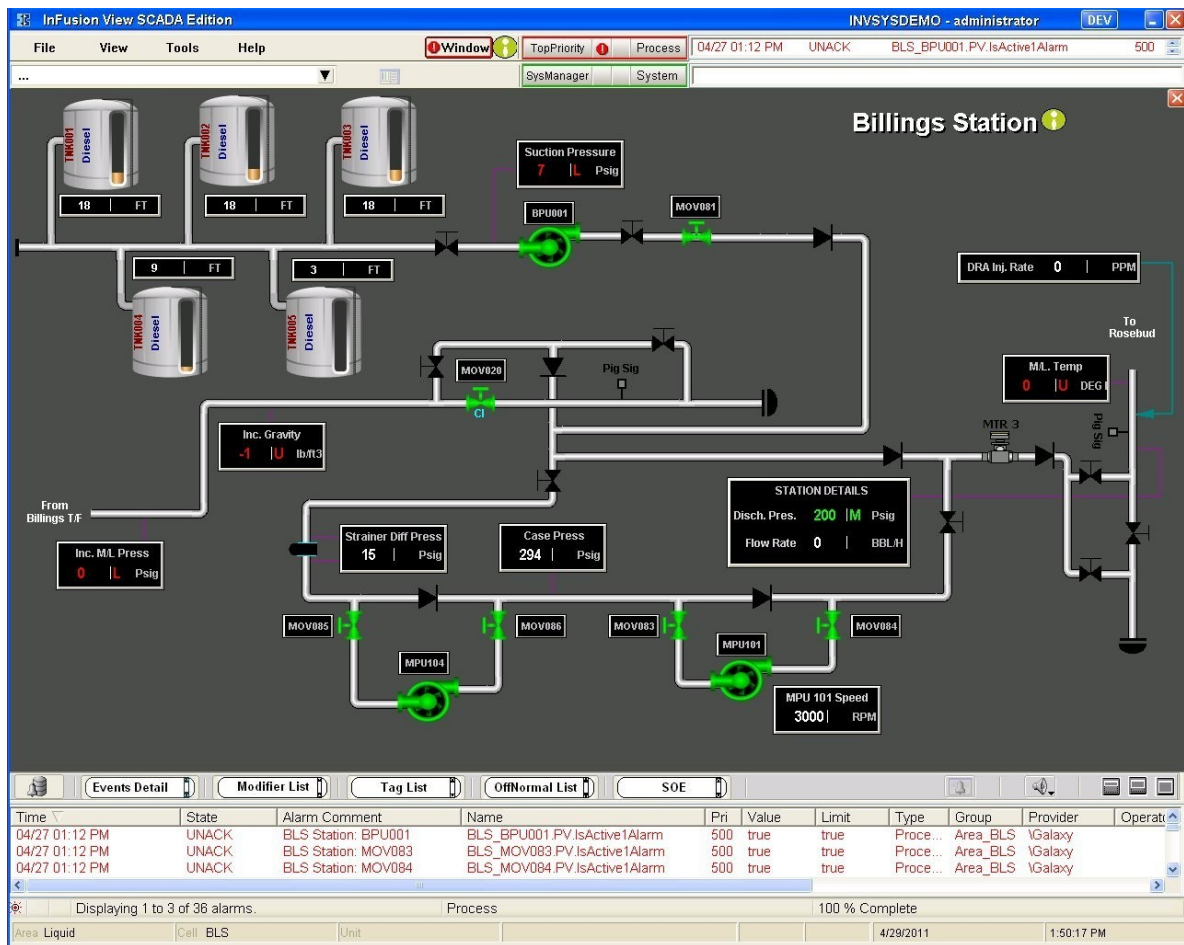


Figura 2.6: Exemplo de interface homem-máquina

2.1.2.3.2.1 Representação de Prioridades

A utilização de símbolos e cores para representar os níveis de prioridades é uma recurso valioso para auxiliar sua diferenciação. O uso exclusivo de cores para representar as prioridades não é recomendado, pois algumas pessoas podem possuir dificuldade de distinguir as cores umas das outras (HOLLIFIELD e HABIBI, 2010). Na Figura 2.7, encontra-se uma sugestão de simbologia a ser utilizado para quatro prioridades (emergência, alto, médio e baixo). Nota-se que além de cores e formas geométricas diferentes, ainda são utilizados números conforme a prioridade. Sua utilização é indicada nas telas de processo próximo aos instrumentos referentes aos alarmes e na tela dos alarmes ativos. Ressalta-se que as cores para representar as prioridades não devem ser utilizadas para linhas e cores da telas gráficas.

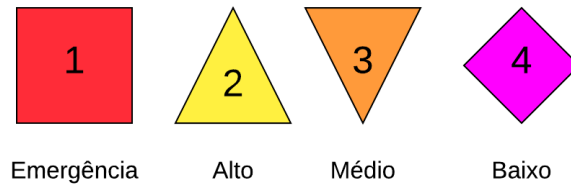


Figura 2.7: Simbologia sugerida para as prioridades

Além disso, é interessante utilizar recursos sonoros para facilitar a diferenciação de prioridades. Estes devem possuir altura e intensidade variadas para diferenciá-los. É importante que sejam realizados teste para verificar a adequação da intensidade dos recursos sonoros, considerando o som ambiente da fábrica. Também deve existir a possibilidade de silenciar os recursos sonoros, tendo em vista que durante os eventos de *flooding*, na qual há um grande quantidade de alarmes sendo disparada em um período tempo muito curto, o som seria praticamente intermitente.

2.1.2.3.2.2 Telas Gráficas e seus Recursos

As telas gráficas são as janelas em que são apresentadas as mensagens do sistema e o local na qual é possível interagir com este. Para desenhar a organização dos itens de uma tela, deve-se avaliar quais recursos são interessantes para o operador e quais itens devem estar contidos na tela.

- **Reconhecimento**

Um recurso comumente utilizado nos sistemas de alarme é o reconhecimento. Sua função é auxiliar o operador a gerenciar o sistema de alarmes (ANSI/ISA-18.2, 2016). Assim que um alarme é disparado, ele costuma aparecer na tela gráfica piscando ou em negrito. Quando o operador, reconhece o alarme, este passa a aparecer na tela com a fonte normal para não chamar mais atenção para ele. Desta forma, quando há uma extensa lista de alarmes ativos, o operador pode identificar com mais facilidade quais alarmes ainda faltam para responder e não deixará de atender um alarme por engano. É importante ressaltar que o reconhecimento de um alarme não significa que necessariamente uma ação corretiva foi executada.

- ***Shelving***

O *shelving* (arquivamento) é um outro recurso específico para o sistema de alarmes. Através do *shelving*, é possível retirar um alarme temporariamente da tela dos alarmes ativos do sistema (ANSI/ISA-18.2, 2016). Este recurso deve ser utilizado principalmente nos períodos de *flooding* (enxurrada de alarmes). Estes eventos são caracterizados pelo disparo de uma quantidade muito

grande de alarme. Sendo assim, o *shelving* torna-se interessante para remover os alarmes que são menos importantes da tela de alarmes ativos para priorizar os alarmes que irão ter consequências mais graves para a planta.

- **Manutenção**

Nos momentos em que ocorre a manutenção e troca de um equipamento, os alarmes associados a este instrumento não devem ser ativados, já que eles não estariam representando uma situação crítica real da planta. Considerando este aspecto, deve existir uma funcionalidade no sistema de alarmes que possibilite desabilitar os alarmes quando seus instrumentos encontram-se em manutenção (ANSI/ISA-18.2, 2016).

- **Níveis de Acesso**

É altamente recomendado que sejam criados níveis de acesso diferentes no sistema de alarmes para prevenir que as configurações relevantes do sistema não sejam alteradas sem prévia autorização. Com isso, é recomendado que existam no mínimo dois níveis de acesso existentes: o primeiro para uso específico dos operadores e o segundo para supervisores.

- **Telas Gráficas**

Existem telas gráficas que são essenciais para o bom funcionamento do sistema de alarmes. Entre elas, se destacam a tela de alarmes ativos do sistema que apresenta além dos alarmes disparados do sistema, informações adicionais, como a área do processo do instrumento que o alarme se refere, o tipo e a prioridade do alarme, uma breve descrição para auxiliar a contextualização do operador e se já foi feito ou não o arquivamento do alarme.

Adicionalmente, uma vez que os recursos de *shelving* e manutenção foram implementados, devem existir telas que mostrem os alarmes que estão nestas condições. Ou seja, devem existir telas individuais para destacar os alarmes que foram arquivados e que foram postos em manutenção.

2.1.2.4 Implementação e Operação

Nestas etapas, serão implementados todas as configurações e melhorias identificadas nas etapas anteriores para assim colocar o sistema de alarme em operação. Porém, antes de inicializar a operação, é importante que sejam feitos testes para validar seu funcionamento e os usuários do sistema sejam treinados.

2.1.2.4.1 Testes

Testes são essenciais para garantir a conformidade do produto final com o planejado. Especificamente para o sistema de alarmes, devem ser feitos testes tanto na IHM como na configuração da base dos sistema de alarmes, como mencionado abaixo:

Os testes para alarmes individuais devem incluir:

- Verificação da prioridade do alarme;
- Verificação dos limites e da lógica do alarme;
- Verificação das indicações visuais e sonoras do alarme;
- Verificação de quaisquer outras funções previstas para cada alarme.

Já os testes do sistema de alarmes devem incluir:

- Verificação das indicações visuais e sonoras por prioridade de alarme;
- Verificação das características da IHM, como as mensagens mostradas ao operador;
- Métodos para remoção de um alarme para fora de serviço;
- Métodos para arquivamento de alarmes;
- Métodos para reconhecimento de alarmes;
- Métodos para filtrar e organizar os alarmes nas telas.

2.1.2.4.2 Treinamentos

Devem ser realizados treinamentos específicos para o sistema de alarme. O operador deve estar ciente de todos os itens e recursos existentes no sistema de alarme e como deve ser feita a operação do sistema. Também é necessário contextualizar o operador sobre as situações para qual o alarme busca chamar atenção e dos fatores que causam os alarmes. É indicado realizar treinamentos periodicamente, no mínimo, semestralmente.

2.1.2.5 Gerenciamento de Mudanças

O objetivo do gerenciamento de mudanças é garantir que qualquer modificação do sistema seja autorizada e devidamente documentada a fim de manter sua rastreabilidade. A adição ou remoção de alarmes, a modificação de valores de *set-points* e prioridades e o acréscimo de um botão na IHM são exemplos de itens que devem ser devidamente documentados. Este procedimento pode ser feito por meio de documentação física ou virtual.

2.1.2.6 Monitoramento de Desempenho do Sistema

A fim de verificar a saúde dos sistemas de alarmes, foram criadas métricas denominadas *Key Performance Indicators* (KPIs). Para medir estes índices, devem ser utilizados históricos de alarmes que contenham uma quantidade suficiente de dados que englobe alguns problemas corriqueiros da planta. Normalmente, utilizam-se dados de trinta dias. Para o caso de produção por batelada, recomenda-se que os histórico contenham de dois a três ciclos (ANSI/ISA-18.2, 2016). Na Tabela 2.4, são encontradas as principais métricas apresentadas na ANSI/ISA-18.2 (2016) e na EEMUA 191 (2013) e os valores de referência de um sistema de alarmes considerado robusto.

Tabela 2.4: *Benchmarks* dos *Key Performance Indicators*

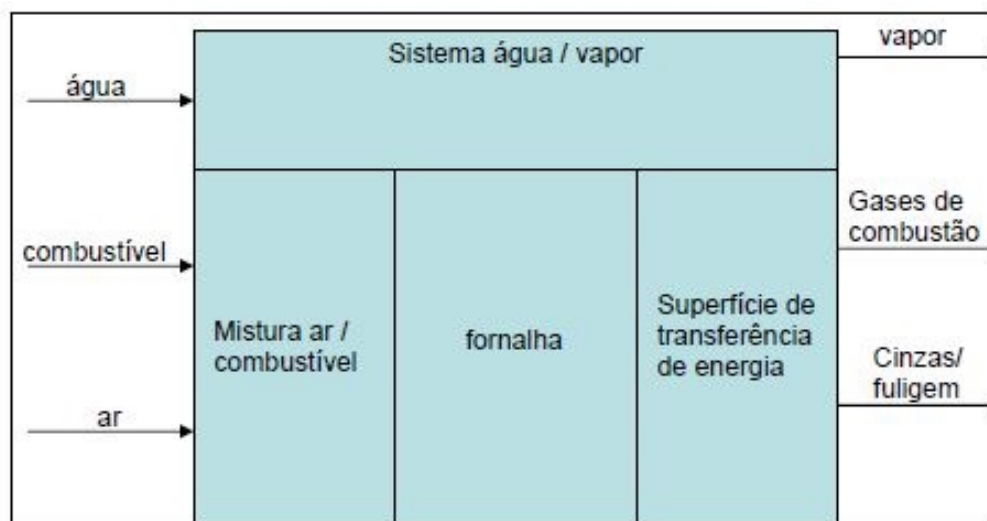
KPIs	Benchmark
Média de alarmes disparados em 10 minutos	1
Eventos de <i>flooding</i> (períodos de 10 minutos contendo mais de 10 alarmes)	0
Porcentagem de horas contendo mais de 30 alarmes	<1%
Porcentagem de contribuição dos 10 alarmes mais frequentes na carga total de geração de alarmes	<1% até 5%
Distribuição de prioridades (3 prioridades)	~80% baixa, ~15% média, ~5% alta
Distribuição de prioridades (4 prioridades)	~80% baixa, ~15% média, ~5% alta, ~1% crítica

2.2 Funcionamento de uma Caldeira

A caldeira é um equipamento largamente utilizado na indústria para produzir vapor em diferentes faixas de pressão e temperatura. O vapor de água possui diversas aplicações industriais: pode ser usado como fonte de energia para máquinas térmicas, fonte de calor em trocadores de calor e colunas de destilação e para realizar

a esterilização de instrumentos.

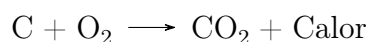
A fim de produzir vapor, a água presente na caldeira é aquecida até o seu ponto de ebulição. Para isto, utiliza-se o calor proveniente da queima de um combustível que pode ser gasoso, líquido ou sólido e de origem vegetal, animal e mineral (NIKIEL, 2010). Na Figura 2.8, é possível visualizar um esquemático simplificado do funcionamento da caldeira, na qual são explicitados os *inputs* e os *outputs* da reação que ocorre dentro da caldeira.



Fonte: Gilman e Gilman, 2010

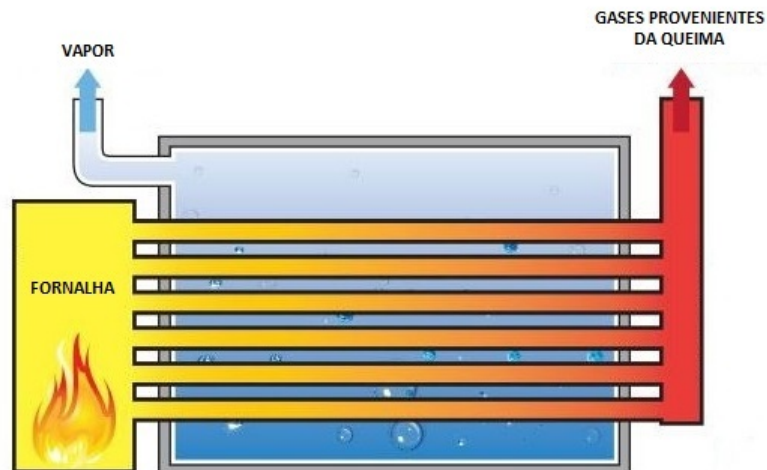
Figura 2.8: Esquemático do funcionamento de uma caldeira genérica

Nota-se que o combustível e o ar são utilizados para gerar a queima que fornece calor para aquecer a água. Abaixo, encontra-se a reação simplificada desta reação. Quanto maior for a quantidade de reagentes, mais calor será produzido, mais rápido a água chegará ao seu ponto de ebulição e, conseqüentemente, mais rapidamente o vapor será produzido (OLAND, 2002).



2.2.1 Tipos de Caldeira

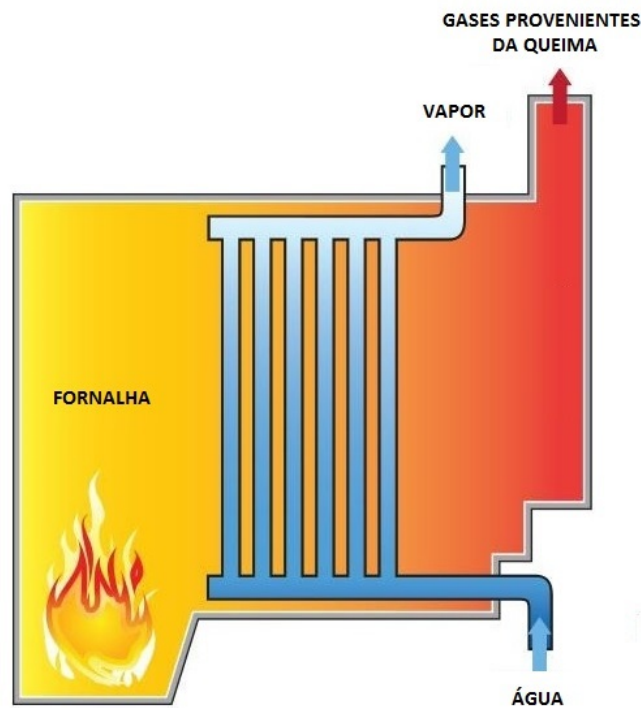
Os dois tipos de caldeira industriais mais comuns são a caldeira flamotubular e a caldeira aquatubular. Estes dois tipos de caldeira se diferenciam pela superfície de transferência de energia do calor proveniente da queima. Nas caldeiras flamotubulares, os produtos de combustão (CO_2 e Calor) circulam no interior de tubos imersos na água a ser vaporizada. A Figura 2.9 apresenta um desenho representativo deste tipo de caldeira.



Fonte: Industrial Boiler & Mechanical, 2016

Figura 2.9: Ilustração da arquitetura das caldeiras flamotubulares

Já nas caldeiras aquatubulares, a água circula pelos tubos e os produtos de combustão pelo exterior desses tubos, conforme observado na Figura 2.10. Estes tubos podem ser retos ou curvados de forma a garantir uma eficiente circulação da água em ebulição



Fonte: Industrial Boiler & Mechanical, 2016

Figura 2.10: Ilustração da arquitetura das caldeiras aquatubulares

A principal vantagem da caldeira flamotubular é seu baixo custo de aquisição. Como desvantagem, pode-se citar seu baixo rendimento térmico e a limitação na pressão de operação e na capacidade de produção. Ao contrário da primeira, a caldeira aquatubular já trabalha com pressões maiores e é capaz de produzir quantidades maiores de produto, porém possuem grandes dimensões e elevado custo.

Capítulo 3

Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes

A fim de facilitar a análise do grau de maturidade de um sistema de alarme e avaliar as ações que devem ser realizadas neste sistema a fim de adequá-lo às recomendações presentes nas normas de referência de gerenciamento de alarmes, foi criada uma metodologia de estudo. Esta metodologia descreve as atividades necessárias para avaliar a saúde de um sistema de alarmes e, com isso, cria exemplos práticos de como aplicar a teoria descrita nas normas ISA 18.2 e EEMUA 191, facilitando sua utilização em indústrias. Uma vez que este estudo for concluído, haverá embasamento para realizar etapas do Ciclo de Vida mencionadas no Capítulo 2 que se referem ao aprimoramento do sistema de alarmes, como a Identificação de Alarmes, Racionalização, Priorização e Design Detalhado dos Alarmes.

Na Figura 3.1, são apresentadas as cinco etapas deste estudo em conjunto com a etapa de implementação das modificações identificadas. Estes itens serão abordados com mais detalhes nos tópicos subsequentes. Conforme contemplado nesta figura, a metodologia contempla o retorno a etapas anteriores sempre que houver necessidade.

Adicionalmente, na Tabela 3.1, foi realizada uma estimativa da distribuição de tempo gasto em cada uma das atividades propostas da Metodologia de Estudo. Uma vez que a complexidade de um processo e a quantidade de alarmes configurados neste podem diferir bastante, o número total de horas gastas aplicando a Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes pode divergir consideravelmente de uma planta para a outra.

As atividades da metodologia que exigirão mais tempo serão o estudo do processo, que proporciona embasamento para todas as outras tarefas, e a análise da lista de alarmes configurados. Apesar de não fazer parte da metodologia, uma outra etapa que pode requerer bastante tempo é a implementação das modificações sugeridas, dependendo da quantidade e complexidade destas.

Etapas da Metodologia de Estudo do Sistema de Alarmes



Figura 3.1: Etapas presentes na metodologia de estudo de sistema de alarmes

Tabela 3.1: Estimativa da distribuição de tempo gasto para atividades realizadas para a aplicação da metodologia de estudo do sistema de alarmes

Atividade	Tempo Gasto nas Etapas (%)
Etapa 1 - Levantamento da Documentação da Planta	5
Etapa 2 - Estudo do Processo	25
Etapa 3 - Análise da Lista de Alarmes Configurados	20
Etapa 4 - Avaliação do Histórico de Alarmes	10
Etapa 5 - Realização de Questionários com Usuário	10
Implementação de Modificações Sugeridas	30

3.1 Etapa 1 - Levantamento da Documentação da Planta

Antes de começar a análise do sistema de alarmes na planta, é essencial levantar todos os documentos necessários para avaliar o sistema de alarmes. Estes documentos servirão de base para as próximas etapas desta metodologia de estudo. Abaixo, são citados estes documentos e também são abordados os motivos pelo qual eles foram escolhidos.

1. P&ID e PFD do processo

Estes documentos detalham os equipamentos, instrumentos e malhas de controle presentes na planta. Além disso, eles costumam explicitar os alarmes configurados na planta;

2. Manual descritivo do processo

Além de possuir a descrição geral do processo que auxilia o seu entendimento, este documento pode conter as condições normais de operação e documentação de partida e parada que são informações essenciais para a configuração dos alarmes, já que é importante garantir que estes só disparem em situações críticas. Caso seja necessário, deve-se procurar outras documentações auxiliares para estudar a parada e a partida da planta;

3. Estudos de segurança da planta

Os estudos de segurança auxiliam o entendimento das principais situações críticas que devem ser evitadas. Este documento é essencial para avaliar a priorização dos alarmes. Um exemplo de um estudo de segurança que pode ser utilizado é o HAZOP;

4. Histórico de alarmes

Este material ajuda a identificação de comportamentos tendenciosos e configurações inadequadas de parâmetros dos alarmes. Além disso, através dele é possível retirar indicadores que avaliam o grau de maturidade de sistema de alarmes;

5. Lista de alarmes configuradas no sistema contendo suas descrições, valores de *setpoints*, prioridades, tipos de alarme, valores de *deadband* e *delay*

É essencial obter a lista de alarmes configurados para avaliar os alarmes e todos os recursos empregados nestes;

6. Telas gráficas utilizadas na interface do sistema de alarmes

Deve-se obter as telas gráficas implementadas a fim de analisar se as informações apresentadas são suficientes para orientar o operador;

7. Manual do sistema supervisorio

Um manual de referência para o sistema supervisorio deve ser utilizado para consulta dos recursos disponibilizados para as telas dos sistemas de alarme.

3.2 Etapa 2 - Estudo do Processo

Em posse da documentação da planta, deve-se inicializar o estudo do processo. Esta etapa é essencial para entender como o sistema de alarmes foi configurado e, assim, embasar as etapas seguintes da metodologia. Para esta atividade, documentos como o Manual Descritivo do Processo, os P&IDs e os Estudos de Segurança são imprescindíveis. Ao final desta etapa, deve ser possível responder as perguntas abaixo:

1. Quais são os equipamentos e instrumentos presentes na planta?

Como o resultado do estudo do processo, deve-se ter conhecimento de todos os equipamentos e instrumentos presentes na planta, uma vez que grande parte dos alarmes serão associados a suas *tags*.

2. Quais são as áreas mais críticas do processo e por que elas podem ser classificadas desta maneira?

O conhecimento das áreas críticas do processo irá ajudar a entender em quais áreas do processo deveria haver mais alarmes e as situações que estes alarmes buscam evitar.

3. Existem instrumentos redundantes na planta?

Instrumentos redundantes costumam ser utilizados em plantas industriais quando a falha de um determinado instrumento pode acarretar problemas graves, criando assim a necessidade de inserir outro instrumento semelhante que venha o substituir em situações de falha. A numeração de instrumentos redundantes costuma ser semelhante ao instrumento principal, distinguindo-se apenas por uma letra no final de sua *tag*. Por exemplo, o instrumento principal possui a numeração "PI-1000A", enquanto seu redundante seria "PI-1000B". A informação de instrumentos redundantes ajuda a identificar partes do processo que necessitam de atenção e que devem possuir alarmes.

4. Quais são os equipamentos e instrumentos que estão inseridos na linha principal do processo?

A linha principal do processo é a linha presente no P&ID que advém da produção do produto principal da planta. Os equipamentos e instrumentos presentes nesta linha costumam possuir um impacto maior para a produção do produto da planta. Com isso, é interessante obter esta informação de forma que os alarmes possam ser melhor classificados na etapa de priorização.

5. Quais são as condições operacionais normais da planta?

É importante levantar os valores normais de operação das principais variáveis de processo presentes na planta. Estes valores servirão como base para analisar se os *setpoints* dos alarmes estão adequados e indicam uma situação crítica do processo.

6. Quais são os procedimentos de parada e partida?

Deve-se avaliar quais são os procedimentos de parada e partida a fim de obter informações sobre quais os alarmes que realmente representam uma situação anormal nestas duas etapas. Os alarmes que não são relevantes durante a partida e a parada devem ser inibidos nestas situações.

3.3 Etapa 3 - Análise da Lista de Alarmes Configurados

Após o estudo do processo, deve ser analisada a lista dos alarmes configurada no sistema. Para isto, para cada um dos alarmes deve-se fazer a análise dos seguintes aspectos:

- **Causas de disparo**

Deve-se fazer um levantamento todos os eventos que podem acarretar no disparado de cada alarme. Além disso, é importante que as condições de disparo configuradas no sistema supervisorio também sejam avaliadas. Este estudo é realizado para assegurar que os alarmes só sejam disparados quando uma condição anormal no processo está acontecendo e, assim, garantir a integridade do sistema de alarmes. É importante mencionar que esta análise é bastante difícil de ser realizada dependendo da complexidade do processo em estudo.

- **Consequências de não atuação**

Para se contextualizar sobre o alarme, deve-se realizar a análise dos eventos que ocorrem quando os alarmes não são respondidos para avaliar quais as situações críticas que o alarme busca prevenir.

- **Tipos de Alarmes**

É essencial que seja verificado se o tipo de alarme condiz com as condições que estão sendo monitoradas.

- **Distribuição de Prioridades**

É importante que seja calculada a distribuição das prioridades para avaliar sua coerência e compará-la com o recomendado pelas normas de referência de gerenciamento de alarmes.

- **Valores de *setpoints***

Os valores de *setpoints* devem ser escolhidos meticulosamente. Ao mesmo tempo que representam uma situação crítica, eles devem proporcionar aos operadores tempo o suficiente para resolver a situação. Dessa maneira, é essencial que os valores de *setpoint* sejam conferidos para verificar se eles atendem a estes critérios.

Ao longo desta etapa, pode ser identificado que é necessário retornar a etapa de estudo do processo para obter mais informações sobre os tópicos acima mencionados.

3.4 Etapa 4 - Avaliação do Histórico dos Alarmes

Na próxima etapa é realizada a avaliação de históricos de alarmes que busca encontrar comportamentos tendenciosos nos alarmes. Para realizar esta tarefa, deve-se obter de dois a quatro históricos referentes a produção de uma quantidade semelhante do mesmo produto. Esta análise pode evidenciar problemas na configuração dos alarmes, como as mencionadas abaixo:

1. **As condições de disparos configuradas estão equivocadas**

Muitas vezes os alarmes que mais possuem disparos na planta não são configurados adequadamente e estão sendo disparados em condições normais de operação. Com isso, é necessário modificar suas condições de disparo para que eles sejam ativados apenas em situações críticas.

2. **É necessária a utilização de recursos como o *delay* e o *deadband***

No histórico, é possível observar se há alarmes sendo ativados e desativados frequentemente. Para estes casos, é interessante analisar o uso de *delay* e *deadband*.

3. **É necessário mudar os parâmetros do controlador**

Disparos constantes de alarmes de variáveis de processo controladas por uma malha de controle podem indicar que os ganhos utilizados neste controlador não estão adequados.

4. **A planta está operando em condições não-seguras**

O disparo constante de alarmes também pode indicar que as condições de operação da planta não são as ideais. Dessa forma, deve ser realizado um estudo profundo do sistema para entender o que está acarretando esta situação.

Ao longo desta etapa, pode ser identificado que é necessário retornar a etapa de estudo do processo a fim de melhor avaliar alguns fatos observados através do histórico de alarmes.

3.5 **Etapa 5 - Realização de Questionários com Usuários**

Por último, é interessante realizar um questionário com todos os usuários do sistema de alarmes, desde dos operadores da sala de controle até os seus supervisores. Muitas vezes os programadores dos sistema de alarmes não são as mesmas pessoas que utilizam o sistema e não o conhecem com detalhes, o que pode fazer com que sejam criadas interfaces gráficas pouco intuitivas e de difícil utilização. Através da realização deste questionário de *feedback*, pode-se obter a opinião dos usuários em relação a usabilidade do sistema e também sobre outras informações, como se a quantidade de alarmes disparados não está acima do limite na qual o usuário pode operar.

Alguns exemplos de perguntas que podem agregar bastante ao serem incluídas neste questionário são:

1. **Quanto o sistema de alarmes lhe auxilia em situações normais de operação e em eventos de falha?**

É interessante entender qual o grau de confiança que os usuários tem no sistema de alarmes para analisar quais ações precisam ser tomadas.

2. **Qual o procedimento que você realiza quando um alarme é ativado?**

Deve-se avaliar se os usuários estão respondendo todos os alarmes adequadamente e se possuem vícios como o reconhecimento de todos os alarmes disparados sem a avaliação das condições de disparo.

3. **Qual sua opinião em relação a quantidade de alarmes disparados no sistema?**

É essencial avaliar se o operador consegue operar o sistema de alarmes adequadamente considerando a quantidade de alarmes disparados neste sistema.

4. **Quais recursos você utiliza para gerenciar o sistema de alarmes?**

Deve-se avaliar se todos os recursos presentes no sistema são utilizados pelos usuários. Muitas vezes, não existe um conhecimento total das funcionalidades da interface gráfico, o que indica a necessidade de treinamentos.

5. **Quais recursos gostaria que existisse para ajudar nos momentos de falha?**

É importante obter um *feedback* do usuário para saber se existe algum recurso que pode ser implementado para auxiliar a operação do sistema de alarmes.

6. **Você consegue diferenciar os níveis de prioridades utilizados?**

É essencial avaliar se os recursos visuais ou sonoros usados para diferenciar as prioridades podem ser facilmente identificados pelo operador e não tornam a operação do sistema de alarmes mais estressante.

3.6 Implementação de Modificações Sugeridas

Embora não faça parte da Metodologia de Estudo, é importante mencionar a etapa que ocorre após a conclusão do estudo, na qual há a implementação das modificações sugeridas. Conforme mencionado anteriormente, ao fim do estudo realizado, serão identificados alguns aspectos que podem ser aprimorados para deixar o sistema de alarmes mais robusto. Estas atividades costumam englobar a criação de novos alarmes, a exclusão de alarmes redundantes, a modificação das lógicas de disparo de alarmes, a modificação de parâmetros de configuração dos alarmes, como as prioridades e *setpoints* e a remodelagem da interface gráfica do sistema de alarme.

Estas atividades no Ciclo de Vida do Alarme, mencionado no Capítulo 2, são realizadas durante as etapas de Identificação de Alarmes, Racionalização, Priorização e *Design* Detalhados dos Alarmes.

Após a configuração das modificações sugeridas, deve-se analisar novamente o histórico de alarmes para verificar se os problemas antes identificados não persistem e que não surgiram novos comportamentos que indicam um problema no sistema. Além disso, é essencial que sejam realizados novos questionários com os usuários do sistema a fim de avaliar se o resultado das modificações surtiram o efeito esperado. Por fim, qualquer mudança realizada no sistema deve ser devidamente documentada para manter sua rastreabilidade.

Capítulo 4

Estudo de Caso

Com o objetivo de analisar o desempenho da metodologia de gerenciamento de alarme apresentada, foi realizado um estudo de caso na planta industrial localizada na Central de Utilidades no LADEQ na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que possui uma caldeira semi-industrial de pequeno porte. Esta planta é principalmente utilizada para realizar aulas práticas com alunos da Escola de Química da UFRJ e para a realização de testes pelos alunos de pós-graduação do LADEQ.

A Figura 4.1 apresenta uma foto da estrutura do Centro de Utilidades do LADEQ, na qual foi instalada a planta da caldeira. Ao fundo desta foto encontra-se a caldeira e a tubulação que segue ou para dentro do laboratório para uso do produto em outras plantas ou para descarte de produto na atmosfera. No centro da foto, são observados três tanques de estocagem de combustível que são utilizados para aquecer a água na caldeira.



Fonte: Valdeman, 2013

Figura 4.1: Centro de utilidades do LADEQ

4.1 Descrição da Planta

A planta industrial presente no LADEQ possui uma caldeira flamotubular de porte semi-industrial e pode utilizar como combustível para queima tanto o biodiesel como diesel. Para armazenar estes combustíveis, existem três tanques de estocagem para biodiesel e um tanque de estocagem para o diesel e um tanque principal de estocagem de combustível. Nesta planta, também existe um tanque de estocagem e alimentação de água. Em relação a instrumentação, esta planta possui medidores de nível, medidores de pressão, medidores de temperatura, medidores de vazão, pressostato, analisadores de composição e controladores. Para maiores informações sobre os equipamentos e instrumentos, no Anexo A, encontra-se o diagrama de P&ID que detalha o posicionamento dos equipamentos e instrumentos na planta.

A planta da caldeira do LADEQ conta com o sistema supervisor iFIX para realizar o monitoramento das condições de seu processo. Este software contém telas gráficas com desenhos semelhantes aos P&IDs na qual é possível observar os valores das variáveis de processo em tempo real e manipular parâmetros da planta. Adicionalmente, este sistema possui outras funcionalidades como historiadores de dados de processo e um sistema de alarmes para auxiliar a gerenciar situações críticas na planta.

A Figura 4.2 mostra a tela principal do sistema supervisor desta planta. Pode ser observado que esta contém uma figura representativa do processo baseada no diagrama P&ID juntamente com *displays* mostrando os valores atuais das variáveis mais relevantes do processo. Nela, também são utilizados sinóticos para indicar se bombas e motores estão ligados ou desligados e se a chama da caldeira está acesa ou apagada. No lado esquerdo desta tela, observa-se o menu, na qual, entre outras funcionalidades, é possível abrir duas telas configuradas especificamente para os alarmes. Na parte inferior da tela, existe um *banner* na qual são mostrados os últimos alarmes disparados. Neste *banner* há informações sobre o reconhecimento destes alarmes, o momento de disparo dos alarmes, a *tag* do instrumento associado ao alarmes, o *status* que identifica o tipo do alarme, o valor da variável de processo quando ocorreu o disparo do alarme e a descrição do alarme.

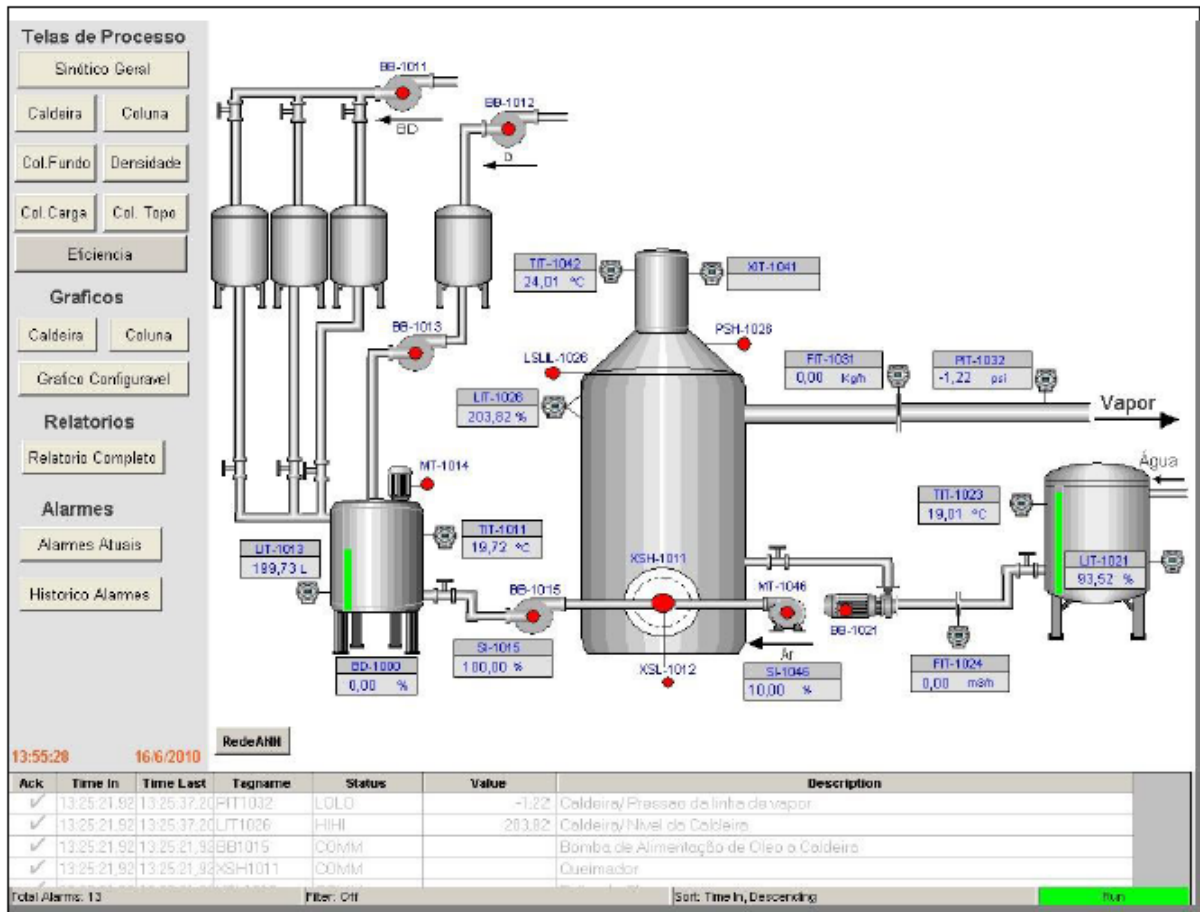


Figura 4.2: Tela principal da caldeira no sistema supervisório

Na Figura 4.3 é mostrada a tela que é aberta ao clicar em "Alarmes Atuais". Ela contém quase todos os campos do *banner*, exceto o que indica o reconhecimento, que é indicado pela cor de fonte vermelha nesta tela. O campo *status* indica o tipo do alarme disparado no sistema. No caso, LOLO, é o alarme do tipo absoluto *low-low*, HIHI é o alarme do tipo absoluto *high-high*, COMM é o alarme que representa falha de comunicação e CFN representa o alarme de discrepância de uma variável digital.

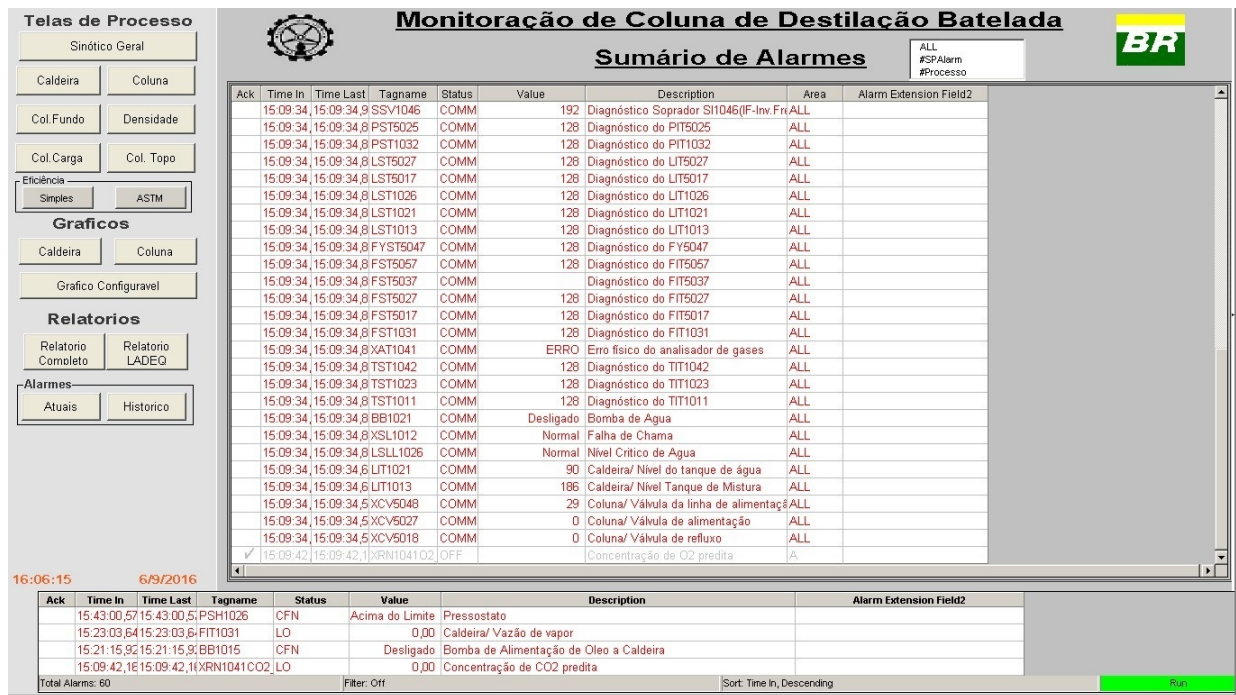


Figura 4.3: Sumário de alarmes do sistema supervisório

Neste sistema supervisório, existem alarmes do próprio sistema criados automaticamente como, por exemplo, os que auxiliam a identificar situações de falha de *software* e falha de comunicação com os instrumentos. Na figura acima, podemos visualizar alguns destes alarmes de comunicação, sendo disparados no momento em que a planta e o sistema supervisório são ligados. Além disso, o iFIX permite a criação de diversos outros tipos de alarmes de acordo com a escolha do usuário, como por exemplo alarmes absolutos, alarmes de discrepância e alarmes calculados. O estudo do sistema de alarmes na caldeira se concentrará somente nos tipos de alarmes que o usuário não possui restrições para modificar.

Nos tópicos seguintes, serão relatadas as experiências vivenciadas ao aplicar a Metodologia do Estudo de Sistema de Alarmes, mencionado no Capítulo 3, na planta da caldeira localizada LADEQ. Por último, serão apresentados os resultados obtidos da aplicação desta metodologia. Em outras palavras, serão citadas as sugestões de melhoria identificadas durante a aplicação da Metodologia de Estudo para fazer com que o sistema de alarmes da planta da caldeira siga as recomendações das normas de referência de gerenciamento de alarme.

4.2 Aplicação da Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes

Neste item, serão apresentadas as experiências obtidas na execução de cada uma das etapas da Metodologia de Estudo de Sistemas de Alarmes na planta da caldeira do LADEQ.

4.2.1 Etapa 1 - Levantamento da Documentação da Planta

Após o levantamento da documentação e as reuniões iniciais com os principais usuários da planta, notou-se que ela opera de maneira bastante diferente das plantas industriais, já que é utilizada para o aprendizado de alunos e para a realização de testes. Isto faz com que esta planta seja ligada por períodos curtos de tempo (por volta de 4 horas) de acordo com a necessidade de uso.

Outro fato relevante observado é a não existência de uma documentação específica abordando o processo e os aspectos de segurança na planta. Dessa maneira, para auxiliar o entendimento deste processo, foram utilizados dissertações de trabalhos realizados anteriormente nesta planta como referência (VALDMAN, 2013). Além disso, a fim de entender quais são os principais riscos de operação desta caldeira, foi necessário fazer uma pequena entrevista com os usuários que mais utilizam a planta. Através desta entrevista, concluiu-se que o evento mais grave que pode ocorrer na caldeira é a sua explosão e que, para prevenir que esta situação ocorra, foram implementadas intertravamentos em um controlador dedicado localizado na planta. Dessa maneira, decidiu-se incluir na lista de documentos o levantamento dos intertravamentos.

Como fruto da primeira etapa da metodologia de estudo, foram obtidos os documentos abaixo. Da lista original de documentos da Metodologia de Estudo do Sistema de Alarmes, não foram obtidos o PFD do processo, o Manual descritivo do processo e os estudos de segurança que foram substituídos por entrevistas com os usuários da planta e por documentos semelhantes, conforme mencionado anteriormente.

1. P&ID do processo;
2. Trabalhos anteriormente realizados na planta;
3. Lista de intertravamentos na planta;
4. Históricos de aulas práticas realizadas na planta da caldeira;
5. Lista de alarmes configurados no sistema para a planta da caldeira que incluem os *setpoints*, as descrições, as prioridades dos alarmes e *deadbands*;

6. Telas gráficas do sistema supervisorio iFix referentes ao sistema de alarmes;
7. Lista de funcionalidades disponíveis para o sistema de alarmes no sistema supervisorio.

4.2.2 Etapa 2 - Estudo do Processo

O estudo do processo foi realizado baseando-se principalmente na análise da instrumentação e dos equipamentos por meio do P&ID da planta, dos trabalhos realizados anteriormente e também consulta aos professores que a utilizam. Através desta análise, foram obtidos mais detalhes do funcionamento da instrumentação da planta.

Conforme mencionado anteriormente, o objetivo desta planta é produzir vapor saturado para a utilização em outros equipamentos do laboratório. Ela contém a caldeira, tanques de armazenamento de combustível e de água e diversos instrumentos para auxiliar sua operação, como bombas, medidores de vazão, de temperatura, de pressão e de nível, pressostatos e analisadores de composição. Também foi observado que existem duas válvulas de alívio redundantes na tubulação de vapor saturado produzido na caldeira a fim de garantir a segurança da mesma.

Na planta do LADEQ, existem duas malhas de controle configuradas. A primeira regula a vazão de vapor produzido descartada no meio ambiente e a quantidade que segue para o laboratório para uso. Já a outra malha de controle monitora se o oxigênio e o combustível utilizado para a queima estão em uma proporção adequada a fim de garantir uma queima eficaz e segura na planta (VALDMAN, 2013). Caso houvesse mais combustível do que oxigênio no local de reação, o combustível que não reagiu na queima poderia entrar no local onde ocorre o centelhamento da planta, ocasionando uma explosão. A fim de atuar na proporção de comburente e combustível, esta malha de controle utiliza a informação de um analisador de composição de gases localizado na saída dos gases provenientes da queima para verificar a quantidade de O_2 que não foi utilizada na reação de queima e, assim, inferir a quantidade de comburente presente na reação. Utilizando esta informação, um ventilador na entrada de ar na reação é controlado com o objetivo de regular a quantidade de ar na reação.

O analisador de composição instalado nesta planta para analisar os gases provenientes da queima apresenta intervalos de amostragem bastante grandes e um custo de utilização alto. Estes fatores juntamente com a dificuldade do analisador fornecer dados contínuos em tempo real motivaram a criação de um algoritmo para estimar a composição dos gases provenientes da queima utilizando informações da planta. Ao longo deste texto, este algoritmo será referenciado como analisador virtual. Atualmente na planta, o sensor virtual não está calibrado para uso.

Também foi verificado que um controlador de intertravamento dedicado é utilizado para assegurar a segurança da planta. Este equipamento pode interromper o funcionamento na caldeira em três situações: quando a pressão de dentro da caldeira excedeu o limite de segurança, quando houve o apagamento da chama durante o período de queima, ou quando ocorre falta de água na caldeira. Estas situações são consideradas críticas para a caldeira, pois todas elas podem ocasionar sua explosão.

Ao final desta etapa, foi possível responder as perguntas sugeridas no Capítulo 3 que descreve a Metodologia:

1. Quais são os equipamentos e instrumentos presentes na planta?

Na planta da caldeira, existem bombas, inversores de frequência, medidores de nível, medidores de temperatura, medidor de vazão, medidor de pressão, controladores, pressostatos e analisadores de composição.

2. Quais são as áreas mais críticas e por que elas podem ser classificadas desta maneira?

A área mais crítica do processo é a malha de controle que controla a quantidade de comburente na reação da queima utilizando a quantidade de O_2 nos gases provenientes da queima, tendo em vista que seu bom funcionamento tem relação direta com a prevenção da explosão da caldeira. Com isso, alarmes relacionados a esta malha devem ter prioridades mais altas.

3. Existem instrumentos redundantes na planta?

Existem duas válvulas de alívio redundantes na tubulação que sai da caldeira com o vapor produzido.

4. Quais são os equipamentos e instrumentos inseridos na linha principal do processo?

A linha principal do processo começa na caldeira e termina nas válvulas que regulam o descarte do vapor. Ela contém medidores de pressão, nível, temperatura e vazão e analisadores de composição. Além disso, há a utilização de chaves de nível e de um pressostato na caldeira.

5. Quais são as condições operacionais normais da planta?

Para as aulas práticas realizadas por aluno de graduação, que serão usadas como base na análise do histórico de alarmes, a condição esperada é uma vazão de vapor de 230 a 260 Kg/h e uma pressão da caldeira ou de vapor na linha (PIT-1032) de 65 psi.

6. Quais são os procedimentos de parada e partida?

Como serão avaliados os históricos de alarmes de aulas de alunos de graduação realizados na caldeira, procurou-se analisar os procedimentos documentados para estas aulas. No caso, apenas existia a documentação do procedimento de partida da planta que é realizado a seguinte maneira:

- (a) Completar com água o tanque de armazenamento de água e fechar a válvula de entrada de água;
- (b) Verificar o posicionamento das válvulas na tubulação que contém água, na tubulação que contém óleo e na tubulação de vapor;
- (c) Verificar painel de comando local;
- (d) Aguardar a pressão da caldeira ou pressão de vapor na linha (PIT-1032) atingir 65 psi;
- (e) Regular gradativamente a válvula manual de vapor para descartem mantendo a vazão de vapor constante em aproximadamente 250 Kg/h;
- (f) Aguardar a vazão de vapor estabilizar em 230-260 Kg/h.

4.2.3 Etapa 3 - Análise da Lista de Alarmes Configurados

Para a análise da lista de alarmes, foi necessário primeiramente realizar a extração da base do sistema supervisório. Esta extração trouxe como informação todos os instrumentos presentes no supervisório (tanto para a planta da caldeira, quanto para outros equipamentos presentes do LADEQ), independente se estes possuíam alarmes ativos ou não. Dessa maneira, teve-se que realizar uma filtragem nestes resultados para, por fim, obter somente os instrumentos da caldeira que possuem alarmes ativos no sistema.

No total, foram criados 52 instrumentos com alarmes ativos para o processo da caldeira, sendo que 43 deles são referentes a entradas analógicas ou *analog inputs* (AI) e 9 para entradas discretas ou *digital inputs* (DI). Os alarmes destes dois tipos de variáveis serão tratados separadamente, já que apresentam diferentes parâmetros de configuração neste sistema supervisório. É importante notar que todos estes alarmes destes instrumentos foram configurados com prioridade *Low* (Baixa) no sistema.

4.2.3.1 Alarmes de Entradas Analógicas

No sistema supervisório utilizado, quando habilita-se a geração de alarmes em uma variável analógica, os alarmes LL, LO, HI e HH desta variável são automaticamente criados. Com isso, é necessário definir os valores de *setpoints* para o LL, LO, HI e HH que, ao serem atingidos, irão acionar seus respectivos alarmes.

Uma maneira de inibir alguns destes alarmes indiretamente é utilizar o mesmo valor de *setpoint* para os alarmes LL e LO ou para os alarmes HI e HH. Desta maneira, quando este valor for atingido só será disparado um destes alarmes.

Adicionalmente, pode ser configurado o recurso de *deadband* para evitar que ruídos gerem alarmes desnecessários. Nesta planta, escolheu-se o valor fixo de 5% do valor do *setpoint* do alarme HH para *deadband*.

A análise da lista de alarmes das entradas analógicas mostrou que juntamente com os alarmes do tipo absoluto, que buscam detectar valores anormais de variáveis de processo, também foram configurados uma quantidade significativa de alarmes de diagnósticos de equipamentos, que através de informações advindas da rede de comunicação digital *fieldbus* informam se o sinal em questão é confiável ou há incerteza no sinal (VALDMAN, 2013). Com isso, escolheu-se apresentar estes dois tipos de alarmes com seus respectivos *setpoints* separadamente nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1: Variáveis analógicas que possuem alarmes do tipo absoluto

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>LL</i>	<i>LO</i>	<i>HI</i>	<i>HH</i>
FIC1031_MV	Saída para Válvula de Vapor (%)	0	0	100	100
FIC1031	Caldeira/Vazão de vapor (Kg/h)	0	100	500	500
LIT1013	Nível Tanque Principal de Combustível (L)	0	50	353	353
LIT1021	Nível do Tanque de Armazenamento de Água (%)	0	50	100	100
LIT1026	Nível da Caldeira (%)	0	0	100	100
PIT1032	Caldeira/Pressão da linha de vapor (psi)	20	38	70	70
TIT1042	Caldeira/Temperatura dos gases de saída (Â°C)	0	110	228	850

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.1

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>LL</i>	<i>LO</i>	<i>HI</i>	<i>HH</i>
XIC1031_TR	Tempo Integral da Malha de Vapor	0	0	10	10
XIC1046	Malha de Controle de Combustão	0	0	100	100
XIC1046_AM _ESCRITA	Escreve o modo do bloco referente à malha de controle da quantidade de oxigênio na reação	0	0	100	100
XIC1046_AM _LEITURA	Lê o Modo Atual do Bloco referente à malha de controle da quantidade de oxigênio na reação	0	0	100	100
XIC1046_MV	Saída para o Inversor de Frequência (%)	0	0	100	100
XIC1046_PV	Variável Controlada da Malha de Ar (%CO2)	0	0	100	100
XIC1046_SEL_PN	Seleciona O2V (1)/O2C(2)/CO2V(3)/CO2R(4)	3	3	3	4
XIC1046_SP	Referência do soprador	0	0	10	10
XIT1041C1	Crédito Calor Sensível Ar de Combustão (Kcal/kg)	-100	-100	100	100
XIT1041C3	Crédito Calor Sensível do Combustível (Kcal/kg)	-10	-10	50	50
XIT1041C4	Crédito Calor Sensível Umidade Ar Comb. (Kcal/kg)	-5	-5	5	5
XIT1041EPCI	Eficiência com base no PCI (%)	0	0	110	110
XIT1041P1	Perda de Calor Sensível pelos Gases (Kcal/kg)	0	0	5	5

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.1

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>LL</i>	<i>LO</i>	<i>HI</i>	<i>HH</i>
XIT1041P2	Perda de Calor Sensível pelos Gases /H2O (Kcal/kg)	0	0	500	500
XRN1041CO_E	Concentração de CO predita no analisador virtual (%)	0	0	423	500
XRN1041CO2_E	Concentração de CO2 predita no analisador virtual (ppm)	0	10.28	13.48	100
XRN1041NO_E	Concentração de NO predita no analisador virtual (ppm)	0	54	75	100
XRN1041NO2_E	Concentração de NO2 predita no analisador virtual (ppm)	0	0	10	10
XRN1041O2_E	Concentração de O2 predita no analisador virtual (%)	0	200	535	1500
XRN1041SO2_E	Concentração de SO2 predita no analisador virtual (ppm)	0	0	33	50

Tabela 4.2: Variáveis analógicas que possuem alarmes de diagnósticos

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>LL</i>	<i>LO</i>	<i>HI</i>	<i>HH</i>
FST1024	Medidor de vazão da saída do tanque de armazenamento de água	0	0	228	228
FST1031	Medidor de vazão da saída de vapor saturado	0	0	228	228
LST1013	Medidor de nível do tanque principal de combustível	0	0	228	228
LST1021	Medidor de nível do tanque de água	0	0	228	228

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.2

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>LL</i>	<i>LO</i>	<i>HI</i>	<i>HH</i>
LST1026	Medidor de nível da caldeira	0	0	228	228
PST1032	Medidor de pressão da saída do vapor saturado	0	0	228	228
SSV1046	Inversor de frequência da entrada de ar na reação de combustão	0	0	64	64
TST1011	Medidor de temperatura do tanque principal de combustível	0	0	228	228
TST1023	Medidor de temperatura do tanque de água	0	0	228	228
TST1042	Medidor de temperatura da saída do vapor saturado	0	0	228	228
XSRN1041CO	Medidor de concentração de <i>CO</i> do analisador físico	64	128	228	228
XSRN1041CO2	Medidor de Concentração de <i>CO₂</i> do analisador físico	64	128	228	228
XSRN1041NO	Medidor de Concentração de <i>NO</i> do analisador físico	64	128	228	228
XSRN1041NO2	Medidor de Concentração de <i>NO₂</i> do analisador físico	64	128	228	228
XSRN1041O2	Medidor de Concentração do <i>O₂</i> do analisador físico	64	128	228	228
XSRN1041SO2	Medidor de Concentração de <i>SO₂</i> do analisador físico	64	128	228	228

4.2.3.2 Alarmes de Entradas Discretas

Para configurar os alarmes de discrepância referentes a variáveis discretas é necessário relatar o estados de operação do sinal e em qual estado da variável de

ser acionado o alarme. Na Tabela 4.3, são listados todos os alarmes de variáveis discretas e os estados das variáveis na qual estes alarmes disparam.

Tabela 4.3: Variáveis discretas que possuem alarmes

<i>Tag</i>	<i>Descrição</i>	<i>Estado para Disparo de Alarmes</i>
BB1015	Bomba de Alimentação de Óleo a Caldeira	Desligada
BB1021	Bomba de Água	Ligada
LSLL1026	Nível Crítico de Água	Abaixo do Limite
MT1046	Soprador	Desligado
PSH1026	Pressostato	Acima do Limite
XAT1041	Erro físico do analisador de gases	Erro
XSH1011	Queimador	Desligado
XSL1012	Falha de Chama	Falha
XST1041O2	Estado do sinal de O2	Erro

4.2.3.3 Conclusões sobre os Alarmes Configurados

Durante a avaliação detalhada da lista de alarmes, foram analisados os aspectos da Lista de Alarmes que devem ser verificados durante esta etapa, mencionado no Capítulo 3. As conclusões obtidas serão mencionadas abaixo:

- **Causas de disparo dos alarmes**

A análise das causas de disparo mostrou que os alarmes relacionados aos instrumentos XSH1011 e XSL1012 e às bombas BB1015 e BB1021 são disparados mesmo após o acionamento de intertravamentos. Como os alarmes devem sempre prevenir situações críticas e devem indicar ao operador que uma ação deve ser tomada, recomenda-se revisar as condições que causam o disparo destes

alarmes para que eles só disparem quando há ocorrência de situações anormais.

- **Consequências de não atuação dos alarmes**

Foram identificados 4 principais consequências de não atuação dos alarmes nesta planta, que são os eventos que ocorrem caso um alarme seja disparado e nenhuma ação seja tomada. São elas:

- Desligamento da caldeira;
- Falha ou parada de equipamento em linha crítica;
- Falha ou parada de equipamento em linha não-crítica;
- Queima não-eficiente.

Para associar estes eventos aos alarmes configurados na planta, foi verificada qual a consequência mais grave que cada um destes alarmes pode causar para a planta. Nas Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6, encontram-se o levantamento das consequências de não atuação dos alarmes de variáveis analógicas do tipo absolutos e diagnóstico dos alarmes e de variáveis discretas.

Para classificar estes alarmes foram utilizados os seguintes critérios:

- Caso não haja óleo combustível no tanque de armazenamento e água no tanque de armazenamento e na caldeira, o intertravamento de segurança causará o desligamento da caldeira e a parada de produção do vapor. Dessa maneira, os alarmes que indicam nível no tanque de água (LIT1013), nível no tanque principal de armazenamento de óleo (LIT1021), nível de água na caldeira (LIT1026), nível baixo de água na caldeira (LSLL1026) e falha nas bombas de água (BB1021) e de alimentação de óleo na caldeira (BB1015) tem como consequência de não atuação o desligamento da caldeira;
- O apagamento da chama e a pressão muito alta na caldeira também causam a parada da caldeira, uma vez que são condições de disparo do intertravamento. Com isso, os alarmes das variáveis discretas MT1046 e PSH1016 têm como consequência de não atuação o desligamento da caldeira;
- Para as *tags* que avaliam a eficiência da reação da queima (XIT1041C1, XIT1041C3, XIT1041C4, XIT1041EPCI, XIT1041P1 e XIT1041P2) foi associado como consequência de não atuação queima não eficiente;
- Para os alarmes que sobraram foi avaliado se os instrumentos estão presentes nas áreas críticas de processo e se fazem

parte da malha de controle principal que controla a quantidade de ar na reação utilizando como base a concentração de O_2 nos gases provenientes da queima. Dessa maneira, as *tags* XRN1041CO_E, XRN1041CO2_E, XRN1041NO_E, XRN1041NO2_E, XRN1041SO2_E, TST1011, TST1023, XSRN1041CO, XSRN1041CO2, XSRN1041NO, XSRN1041NO2 e XSRN1041SO2 tem como consequência de não atuação falha ou parada em linha não-crítica. Já as *tags* PIT1021, TIT1042, XIX1031_TR, XIC1046, XIC1046_AM_ESCRITA, XIC1046_AM_LEITURA, XIC1046_MV, XIC1046_PV, XIC1046_SEL_PN, XIC1046_SP, XRN1041O2_E, FST1024, FST1031, LST1013, LST1021, LST1026, TST1042, PST1032, SSV1046, XSRN1041O2, XAT1041, XSH1011 e XST1041O2 tem como consequência de não atuação falha ou parada em linha crítica.

Tabela 4.4: Consequência de não atuação para alarmes de variáveis analógicas do tipo absoluto

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
FIC1031_MV	falha ou parada em linha crítica
FIT1031	falha ou parada em linha crítica
LIT1013	desligamento da caldeira
LIT1021	desligamento da caldeira
LIT1026	desligamento da caldeira
PIT1032	falha ou parada em linha crítica
TIT1042	falha ou parada em linha crítica
XIC1031_TR	falha ou parada em linha crítica
XIC1046	falha ou parada em linha crítica

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.4

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
XIC1046_AM_ESCRITA	falha ou parada em linha crítica
XIC1046_AM_LEITURA	falha ou parada em linha crítica
XIC1046_MV	falha ou parada em linha crítica
XIC1046_PV	falha ou parada em linha crítica
XIC1046_SEL_PN	falha ou parada em linha crítica
XIC1046_SP	falha ou parada em linha crítica
XIT1041C1	queima não eficiente
XIT1041C3	queima não eficiente
XIT1041C4	queima não eficiente
XIT1041EPCI	queima não eficiente
XIT1041P1	queima não eficiente
XIT1041P2	queima não eficiente
XRN1041CO_E	falha ou parada em linha não-crítica
XRN1041CO2_E	falha ou parada em linha não-crítica
XRN1041NO_E	falha ou parada em linha não-crítica
XRN1041NO2_E	falha ou parada em linha não-crítica

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.4

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
XRN1041O2_E	falha ou parada em linha crítica
XRN1041SO2_E	falha ou parada em linha não-crítica

Tabela 4.5: Consequência de não atuação para alarmes de variáveis analógicas de diagnósticos de instrumentos

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
FST1024	falha ou parada em linha crítica
FST1031	falha ou parada em linha crítica
LST1013	falha ou parada em linha crítica
LST1021	falha ou parada em linha crítica
LST1026	falha ou parada em linha crítica
PST1032	falha ou parada em linha crítica
SSV1046	falha ou parada em linha crítica
TST1011	falha ou parada em linha não-crítica
TST1023	falha ou parada em linha não-crítica
TST1042	falha ou parada em linha crítica
XSRN1041CO	falha ou parada em linha não-crítica

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.5

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
XSRN1041CO2	falha ou parada em linha não-crítica
XSRN1041NO	falha ou parada em linha não-crítica
XSRN1041NO2	falha ou parada em linha não-crítica
XSRN1041O2	falha ou parada em linha crítica
XSRN1041SO2	falha ou parada em linha não-crítica

Tabela 4.6: Consequências de não atuação para alarmes de variáveis discretas

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
BB1015	desligamento da caldeira
BB1021	desligamento da caldeira
LSSL1026	desligamento da caldeira
MT1046	desligamento da caldeira
PSH1026	desligamento da caldeira
XAT1041	falha ou parada em linha crítica
XSH1011	falha ou parada em linha crítica
XSL1012	desligamento da caldeira

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.6

<i>Tag</i>	<i>Consequência de não atuação</i>
XST1041O2	falha ou parada em linha crítica

- **Tipos de Alarmes**

Para as variáveis analógicas, existem alarmes do tipo absoluto, que compara valor de uma variável de processo com *setpoints* pré-determinados e de diagnósticos do sistema. Para as variáveis discretas, só existem alarmes do tipo de discrepância que avaliam se há divergência entre o estado esperado de uma variável digital e seu valor atual. No gráfico da Figura 4.4, é possível visualizar a distribuição entre estes tipos de alarme. Nota-se que há uma quantidade maior de alarmes absolutos em relação aos outros tipos.

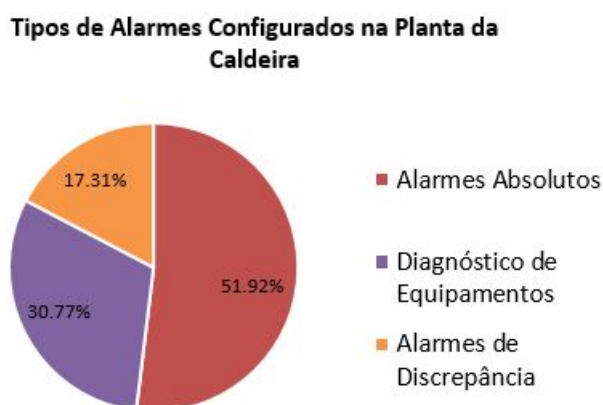


Figura 4.4: Distribuição de tipos de alarmes configurados na planta da caldeira

- **Distribuição de Prioridades**

No sistema supervisor iFix, todos os alarmes configurados para a planta da caldeira possuem prioridade *Low* (Baixa), o que não representa uma situação adequada, pois um nível de prioridade único não acrescenta nenhuma informação ao operador para ajudar a operar a planta.

- **Valores de *setpoints* escolhidos**

Houveram casos em que foram utilizados os mesmos valores de *setpoint* para os alarmes de *high-high* e *high* ou de *low-low* e *low*. Esta foi uma estratégia usada para inibir alguns dos alarmes inicialmente configurados na planta. Além disso, notou-se que os alarmes HI e HH de nível têm como *setpoint* 100%, o

que não é coerente, pois quando o alarme for disparado, o tanque já estará transbordando. O ideal é que o alarme seja disparado antes que um evento como este ocorra para dar tempo do operador agir.

- **Alarmes para Testes**

Existem alguns alarmes, como o XIC1046_PV, XIC_1046_SEL_PN e XIC1046_SP, que foram criados para a realização de alguns testes da caldeira. Porém, após a execução destes, estes alarmes continuaram configurados na planta.

- **Alarmes referentes a eficiência da reação**

Existem 6 alarmes referentes à eficiência da reação: XIT1041C1 (Crédito Calor Sensível Ar de Combustão), XIT1041C3 (Crédito Calor Sensível do Combustível), XIT1041C4 (Crédito Calor Sensível Umidade Ar Comb.), XIT1041EPCI (Eficiência com base no PCI), XIT1041P1(Perda de Calor Sensível pelos Gases) e XIT1041P2(Perda de Calor Sensível pelos Gases/H₂O).

4.2.4 Etapa 4 - Avaliação do Histórico dos Alarmes

A análise dos históricos foi realizada utilizando três dias de aulas (31/10/2016, 04/11/2016 e 07/11/2016) que possuíam o mesmo enredo da aula prática dos alunos de graduação. Na Tabela 4.7, encontra-se um exemplo de histórico de alarme que o sistema supervisor iFix exporta. Este arquivo contém diversas informações que auxiliam a identificação do momento do disparo e da condição observada. Abaixo, serão descritas as colunas encontradas neste.

As duas primeiras colunas identificam o dia e a hora de disparo do alarmes, respectivamente. A coluna *Status* mostra o tipo do alarme ativado ou o evento que desativou o alarme. Por exemplo, as siglas LOLO, LO, HI e HIHI indicam o disparo dos alarmes *low-low*, *low*, *high* e *high-high* das variáveis analógicas. Por outro lado, RATE indica que a taxa de variação de uma *tag* está fora dos limites da variável definidos pelo usuário. Já CFN, cuja a sigla significa *Change from Normal*, indica o disparo das variáveis discretas e OK indica que determinado alarme voltou a seu estado inativo. Na coluna *Value* encontra-se o valor da variável de processo que causou a mudança de estado do alarme.

Tabela 4.7: Exemplo de histórico de alarmes exportado pelo iFix

<i>Dia</i>	<i>Hora</i>	<i>Tag</i>	<i>Status</i>	<i>Value</i>
31/10/2016	13:27:43	PIT1032	LO	22,38
31/10/2016	13:30:56	PSH1026	CFN	Acima
31/10/2016	13:30:56	MT1046	CFN	Desligado
31/10/2016	13:30:56	XSH1011	CFN	Desligado
31/10/2016	13:30:56	BB1015	CFN	Desligado
31/10/2016	13:43:45	TIT1042	LO	109,99
31/10/2016	14:15:57	PSH1026	OK	Normal
31/10/2016	14:15:57	MT1046	OK	Ligado
31/10/2016	14:15:57	BB1015	OK	Ligado
31/10/2016	14:16:12	XSH1011	OK	Ligado
31/10/2016	14:23:39	PIT1032	OK	40,48
31/10/2016	14:23:47	TIT1042	OK	153,03
31/10/2016	14:31:38	FIT1031	HIHI	807,01
31/10/2016	14:31:59	FIT1031	OK	454,28
31/10/2016	14:32:02	FIT1031	LO	0,00
31/10/2016	14:32:05	FIT1031	RATE	262,38
31/10/2016	14:32:06	FIT1031	OK	200,25

Como resultado desta avaliação, verificou-se que constantemente o intertra-

vamento é acionado desligando o soprador, o queimador e a bomba de alimentação de óleo uma vez que o pressostato da caldeira era acionado, o que pode ser um indício de que o *setpoint* deste instrumento está errado ou que ao longo das aulas práticas a planta opera, durante alguns momentos, em condições não ideais.

Além disso, foram comparados os valores de alguns índices que medem a reatividade dos sistemas de alarmes com os valores referências destes índices, mencionados no Capítulo 2. Para esta análise, o indicador "Porcentagem de contribuição dos 10 alarmes mais frequentes na carga total de geração de alarmes" não foi abordado, pois foram utilizados históricos de disparos de aproximadamente 4 horas de operação e nestes períodos houve disparo de 10 a 12 alarmes diferentes. Dessa maneira, o cálculo desse indicador não é justificado uma vez que ele não trará resultados conclusivos.

Na Tabela 4.8 é possível comparar os resultados obtidos com as metas da EEMUA 191 e concluir que o sistema de alarmes precisa ser otimizado.

Tabela 4.8: Métricas calculadas para os históricos dos alarmes

Métrica	<i>Benchmark</i>	31/10/2016	04/11/2016	07/11/2016
Média de Alarmes Disparados a cada 10 minutos	1	2.33	2.38	2.04
Eventos de <i>Flooding</i>	0	1	1	1
Porcentagem de horas contendo mais de 30 alarmes	1	0	0	0

4.2.5 Etapa 5 - Realização de Questionários com Usuários

Para realizar a entrevista com os usuários do sistema, foi preparado um questionário genérico com base em EEMUA 191 (2013) que contém informações para verificar se a configuração empregada no sistema de alarmes facilita sua utilização e se este sistema de alarmes cumpre a função de auxiliar o gerenciamento de situações críticas na planta. Uma situação peculiar que ocorreu nesta planta foi a aplicação do questionário de *feedback* que foi realizada com uma das alunas de pós-graduação que mais utiliza a planta para seus experimentos e não propriamente com um operador da planta que fica na sala de controle ao longo de todo o seu turno. Como consequência, avaliou-se que nem todas as perguntas do questionário original, se enquadraram na realidade da caldeira. Originalmente no questionário, havia uma pergunta que questionava se existiam características de outros sistema que o usuário gosta e que poderiam ser implementadas no sistema atual. Avaliou-se que esta pergunta não era

coerente com o contexto da planta que é estudada. No Apêndice B, foi incluído este questionário respondido.

A análise deste questionário mostrou que os usuários do sistema acreditam que foram configurados mais alarmes que o necessário, uma vez que há ocorrências rotineiras consideradas como alarmes, e que os alarmes são pouco úteis para a operação da planta. Também foi sugerido que fossem adicionado na interface informações das possíveis causas e ações corretivas dos alarmes.

4.3 Resultados Obtidos do Estudo

Como resultado deste estudo, foi identificado que existem alguns pontos que devem ser melhorados para aumentar a eficiência com a qual este sistema de alarmes previne anormalidades. Estas melhorias embasariam algumas etapas do Ciclo de Vida do Alarmes, como o Identificação de Alarme, Racionalização e Design Detalhado. Dessa maneira, para facilitar sua organização, elas serão apresentadas utilizando esta subdivisão.

4.3.1 Racionalização

As conclusões a respeito da etapa de Racionalização serão descritas nos itens abaixo. Como muitas sugestões foram feitas e a implementação destas exigirá um esforço bastante grande, escolheu-se apresentá-las em ordem de prioridade na execução.

- **Modificar lógica de disparo dos alarmes**

Através de uma análise preliminar feita na planta, foi verificado que a lógica de disparo de alguns alarmes como o XSH1011, XSL1012, BB1015 e BB1021 não está correta, tendo em vista que estes alarmes estão disparando quando não há ocorrência de situações anormais da planta.

Os alarmes XSH1011 e XSL1012 são disparados quando o painel do queimador está desligado e chama está apagada, respectivamente. Já o alarme da bomba de óleo BB1015, é disparado quando esta está desligada. Quando o intertravamento da planta é acionado, a caldeira é automaticamente desligada e conseqüentemente o painel, a chama, e a bomba BB1015 são desligados. Com isso, não necessariamente o disparo desses alarmes representam uma condição crítica.

O alarme da bomba de água da caldeira BB1021 é disparado quando esta está desligada. Todavia, existe uma lógica no CLP (Controlador Lógico Programável) de intertravamento localizado na planta que desliga a bomba BB1021

quando o nível de água na caldeira está alto. Ou seja, não necessariamente o desligamento da bomba BB1021 representa uma condição crítica.

Considerando estas informações, é proposto reavaliar a lógica de disparo dos alarmes configurados na planta para certificar-se que os alarmes só venham a disparar quando ocorra uma situação anormal na planta que exija a atenção do operador.

- **Modificar lógica de disparo de alarmes referente ao sensor virtual**

Na planta da caldeira, é possível utilizar um sensor físico ou um sensor virtual para monitorar a quantidade de O_2 nos gases provenientes da queima. Atualmente, o sensor virtual não encontra-se calibrado para uso. Com isso, somente o sensor físico encontra-se em funcionamento. Porém, existem alarmes configurados para o sensor virtual.

Considerando estas informações, é proposto modificar a lógica de disparo de alarmes como o XRN1041CO_E, XRN1041CO2_E, XRN1041NO_E, XRN1041NO2_E, XRN1041O2_E e XRN1041SO2_E relativos ao sensor virtual para que estes só possam ser disparados quando o sensor virtual estiver em uso.

- **Reavaliar *setpoints* de alguns alarmes de nível**

Os valores de *setpoint* dos alarmes HI e HH das *tags* dos instrumentos LIT1021 e LIT1026 são iguais a 100. Porém, quando o nível destes tanques atingir 100%, o tanque já estará transbordando e não haverá tempo para o operador atuar antes que esta situação ocorra.

Considerando estas informações, é proposto reavaliar os valores de *setpoint* configurados nos alarmes de sensores de nível.

- **Desabilitar alarmes enquanto não estiver ocorrendo testes**

Existem alguns alarmes que foram criados a fim de testar novas configurações na caldeira. Por exemplo, XIC1046_PV (Variável controlada da Malha de Ar), XIC1046_SEL_PN (Seleciona O2V (1)/O2C(2)/CO2V(3)/CO2R(4)) e XIC1046_MV (Variável Controlada da Malha de Ar). Todavia, mesmo quando testes não estão ocorrendo, estes alarmes continuam habilitados.

Considerando estas informações, é proposto desabilitar os alarmes relativos a testes enquanto estes testes não estão sendo realizados.

- **Reduzir o número de alarmes referentes a eficiência da reação**

Atualmente, existem seis alarmes que abordam a eficiência energética da reação: XIT1041C1 (Crédito Calor Sensível Ar de Combustão), XIT1041C3

(Crédito Calor Sensível do Combustível), XIT1041C4 (Crédito Calor Sensível Umidade Ar Comb.), XIT1041EPCI (Eficiência com base no PCI), XIT1041P1 (Perda de Calor Sensível pelos Gases) e XIT1041P2 (Perda de Calor Sensível pelos Gases /H₂O). Como o valor do XIT1041EPCI pode ser aproximado por somatório das outras *tags* citadas, a utilização do alarme em XIT1041EPCI configura-se como o melhor indicador para avaliar se a eficiência energética da reação está adequada, tornando os alarmes das outras *tags* desnecessários.

Considerando estas informações, é proposto remover os outros os alarmes de XIT1041C1, XIT1041C3, XIT1041C4, XIT1041P1 e XIT1041P2.

4.3.2 Priorização

A proposta de priorização se baseará no Método de Matriz de Prioridades mencionada no Capítulo 2 que possui três tabelas de referência para a realização da priorização: a Tabela de Índices de Criticidade, a Tabela de Tempo de Resposta e a Tabela de Faixa de Prioridades.

Na Tabela 4.9, apresenta-se a Tabela de Índices de Criticidade da planta da caldeira. Para esta planta, escolheu-se utilizar 3 níveis de criticidade, pois entendeu-se que esta quantidade é suficiente para representar os diferentes graus de severidade dos eventos que podem ocorrer. Para a elaboração desta tabela, utilizou-se o estudo de eventos que ocorrem quando os alarmes não são respondidos, conforme mencionado na Etapa 2 do Estudo do Processo. Escolheu-se o maior índice de criticidade para o evento que gera a interrupção da produção de vapor e o segundo maior índice de criticidade para os eventos de falha e parada de equipamentos na linha crítica. Com isso, os eventos de queima não eficiente e falha ou parada de equipamentos na linha não-crítica ficaram com índice de criticidade 1.

Tabela 4.9: Tabela de índices de criticidade

<i>Índice de Criticidade</i>	<i>Eventos</i>
1	Queima não eficiente
1	Falha ou parada de equipamento em linha não-crítica
2	Falha ou parada de equipamento em linha crítica
3	Desligamento da caldeira

A Tabela de Índice de Tempo de Reposta é mostrada na Tabela 4.10. Semelhante ao ocorrido com a Tabela de Índices de Criticidade, foi escolhido utilizar três índices nesta tabela, pois com este número é possível representar os diferentes

graus de urgência dos alarmes. Dessa maneira, utilizou-se a sugestão de EEMUA 191 (2013) para definir três intervalos de tempo suficientemente grandes, que facilitariam a associação destes índices aos alarmes.

Tabela 4.10: Tabela de índice de tempo de resposta

<i>Índice de Tempo de Resposta</i>	<i>Tempos de Resposta</i>
1	Maior que 10 minutos
2	Entre 3 a 10 minutos
3	Até 3 minutos

Por último, na Figura 4.5, será apresentada a Tabela de Faixa de Valores que define os intervalos de cada uma das prioridades a serem comparados com a multiplicação do Índice de Criticidade e o Índice de Tempo de Resposta. Estes valores foram escolhidos de modo a garantir uma distribuição adequada das prioridades.

Cálculo das Prioridades

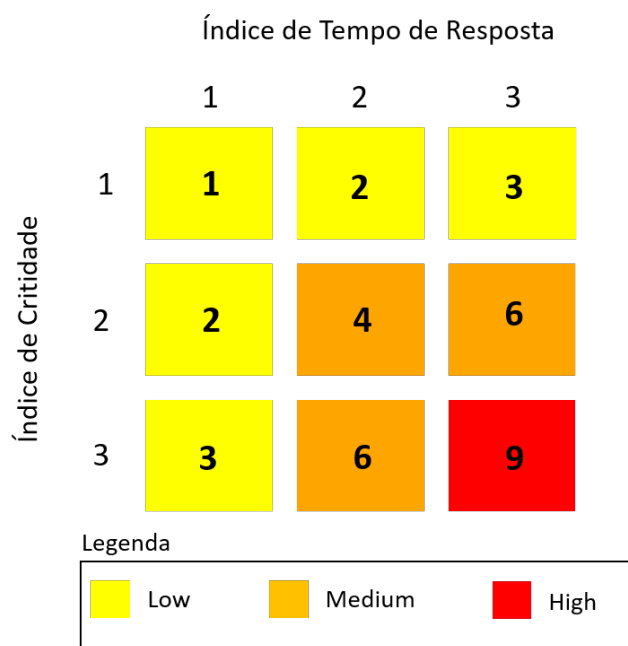


Figura 4.5: Faixa de prioridades sugerida para a planta da caldeira

Após a definição das tabelas de referência e a associação de cada um dos alarmes à um Índice de Criticidade, com base nas Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 na qual foi realizada a associação das consequências de não atuação com os alarmes configurados, foi feita a análise de cada um dos Índices de Resposta. Para o Índice de

Tempo de Resposta igual 1, escolheu-se as *tags* referentes a variáveis de temperatura e de análise de composição que são menos sensíveis a variações. Para o Índice de Tempo de Resposta igual a 3, escolheu-se colocar as bombas e as *tags* que dispararam o intertravamento, pois eles precisam de rápida atuação. O restante das *tags* foram associadas ao Índice de Tempo de Resposta igual a 2.

Finalmente, nas Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13, é apresentada a prioridade proposta e, no Apêndice C, são detalhados os Índices de Criticidade e de Tempo de Resposta utilizados para cada alarme.

Tabela 4.11: Prioridade proposta em alarmes do tipo absoluto de variáveis analógicas

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
FIC1031_MV	Medium
FIC1031	Medium
LIT1013	Medium
LIT1021	Medium
LIT1026	Medium
PIT1032	Medium
TIT1042	Low
XIC1031_TR	Low
XIC1046	Low
XIC1046_AM_ESCRITA	Low
XIC1046_AM_LEITURA	Low
XIC1046_MV	Low
XIC1046_PV	Low

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.11

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
XIC1046_SEL_PN	Low
XIC1046_SP	Low
XIT1041C1	Low
XIT1041C3	Low
XIT1041C4	Low
XIT1041EPCI	Low
XIT1041P1	Low
XIT1041P2	Low
XRN1041CO_E	Low
XRN1041NO_E	Low
XRN1041NO2_E	Low
XRN1041O2_E	Low
XRN1041SO2_E	Low

Tabela 4.12: Prioridade proposta em alarmes do tipo diagnóstico de instrumentos de variáveis analógicas

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
FST1024	Medium
FST1031	Medium

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.12

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
LST1013	Medium
LST1021	Medium
LST1026	Medium
PST1032	Medium
SSV1046	Medium
TST1011	Low
TST1023	Low
TST1042	Low
XSRN1041CO	Low
XSRN1041CO2	Low
XSRN1041NO	Low
XSRN1041NO2	Low
XSRN1041O2	Medium
XSRN1041SO2	Low

Tabela 4.13: Prioridade proposta em alarmes de variáveis discretas

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
BB1015	High

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela 4.13

<i>Tag</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
BB1021	High
LSLL1026	High
MT1046	High
PSH1026	High
XAT1041	Medium
XSH1011	Medium
XSL1012	High
XST1041O2	Medium

A Figura 4.6 apresenta um gráfico comparativo das distribuições de prioridades antes e depois de uma possível aplicação desta proposta. Nota-se que a nova distribuição se aproxima mais do recomendado nas normas, mencionado no Capítulo 2, do que a distribuição inicial.

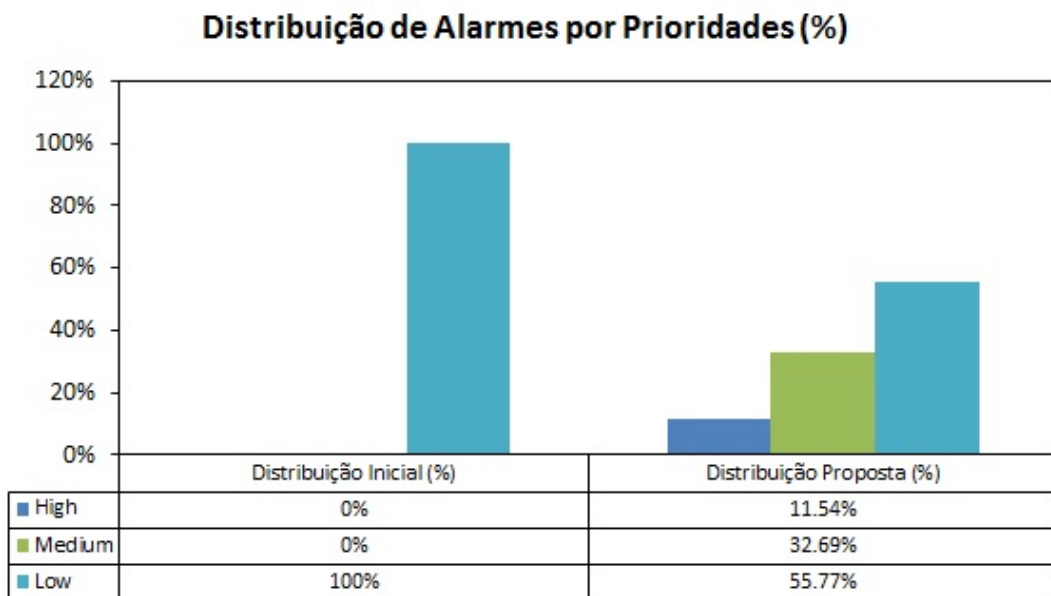


Figura 4.6: Comparação entre distribuição de prioridades inicial e proposta

4.3.3 Design Detalhado de Alarmes

Neste item, serão descritas as sugestões relacionadas ao *Design* Detalhado dos Alarmes, que neste caso se resumirão ao uso do recurso do *deadband* e no aprimoramento da interface gráfica.

4.3.3.1 *Deadband*

No sistema supervisório do iFIX não foi desenvolvido o recurso de *delay*. Com isso, será avaliado apenas o uso do *deadband*.

Os valores *deadband* foram configurados nos alarmes das variáveis analógicas da planta com base nas próprias recomendações do software do sistema supervisório. Dessa maneira, foi configurado um valor fixo de 5% do valor do alarme HH, desconsiderando o tipo de variável medidas (pressão, vazão, temperatura, etc.). Porém, é importante notar que a medição das variáveis apresentam comportamentos bastante diferentes entre si. A vazão, por exemplo, apresenta bastante ruído caso sejam medidas através de placas de orifício. Enquanto isso, a temperatura é uma variável que costuma ter uma variação bem lenta. Desta maneira, é necessário revisar os valores de *deadband* utilizados para que eles se tornem mais adequados aos tipos de instrumentos utilizados e as variáveis medidas.

4.3.3.2 Interface Homem-Máquina

Nas Figuras 4.2 e 4.3 foram apresentadas as duas telas gráficas referentes aos alarmes do sistema supervisório. A análise destas telas juntamente com a entrevista *feedback* revelaram que alguns aspectos podem ser melhorados.

- **Reconhecimento**

O recurso de reconhecimento é utilizado para ajudar a gerenciar o sistema, porém, como identificado através da entrevista realizada, ele acaba sendo utilizado sem muitos critérios, já que tornou-se uma medida rotineira reconhecer todos os alarmes de uma vez só, sem avaliar as situações individualmente. Dessa maneira, é recomendado estabelecer uma política para a utilização do recurso de forma adequada.

- **Janela de ajuda**

É interessante que sejam desenvolvidas em janelas de ajuda para exibir todas as possíveis causas dos disparos de alarme e as ações corretivas que devem ser realizadas para garantir que o processo volte ao seu estado normal de operação. Estes recursos seriam extremamente úteis para guiar principalmente usuários menos experientes a gerenciar as situações críticas.

- Campos da tela "Sumário de Alarmes"

A tela de Sumário de Alarmes apresenta campos que não são plenamente utilizados como "Alarm Extension Field2" e "Area", conforme evidenciado na Figura 4.7. Estes campos poderiam ser preenchidos de forma a indicar a área do processo na qual o alarme ocorre e, assim, ajudar o operador a diagnosticá-lo.

The screenshot shows the 'Sumário de Alarmes' interface. The main table contains the following data:

Ack	Time In	Time Last	Tagname	Status	Value	Description	Area	Alarm Extension Field2
15:09:34	15:09:34,9	SSV1046	COMM	192	Diagnóstico Soprador S11046(F-Inv)	ALL	Alarm Extension Field2	
15:09:34	15:09:34,8	PST5025	COMM	128	Diagnóstico do PIT5025	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	PST1032	COMM	128	Diagnóstico do PIT1032	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LST5027	COMM	128	Diagnóstico do LIT5027	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LST5017	COMM	128	Diagnóstico do LIT5017	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LST1026	COMM	128	Diagnóstico do LIT1026	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LST1021	COMM	128	Diagnóstico do LIT1021	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LST1013	COMM	128	Diagnóstico do LIT1013	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FYST5047	COMM	128	Diagnóstico do FY5047	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FST5057	COMM	128	Diagnóstico do FIT5057	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FST5037	COMM		Diagnóstico do FIT5037	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FST5027	COMM	128	Diagnóstico do FIT5027	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FST5017	COMM	128	Diagnóstico do FIT5017	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	FST1031	COMM	128	Diagnóstico do FIT1031	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	XAT1041	COMM	ERRO	Erro físico do analisador de gases	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	TST1042	COMM	128	Diagnóstico do TIT1042	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	TST1023	COMM	128	Diagnóstico do TIT1023	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	TST1011	COMM	128	Diagnóstico do TIT1011	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	BB1021	COMM	Desligado	Bomba de Agua	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	XSL1012	COMM	Normal	Falha de Chama	ALL		
15:09:34	15:09:34,8	LSSL1026	COMM	Normal	Nível Crítico de Agua	ALL		
15:09:34	15:09:34,6	LIT1021	COMM	90	Caldeira/ Nível do tanque de água	ALL		
15:09:34	15:09:34,6	LIT1013	COMM	186	Caldeira/ Nível Tanque de Mistura	ALL		
15:09:34	15:09:34,5	XCV5048	COMM	29	Coluna/ Válvula da linha de alimentação	ALL		
15:09:34	15:09:34,5	XCV5027	COMM	0	Coluna/ Válvula de alimentação	ALL		
15:09:34	15:09:34,5	XCV5018	COMM	0	Coluna/ Válvula de refluxo	ALL		
15:09:42	15:09:42,1	XRN1041CO2	OFF		Concentração de O2 predita			

At the bottom of the screen, there is a summary table:

Ack	Time In	Time Last	Tagname	Status	Value	Description	Alarm Extension Field2
15:43:00,57	15:43:00,5	PSH1026	CFN	Acima do Limite	Pressostato		
15:23:03,64	15:23:03,6	FIT1031	LO	0,00	Caldeira/ Vazão de vapor		
15:21:15,92	15:21:15,9	BB1015	CFN	Desligado	Bomba de Alimentação de Oleo a Caldeira		
15:09:42,1	15:09:42,1	XRN1041CO2	LO	0,00	Concentração de CO2 predita		

Additional information at the bottom: Total Alarms: 60, Filter: Off, Sort: Time In, Descending, Run button.

Figura 4.7: Campos "Alarm Extension Field2" e "Area" localizados na tela sumário de alarmes

- Prioridade dos alarmes na tela "Sumário de Alarmes"

Na tela de Sumário de Alarmes, mostrada na Figura 4.7, não é explicitada a prioridade dos alarmes, que é imprescindível para guiar a operação da planta. Com isso, recomenda-se que a prioridade passe a ser explicitada nesta tela juntamente com símbolos e cores para facilitar sua visualização.

Capítulo 5

Conclusões e Sugestões

O presente trabalho busca realizar um estudo de como aplicar as boas práticas recomendadas para o gerenciamento de alarmes em plantas industriais. No contexto industrial, alarmes são definidos como os recursos visuais e sonoros utilizados para indicar que uma situação anormal está ocorrendo e que uma ação precisa ser tomada. Ao longo do tempo, o número de alarmes disparados aumentou consideravelmente em plantas industriais, o que acaba chamando a atenção de entidades como a ISA e a EEMUA que viram a necessidade de criar normas para ajudar a gerir sistemas de alarmes.

As normas de referência de alarmes ISA 18.2 e EEMUA 191 englobam diversos aspectos referentes a sistema de alarmes: desde de sua configuração até métricas que ajudam a avaliar a reatividade e a confiabilidade dos sistemas para com o usuário. Adicionalmente, estas normas também apresentam o ciclo de vida dos alarmes que possui todas as etapas necessárias para a criação e manutenção dos sistemas de alarmes, entre elas a racionalização e a priorização. Estas etapas garantem que os alarmes configurados no sistema são os melhores indicadores de situações adversas e que o operador consiga diferenciar alarmes com diferentes níveis de periculosidade, respectivamente. Devido à complexidade destas duas atividades, foram apresentadas metodologias para a guiar suas aplicações.

A fim de facilitar a análise de sistema de alarmes e a identificação de pontos divergentes com as recomendações da normas de referência, este trabalho desenvolveu a Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes. Esta metodologia define o passo a passo dos aspectos que precisam ser analisados e as perguntas que necessitam ser respondidas para obter informações suficientes para embasar as sugestões de melhorias. A Metodologia de Estudo de Sistema de Alarmes possui cinco etapas: levantamento da documentação da planta, estudo do processo, análise da lista de alarmes configurados, avaliação do histórico dos alarmes e realização de questionários com usuários. Juntamente com estas etapas, também foi abordada como deve ser realizada a aplicação dos resultados obtidos para deixar o sistema de alarmes

em estudo mais robusto. Adicionalmente, foi realizada uma estimativa da distribuição de tempo gasto nas atividades da metodologia de estudo e da implementação das melhorias sugeridas e concluiu-se que para o levantamento da documentação da planta gasta-se aproximadamente 5% da quantidade total do tempo, para o estudo do processo 25%, para a análise da lista de alarmes configurados 20%, para a avaliação do histórico de alarmes 10%, para realização de questionários com usuário 10% e para a implementação de modificações sugeridas 30%.

Por fim, foi realizado caso de estudo desta metodologia na planta de uma caldeira de porte semi-industrial localizada no Laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, cujo o objetivo é produzir vapor saturado a ser usado em outros equipamentos do laboratório. O sistema supervisório deste laboratório possui 52 instrumentos da planta da caldeira cujo os alarmes estão habilitados. Dentre estes, 43 são entradas analógicas e 9 são entradas digitais. Adicionalmente, foi observado que esta planta possui características um pouco diferentes das plantas industriais, tendo em vista que é utilizada por alunos de graduação e pós-graduação para a realização de testes e que é constantemente ligada e desligada. Dessa maneira, algumas considerações tiveram de ser feitas para a sua análise. Por exemplo, durante o estudo do processo, alguns documentos, como os estudos de segurança e o manual descritivo do processo, não haviam sido formalizados, sendo estes substituídos por teses de doutorado realizadas na planta e entrevistas com alunos que a utilizam.

O resultado final da análise desta planta da caldeira provou, entre outras coisas, que são disparados mais alarmes no sistema atual que um operador pode gerir, que as prioridades empregadas atualmente não são adequadas, que existem alguns alarmes configurados que não deveriam ser considerados alarmes e que mudanças na interface gráfica são necessárias para facilitar a operação dos usuários. Com isso, foram propostas sugestões para resolver estas questões e, assim adequar o sistema de alarmes da caldeiras as recomendações das normas de referência de alarmes. Por exemplo, foi sugerida a eliminação de alguns alarmes redundantes ligados a eficiência da reação de queima e a realização de uma nova priorização dos alarmes da planta com 55,77% de prioridade *Low*, 32,69% de prioridade *Medium* e 11,53% de prioridade *High*.

Para trabalhos futuros, deve ser considerada a implementação das sugestões de melhoria definidas para a planta da caldeira para a avaliação se estas trazem o resultado esperado para o sistema de alarmes. Esta avaliação deve ser realizada através da comparação de métricas definidas pela ISA 18-2, como por exemplo, o número de alarmes disparados em 10 minutos, o número de eventos de *flooding* e a quantidade máxima de alarmes disparados em 10 minutos, e também pela reaplicação dos questionários *feedback* com os principais usuários da planta.

Referências Bibliográficas

- ANSI/ISA-18.2, 2016, *Management of Alarm Systems for the Process Industries*. American National Standard.
- EEMUA 191, 2013, *Alarm systems: a guide to design, management and procurement*. The Engineering Equipment and Materials Users Association.
- ENGINEERED SOLUTIONS INC., 2012. “ESI Products”. Disponível em: <http://www.esinuclear.com/Annunciator.html>. Acessado em: 11/09/2016.
- GILMAN, G., GILMAN, J., 2010, *Boiler control systems engineering*. ISA.
- HOLLIFIELD, B., 2012. “System Integration: The high performance HMI”. Disponível em: <https://www.isa.org/standardspublications/isapublications/intechmagazine/2012/december/systemintegrationthehighperformancehmi/>. Acessado em: 16/08/2016.
- HOLLIFIELD, B., HABIBI, E., 2010, *Alarm Management Handbook*. Plant Automation Services, Incorporated.
- INDUSTRIAL BOILER & MECHANICAL, 2016. “Boiler Systems”. Disponível em: <http://www.industrialboiler.com/boilers/>. Acessado em: 19/11/2016.
- IZADI, I., SHAH, S. L., CHEN, T., 2010, “Effective resource utilization for alarm management”. In: *49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, pp. 6803–6808. IEEE.
- NIKIEL, J. M., 2010, “Sistema De Instrumentação E Automação De Caldeira Com Combustíveis Alternativos”, *UFRJ. Rio de Janeiro*.
- OLAND, C., 2002, *Guide to low-emission boiler and combustion equipment selection*. The Laboratory.
- PARIYANI, A., SEIDER, W. D., OKTEM, U. G., et al., 2010, “Incidents Investigation and Dynamic Analysis of Large Alarm Databases in Chemical

Plants: A Fluidized-Catalytic-Cracking Unit Case Study†”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 49, n. 17, pp. 8062–8079.

ROTHENBERG, D. H., 2009, *Alarm management for process control: a best-practice guide for design, implementation, and use of industrial alarm systems*. Momentum Press.

SAFETY, U. S. C., BOARD, H. I., 2011, *Final Report - E.I. DUPONT DE NEMOURS & CO*. Relatório Técnico 2010-6-I-WV, Setembro.

SAMAD, T., MCLAUGHLIN, P., LU, J., 2007, “System architecture for process automation: Review and trends”, *Journal of Process Control*, v. 17, n. 3, pp. 191–201.

SEBORG, D. E., MELLICHAMP, D. A., EDGAR, T. F., et al., 2010, *Process dynamics and control*. John Wiley & Sons.

SUSTAINABLE PLANT, 2011. “Hazardous Materials Pipeline Operators to Meet Risk-Reduction Regulations”. Disponível em: <http://www.sustainableplant.com/2011/05/hazardous-materials-pipeline-operators-to-meet-risk-reduction-regulations>. Acessado em: 01/02/2017.

VALDMAN, A., 2013, “Estrutura Unificada Baseada em Sensor Virtual e Tecnologia Fieldbus para Monitoramento, Diagnóstico e Controle de Caldeiras”, *UFRJ. Rio de Janeiro*.

Apêndice A

P&ID da Planta da Caldeira

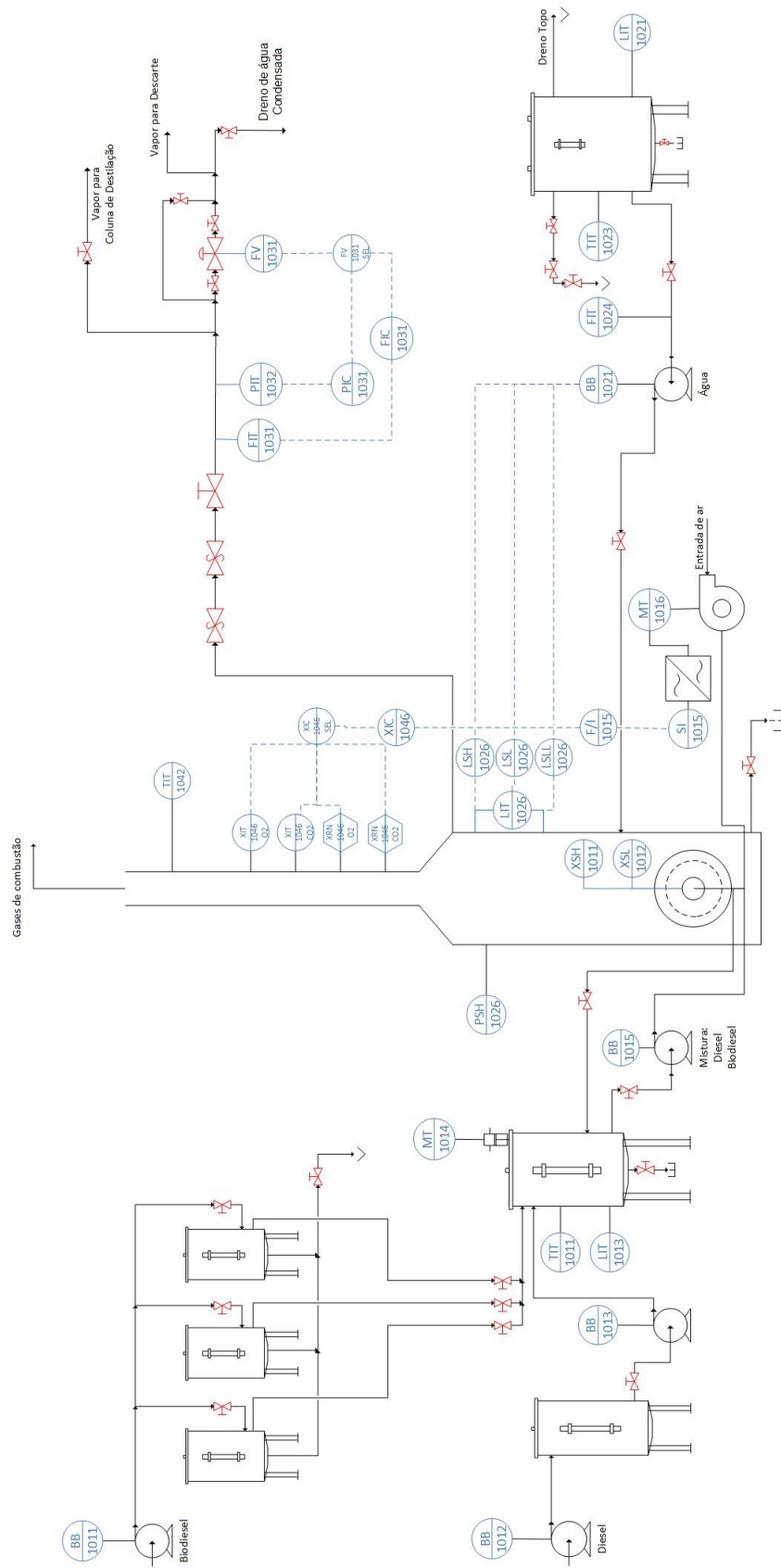


Figura A.1: Diagrama P&ID da Planta do LADEQ

Apêndice B

Questionário *Feedback* da Planta da Caldeira

Feedback do Operador				
Informações Gerais				
Nome do colaborador:	Andréa Pereira Parente			
Data:	9/9/2016			
Cargo do colaborador:	Professora Substituta UFRJ			
Perguntas				
1. Há quanto tempo você trabalha com o sistema de alarmes?	Desde 2011			
2. Já trabalhou com outros tipos de sistema? Se sim, quais?	Não.			
3. Que características de outros sistemas você gosta e que poderiam ser implementadas no sistema atual?				
Não se aplica.				
4. O quão bem o sistema de alarmes o auxilia nas situações normais de operação?				
Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
5. O quão bem o sistema de alarmes o auxilia durante uma falha ou evento anormal na planta?				
Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
6. Qual a sua impressão quanto ao número de alarmes gerados durante o evento de trip de um equipamento ou falha de comunicação?				
Número maior do que o necessário.				
7. Há mais de um operador que aceita/responde os alarmes? Se sim, quantos?				
Sim. 3.				
8. Que série de operações você executa quando um alarme é ativado?				
Ler; Reconhecer; Tomar ações corretivas se necessário.				
9. O que acha do número de alarmes no sistema? [Marque uma alternativa]				
Alarmes além do necessário	Muitos alarmes, porém necessários	Poucos alarmes, mas adequados	Alarmes insuficientes	
10. Consegue distinguir entre alarmes que são gerados de diferentes partes do sistema?				
Sim.				
11. O que gera mais alarmes? [Marque uma alternativa]				
Processo	Equipamentos	DCS	Falha de instrumento	Comunicação
12. Quantos alarmes, em média, você recebe por hora em situação normal de operação?				
15				
13. O quão frequente você acha que um alarme que aciona em um dado momento é o mesmo que havia sido acionado nos últimos 5 minutos? [Marque uma alternativa]				
70-100% dos alarmes	40-70% dos alarmes	20-40% dos alarmes	Menos de 20% dos alarmes	
14. Com que frequência você percebe os seguintes problemas no sistema de alarmes? [Marque uma alternativa em cada]				
Alarmes que estão priorizados erroneamente	Frequente	Às vezes	Raramente	
Alarmes que soam mesmo com a planta em shutdown	Frequente	Às vezes	Raramente	
Dois ou mais alarmes ocorrendo ao mesmo tempo e com o mesmo significado	Frequente	Às vezes	Raramente	
Alarmes que ocorrem em um evento de trip e que são relevantes apenas na operação normal da planta	Frequente	Às vezes	Raramente	
15. O quão útil são os alarmes durante a operação da planta? [Marque uma alternativa]				
Todos essenciais	Maioria útil	Poucos úteis	Muito poucos úteis	

16. Você compreende completamente cada mensagem de alarme e quais ações tomar? [Marque uma alternativa]	
Sempre	Maioria das vezes
Algumas vezes	Nunca
17. Qual sua estimativa para a quantidade de alarmes que ocorrem em uma falha geral da planta?	
No primeiro minuto	10
Nos primeiros 10 minutos	20
Na primeira hora	35
18. Quais recursos você utiliza para gerenciar os alarmes durante um evento de falha geral da planta?	
Reconhecer	
19. Quais recursos você gostaria de possuir para gerenciar os alarmes durante um evento de falha geral da planta?	
Informações de provável causa de origem e sugestões de ações corretivas, além de priorização.	
20. Você sabe os procedimentos para modificações nos alarmes?	
Sim.	
21. Você acha fácil realizar as mudanças nos alarmes?	
Sim.	
22. Quem realiza as mudanças nos alarmes?	
Professores e alunos de pós-graduação.	
23. Sobre os recursos sonoros dos alarmes:	
O que você acha do volume do anúncio dos alarmes?	Não se aplica.
É possível ajustar o volume do anúncio dos alarmes?	Não se aplica.
Há diferentes sons? Se sim, para que servem?	Não se aplica.
Qual volume você prefere?	Não se aplica.
Quais mudanças podem ser feitas nos recursos sonoros dos alarmes?	Não se aplica.
24. Sobre o design do sistema de alarmes:	
Como e quando você aceita os alarmes?	Sempre aceito clicando com o botão do mouse 2 vezes sobre o próprio alarme ou navegando pela aba de alarmes
O banner do alarme te informa o suficiente sem precisar ir na lista de alarmes?	Sim.
Você sabe quando um alarme está arquivado ou suprimido?	Não.
São utilizadas cores por prioridade?	Não.
Você consegue diferenciar facilmente os níveis de prioridade dos alarmes?	Não.
Qual a porcentagem média para cada tipo de prioridade de alarme em uma hora?	10% HIHI; 20%HI; 40%LOLO; 30%LO
25. Quais recursos do sistema de alarmes você gosta?	
Fácil reconhecer; design clean alocado na parte inferior da tela sem poluir o sinótico, descrições e valores de status disponíveis.	
26. Quais recursos do sistema de alarmes você não gosta?	
Muitas ocorrências rotineiras estão configuradas como alarmes.	
27. Quais recursos você adicionaria no sistema de alarmes para ajudá-lo a operar a planta?	
Informações de provável causa de origem e sugestões de ações corretivas, além de priorização.	
28. Quais recursos você removeria do sistema de alarmes e por que?	
Ocorrências caracterizadas como alarmes.	

Apêndice C

Parâmetros de Configuração da Nova Priorização

Tabela C.1: Índices de priorização de alarmes de variáveis analógicas do tipo absoluto

<i>Tag</i>	<i>Índice de Criticidade (IC)</i>	<i>Índice de Tempo de Resposta (ITR)</i>	<i>IC X ITR</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
FIC1031_MV	2	2	4	Medium
FIC1031	2	2	4	Medium
LIT1013	3	2	6	Medium
LIT1021	3	2	6	Medium
LIT1026	3	2	6	Medium
PIT1032	2	2	4	Medium
TIT1042	2	1	1	Low
XIC1031_TR	2	1	2	Low
XIC1046	2	1	2	Low
XIC1046_AM_ESCRITA	2	1	2	Low
XIC1046_AM_LEITURA	2	1	2	Low
XIC1046_MV	2	1	2	Low
XIC1046_PV	2	1	2	Low
XIC1046_SEL_PN	2	1	2	Low
XIC1046_SP	2	1	2	Low
XIT1041C1	1	1	1	Low
XIT1041C3	1	1	1	Low
XIT1041C4	1	1	1	Low
XIT1041EPCI	1	1	1	Low
XIT1041P1	1	1	1	Low

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela C.1

<i>Tag</i>	<i>Índice de Criticidade (IC)</i>	<i>Índice de Tempo de Resposta (ITR)</i>	<i>IC X ITR</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
XIT1041P2	1	1	1	Low
XRN1041CO_E	1	1	1	Low
XRN1041CO2_E	1	1	1	Low
XRN1041NO_E	1	1	1	Low
XRN1041NO2_E	1	1	1	Low
XRN1041O2_E	2	1	2	Low
XRN1041SO2_E	1	1	1	Low

Tabela C.2: Índices de priorização de alarmes variáveis analógicas do tipo diagnósticos de equipamentos

<i>Tag</i>	<i>Índice de Criticidade (IC)</i>	<i>Índice de Tempo de Resposta (ITR)</i>	<i>IC X ITR</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
FST1024	2	2	4	Medium
FST1031	2	2	4	Medium
LST1013	2	2	4	Medium
LST1021	2	2	4	Medium
LST1026	2	2	4	Medium
PST1032	2	2	4	Medium
SSV1046	2	2	4	Medium
TST1011	1	1	1	Low
TST1023	1	1	1	Low

Continua na Próxima Página

Continuação da Tabela C.2

<i>Tag</i>	<i>Índice de Criticidade (IC)</i>	<i>Índice de Tempo de Resposta (ITR)</i>	<i>IC X ITR</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
TST1042	2	1	2	Low
XSRN1041CO	1	1	1	Low
XSRN1041CO2	1	1	1	Low
XSRN1041NO	1	1	1	Low
XSRN1041NO2	1	1	1	Low
XSRN1041O2	2	2	4	Medium
XSRN1041SO2	1	1	1	Low

Tabela C.3: Índices de priorização de alarmes de variáveis discretas

<i>Tag</i>	<i>Índice de Criticidade (IC)</i>	<i>Índice de Tempo de Resposta (ITR)</i>	<i>IC X ITR</i>	<i>Prioridade Proposta</i>
BB1015	3	3	9	High
BB1021	3	3	9	High
LSLL1026	3	3	9	High
MT1046	3	3	9	High
PSH1026	3	3	9	High
XAT1041	2	2	4	Medium
XSH1011	2	3	6	Medium
XSL1012	3	3	9	High
XST1041O2	2	2	4	Medium



GERENCIAMENTO DE ALARMES EM PLANTAS INDUSTRIAIS

Isabelle Silva Contreras

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadores: Rossana Odette de Mattos Folly
Andrea Valdman

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2017