

JOÃO PAULO PEREIRA

**GERENCIAMENTO DE ALARMES DE RISCO CRÍTICOS EM PLANTAS
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM PLANTA DE PELOTIZAÇÃO DA USINA DE
VARGEM GRANDE**

Nova Lima, MG

2022

JOÃO PAULO PEREIRA

**GERENCIAMENTO DE ALARMES DE RISCO CRÍTICOS EM PLANTAS
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM PLANTA DE PELOTIZAÇÃO DA USINA DE
VARGEM GRANDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Automação para Processos de Mineração.

Área de concentração:

Orientador: Thomas Vargas Barsante e Pinto.

Nova Lima, MG

2022

Título: Gerenciamento de alarmes de risco críticos em plantas industriais: estudo de caso em planta de pelotização da usina de Vargem Grande

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

F893g

Pereira, João Paulo

Gerenciamento de alarmes de risco críticos em plantas industriais: estudo de caso em planta de pelotização da usina de Vargem Grande. João Paulo Pereira... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

39 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.

Orientador: Thomas Vargas Barsante e Pinto

1. Alarmes de Risco Críticos. 2. Racionalização. 3. Gerenciamento de Alarmes. I. Pinto, Thomas Vargas Barsante e. II. Título.

CDD.23. ed. 629.82

João Paulo Pereira

**GERENCIAMENTO DE ALARMES DE RISCO CRÍTICOS EM PLANTAS
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DE PELOTIZAÇÃO DA USINA DE
VARGEM GRANDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Automação para Processos de Mineração].

Orientador: Prof. MSc. Thomás Vargas Barsante e Pinto

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 16 de dezembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. MSc. Thomás Vargas Barsante e Pinto
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

D.Sc. Mario Cesar Mello Massa de Campos
Coorientador – Smartautomation

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Gustavo Francisco de Paula Reis
Membro interno – Vale

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).

PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/19F6-D5B6-364C-7DAA> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br.443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/19F6-D5B6-364C-7DAA> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br.443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 19F6-D5B6-364C-7DAA



Hash do Documento

CD7921411E6F02028CFCDEC2953E4DFD0E6C3E5049020529FF8C97C5AA0762D2

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 09/01/2023 é(são) :

- ☒ Gustavo Francisco de Paula Reis (Signatário) - em 09/01/2023 14:13 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.francisco@vale.com

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 09 2023 14:13:34 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.908838 Longitude: -43.969296 Accuracy: 20

IP 179.0.72.147

Hash Evidências:

D65D03C8171AC0F32E333B5CDE6082AB537646164C82B8410F80B67D3837D7C3

- ☒ Mario Cesar Mello Massa de Campos (Signatário) - em 06/01/2023 10:10 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: mariocampos@smartpilot.com.br

Evidências

Client Timestamp Fri Jan 06 2023 10:10:27 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -22.4013 Longitude: -43.1352 Accuracy: 8081

IP 191.241.79.89

Hash Evidências:

4AFF707AA9EADBD36568D8C21DE3114ECDC5F5E693839D31C4FE504CB898ACE5

- ☒ GUSTAVO PESSIN (Signatário) - 939.084.900-49 em 05/01/2023 13:50 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.pessin@itv.org

Evidências

Client Timestamp Thu Jan 05 2023 13:50:20 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.9589888 Longitude: -43.9320576 Accuracy: 750.0909437791255

IP 177.208.48.61

Hash Evidências:

E84B399B5CD173C514DF03036A476045F38AB56C8882C38F819DEF72380542C8

- ☑ **Thomás Vargas Barsante e Pinto (Signatário)** - 115.302.536-16 em 05/01/2023 11:26 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: Thomas.Pinto@itv.org

Evidências

Client Timestamp Thu Jan 05 2023 11:26:21 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Location not shared by user.

IP 191.185.78.231

Hash Evidências:

EED6CAB61E276CB85583EB1DA58743A7558E842670A3D423166D700240FB2BA0



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre em minhas conquistas.

À minha esposa e filha, por todo apoio dedicado.

Aos meus colegas de trabalho, pela ajuda no desenvolvimento deste tema.

Ao meu amigo Fernando Augusto Pereira por ter comprado a ideia de desenvolver uma nova filosofia para o tema em nossa área.

À Vale pelo incentivo ao trabalho.

RESUMO

Um bom sistema de gerenciamento de alarmes é essencial para toda planta operacional. Mas é imprescindível que estes alarmes sejam bem projetados para que não ocorram avalanches de alarmes nos sistemas de supervisão e estes eventos venham a comprometer a segurança da planta. Em processos críticos, existe a necessidade de alarmes críticos como fonte importante de informação prioritária sobre todas as outras do processo para que os operadores possam manter a operação segura. Não gerenciar alarmes causa acidentes principalmente em processos industriais complexos. Este trabalho apresenta uma metodologia baseada no ciclo de vida do gerenciamento de alarmes proposto na ISA 18.2 e índices de desempenho apresentados pela EEMUA 191 para tratamento dos alarmes de risco críticos na usina de Pelotização de Vargem Grande, utilizando-se de análises em banco de dados da planta com o objetivo de configurar, diminuir e ajustar este tipo de alarme gerado pelos equipamentos de chão de fábrica.

Palavras-Chave: Alarmes de Risco Críticos. Racionalização. Gerenciamento de Alarmes.

Fase da Cadeia: Pelotização.

ABSTRACT

A good alarm management system is essential for any operational plant. But it is essential that these alarms are well designed to prevent the occurrence of alarm avalanches in the supervisory systems and these events from compromising the plant's safety. In critical processes there is the need for critical alarms as an important source of priority information about all the others in the process, so that the operators can keep the operation safe. Not managing alarms causes accidents, especially in complex industrial processes. This paper presents a methodology based on the alarm management life cycle proposed in ISA 18.2 and performance indexes presented by EEMUA 191 for the treatment of critical risk alarms in the Pelletizing Plant of Vargem Grande, using the plant's database analysis with the objective to configure, reduce and adjust this type of alarm generated by the shop floor equipment.

Keywords: Critical Risk Alarms. Rationalization. Alarm Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aumento do número de alarmes controlados por operador ao longo dos anos	14
Figura 2 – Registro dos alarmes no sistema de supervisão da usina 7 na janela de intervalo da falha.....	16
Figura 3 – Alarmes de chama não detectada no sistema de supervisão usina 7	17
Figura 4 – Alarmes de chama não detectada reconhecidos no sistema de supervisão usina 7.....	17
Figura 5 – Localização Pelotização Vargem Grande.....	19
Figura 6 – Fluxograma Usina de Pelotização Vargem Grande.....	19
Figura 7 – Prioridade dos alarmes no sistema Supervisão WinCC v7.4 Siemens	20
Figura 8 – Camadas de proteção no segmento industrial	21
Figura 9 – Janela de alarmes de risco críticos.....	22
Figura 10 – Ciclo de Vida do gerenciamento de alarmes	23
Figura 11 – Gráfico da quantidade de Alarmes de Risco Críticos configurados por PLC em Maio/22	26
Figura 12 – Print antiga lógica de programação de alarmes de risco críticos	30
Figura 13 – Print lógica de programação de alarmes de risco críticos após implementação deste trabalho.....	30
Figura 14 – Novo pop-up de alarmes de risco críticos	32
Figura 15 – Quantidade de Alarmes de Risco Críticos configurados por PLC após racionalização e estudo detalhado	33
Figura 16 – Quantidade de alarmes de risco críticos nos meses de análise.....	34
Figura 17 – Relatório de alarmes de risco crítico mais frequentes – Top 10.....	35
Figura 18 – Diagnóstico da implantação do trabalho.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANSI – American National Standards Institute

PLC – Programmable Logic Controller

EEMUA – Engineering Equipment and Materials Users' Association

DCS – Distributed Control System

ISA – International Society of Automation

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

COI – Centro de Operações Integradas

PEL – Usina de Pelotização

PCS7 – Process Control System SIEMENS

HIRA – Hazard Identification and Risk Analysis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contexto.....	14
1.2	Motivação.....	16
1.3	Objetivos.....	19
2	A PLANTA DE PELOTIZAÇÃO VARGEM GRANDE	20
2.1	Arquitetura do Sistema de Supervisão e Controle.....	22
2.2	Gerenciamento de Alarmes.....	23
2.3	Problemas em Sistemas de Alarmes.....	26
3	PROPOSTA DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ALARMES	27
3.1	Levantamento de dados e classificação	27
3.2	Implementação da nova filosofia de programação	28
3.3	Implementação no sistema de supervisão	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERENCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

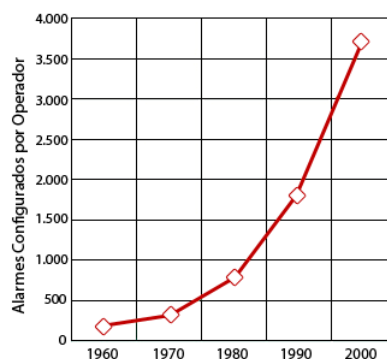
O alarme é definido por um recurso visual ou sonoro utilizado para alertar o operador que uma situação anormal está ocorrendo e que uma ação para consertar este problema precisa ser tomada (EEMUA 191, 2013).

Com o advento dos sistemas de supervisão foi possível disponibilizar aos operadores das indústrias a visualização de todo o processo e atuação numa mesma sala de controle, otimizando tempo, mão de obra e uma operação com mais segurança. Uma das consequências imediatas deste processo de automatização foi o elevado número de alarmes gerados.

Os alarmes são gerados quando o valor do processo se desvia das condições normais de operação. Uma situação anormal ocorre quando uma perturbação em um processo faz com que as operações da planta se desviem de seu estado operacional normal, exigindo intervenção humana. Porém, é comum em muitas salas de controle visualizarmos alarmes que ocorrem repetidamente, mas que são reconhecidos pelo operador automaticamente, desviando a sua atenção de problemas reais.

Estudos indicam que um operador manipule cerca de 3500 alarmes e eventos que na maioria das vezes são mostrados em tabelas que muitas das vezes não estão visíveis nem acessíveis pelo operador (Habibi & Hollifield 2006). A Figura 1 mostra a evolução do número de alarmes controlados por um operador por dia.

Figura 1 – Aumento do número de alarmes por operador por dia ao longo dos anos.



Fonte: Adaptado de (Habibi et al., 2006).

Com o elevado número de alarmes gerados para o operador ele precisa de um tempo de segurança para atuação no alarme. Este tempo é o intervalo entre o evento iniciador e as suas consequências, caso não haja interrupção por camadas de proteção eficazes. O tempo necessário para a tomada de ação deve ser a metade do tempo de segurança de processo (Center for Chemical Process Safety CCPS, 2007). O alarme é uma camada de proteção utilizada e este alarme alertará o operador para tomar uma ação e evitar a consequência indesejada de um determinado evento. No entanto, para uma ação adequada do operador, o tempo disponível para ele agir em situações de emergência não deverá ser menor que 10 (dez) minutos (ANSI/ISA-TR 84.00.04, 2005). Swain e Guttman (1983) observaram que a probabilidade de erro é inversamente proporcional ao tempo disponível para tomar ação. Ou seja, quanto menos tempo o operador tiver para tomar ação, maior será a probabilidade de erro. Quando próximo de 10 (dez) minutos, a probabilidade de erro se aproxima de 1 (um).

Para solucionar este elevado número de alarmes, faz-se necessário gerenciar os mesmos. O gerenciamento de alarmes é uma ferramenta necessária em um processo controlado por um operador utilizando-se de sistemas de controle (SCADA, DCS ou um Controlador Lógico Programável (PLC).

A incapacidade de diagnosticar e controlar situações anormais tem impacto gigantesco na economia. O gerenciamento de alarmes visa basicamente prevenir, ou pelo menos minimizar, perdas físicas e econômicas por meio da intervenção do operador em resposta à condição que foi alarmada.

Os documentos mais referenciados para sistemas de alarme e gestão de alarmes são:

- EEMUA 191 – Sistemas de alarme - um guia para projeto, gerenciamento e aquisição;
- ISA S18.02 (DRAFT) 2008.01.01 Gestão de Sistemas de Alarme para as Indústrias de Processo.

Enquanto o EEMUA 191 fornece direções quanto as ações devidas, a ISA 18.2 fornece direções quanto ao alcance das metas.

1.2 Motivação

Em 11 de agosto de 2021, em Vitória, Espírito Santo, na usina 7 de Pelotização, ocorreu um princípio de incêndio que causou queimaduras nos componentes do sistema de queima 06, comprometendo a operação do mesmo. O acidente veio a ocorrer na fase de Queima do processo de Pelotização, fase esta que trabalha com temperaturas de até 1350°C e tem como combustível o gás natural.

Na investigação do ocorrido foi verificado que o sistema de proteção por contagem de tempo do detector de chamas do queimador atuou 12 vezes entre 19:27:38 e 21:02:31, e o alarme de ausência de chamas foi reconhecido 12 vezes, no supervisão. O método construtivo das válvulas de gás assegura o fechamento do gás em caso de derretimento dos conduítes de ar comprimido ou falta de energia elétrica, porém a interferência de uma pequena argola na presilha de fixação, influenciou na conexão do mangote ao queimador, ocasionando o seu desprendimento. Outro ponto vulnerável encontrado na análise de falha foi que existia a possibilidade de detecção da chama de outro queimador, ocasionando leituras falsas e falhas de proteção. Foram gerados alarmes de chama detectada após o fechamento da válvula de gás, em função do curto-circuito o que não poderia fazer sentido. Após todo o ocorrido, ficaram avariados três posicionadores, cabos de sinais, válvula de controle do ar de atomização, sensores/solenoides avariados. Cabos do bandejamento.

A lógica de proteção implementada no controlador do forno realiza a contagem de tempo para o fechamento do gás após ausência de chamas no detector da câmara de combustão. O sistema de proteção do forno conta 10 segundos para fechar a válvula de gás quando não detectar gás na câmara, com o forno em temperatura menor que 760 C°. Ao ultrapassar 760 C° no forno, a lógica desarma o sistema de gás após 4 minutos e 40 segundos sem detectar gás na câmara de combustão.

Foram registrados no log de falhas vários alarmes de queimador em fogo baixo, considerado normal em manobras de retomada de produção após abafamento do forno. Houve registros do defeito de chama não detectada desde o início da manobra de retomada de produção até o momento do registro do alarme de

botão desliga local atuado, momento em que a válvula controladora do gás é fechada. A Figura 2 mostra o registro dos alarmes no sistema de supervisão da usina 7.

Figura 2 – Registro dos alarmes no sistema de supervisão da usina 7 na janela de intervalo da falha.

11/08/2021 20:51:32 UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:51:41 ACK_RTN	U7Q7008QU_DLF	7Q7008 Queimador 08 em fogo baixo
11/08/2021 20:51:45 ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:52:46 ACK_RTN	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:02:31 UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:02:34 ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:03:51 ACK_RTN	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:11:20 UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDESL	7Q7008 Botão desliga local atuado

Fonte: Vale (2021).

Onde:

ACK_ALM: Alarme reconhecido pela sala de controle

ACK_RTN: Alarme reconhecido, a condição normalizou.

UNACK_ALM: Alarme ainda não reconhecido.

O alarme de chama não detectada foi emitido após o timer de segurança (4,6 minutos para fechar o gás). Alarme emitido para o sistema supervisor desde o horário de acendimento do grupo 6 até o horário do fechamento da válvula de bloqueio do gás.

O defeito é registrado no log da automação após contados os 4,6 minutos do queimador sem chama. Após o reconhecimento do defeito pela sala de controle, é necessário aguardar 01 minuto para dar o liga no sistema de gás novamente. A Figura 3 mostra o registro desses alarmes e a Figura 4 mostra o registro de reconhecimento dos mesmos.

Figura 3 – Alarmes de chama não detectada no sistema de supervisão usina 7.

12 Alarmes de chama não detectada emitidos no sistema supervisório (sala de controle).			
EventStamp	AlarmState	TagName	Description
11/08/2021 19:27:38	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:36:45	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:47:44	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:55:42	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:03:47	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:13:05	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:20:52	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:29:33	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:36:43	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:44:37	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:51:32	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:02:31	UNACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada

Fonte: Vale (2021).

Figura 4 – Alarmes de chama não detectada reconhecidos no sistema de supervisão usina 7.

12 alarmes de chama não detectada reconhecidos no sistema supervisório.			
EventStamp	AlarmState	TagName	Description
11/08/2021 19:27:41	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:36:49	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:47:45	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 19:56:02	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:04:21	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:14:03	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:20:55	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:30:43	ACK	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:36:52	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:44:47	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 20:51:45	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada
11/08/2021 21:02:34	ACK_ALM	U7Q7008QU_DDEF3	7Q7008 Chama não Detectada

Fonte: Vale (2021).

Em linhas gerais, 12 partidas no sistema de gás totalizam 48 minutos de vazão de gás em condições desconhecidas. Isto representaria 38Nm³ de gás emitido para a atmosfera por evento caso o cabeamento elétrico não tivesse entrado em curto-circuito, desligando a botoeira local.

Com base na descrição exibida anteriormente, todas as informações, incluindo alarmes foram mostradas através do sistema de supervisão. Estas informações deveriam ter sido utilizadas pelos operadores para controlar o processo e diagnosticar as falhas, porém a dificuldade de visualizar alarmes individualmente aliado ao elevado número de alarmes no sistema de supervisão no momento da partida da usina corroboraram para a ocorrência do princípio de incêndio na passarela do forno da usina 7.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho constituiu na aplicação de uma metodologia de gerenciamento de alarmes críticos no sistema de alarmes da usina de Pelotização Vargem Grande, possibilitando o saneamento de alarmes de risco críticos fazendo com que os sistemas de supervisão pudessem mostrar apenas alarmes relevantes, tornando a operação mais segura e confiável, tratando o ciclo de vida dos alarmes gerados. Vale salientar que os outros alarmes gerados pelo sistema de automação não são foco deste trabalho, mas são tratados diariamente pelo time de automação. Como base na ação gerada na análise de falha do princípio de incêndio ocorrido na Usina 7 de Pelotização em Vitória, foi nos solicitado pelo coordenador do COI (Centro de Operações Integradas) a real necessidade do tratamento dos alarmes críticos em nossa planta. Aproveitando a solicitação, resolvi realizar uma revisão na forma de programação destes alarmes dentro do sistema de automação onde não tínhamos um padrão de como expor a informação, reconhecimento pelo operador e padrão de programação nos PLCs da planta. Assim o trabalho possui a implementação nos PLCs e no sistema de supervisão.

No decorrer deste trabalho, será apresentada uma breve revisão bibliográfica do guia EEMUA191 e norma ISA 18.2, além de uma metodologia de gestão para ajudar na constante verificação dos alarmes de risco críticos que ocorrem diariamente na usina de Pelotização de Vargem Grande.

2 A PLANTA DE PELOTIZAÇÃO VARGEM GRANDE

O processo de Pelotização consiste no processo de aglomeração de finos de minério de ferro via processamento térmico a elevadas temperaturas (1300-1350°C), possibilitando:

- Aproveitamento econômico da fração de partículas ultrafinas (< 0,150 mm) gerada nas minas;
- Ajuste da qualidade química e física e agregação de valor às cargas metálicas de altos fornos e reatores de redução direta.

A Planta de Pelotização (PEL), localizada no complexo de Vargem Grande, município de Nova Lima, Minas Gerais, foi inaugurada em fevereiro de 2009 com capacidade de produção anual de 7,0 Mt/ano de pelotas para o mercado interno principalmente. A Figura 5 mostra a localização física no mapa do estado de Minas Gerais.

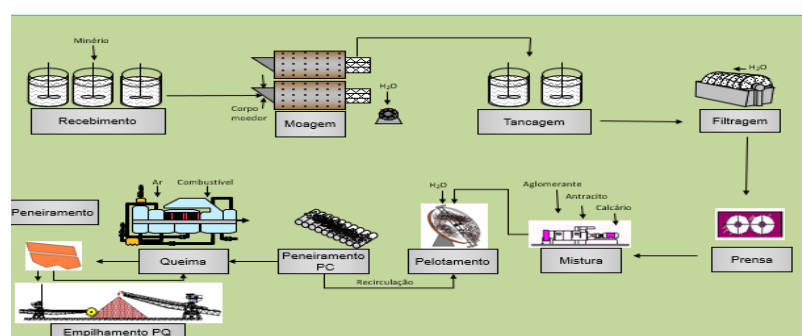
Figura 5 – Localização Pelotização Vargem Grande



Fonte: Vale (2010).

A Figura 6 mostra basicamente o fluxograma das etapas do processo de Pelotização empregadas nesta planta.

Figura 6 – Fluxograma Usina de Pelotização Vargem Grande.



Fonte: Vale (2010).

Nas usinas de Pelotização as etapas são divididas entre Área Fria (Preparação) e Área Quente (Pelota Queimada). Para operação destas etapas, existe um centro de controle de operação localizado no Centro de Operações Integradas (COI) de Vargem Grande, onde todas as plantas do Complexo de Vargem são operadas.

Operar de forma segura e eficaz a planta de Pelotização da Usina de Vargem Grande da Vale é de suma importância e um sistema de alarmes eficiente acaba por ser um indicador para a tomada de decisões pelos operadores da planta.

A Figura 7 mostra como é a categorização dos alarmes gerados pelo sistema de automação da Pelotização da Usina de Vargem Grande. Este trabalho atuou na seção representada pela ponta da pirâmide.

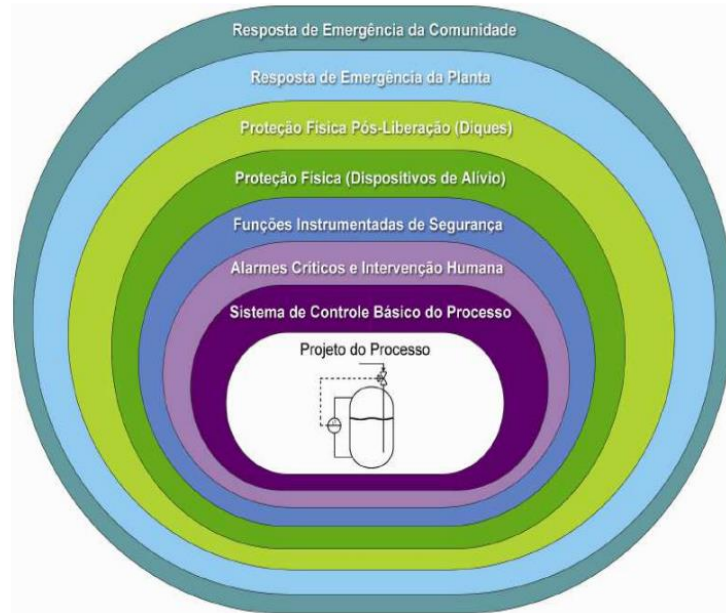
Figura 7 – Prioridade dos alarmes no sistema Supervisão WinCC v7.4 Siemens.



Fonte: O autor (2022).

Uma planta industrial possui camadas de proteção onde um alarme de risco crítico será definido. Entendendo que este é um alarme de segurança, deve este retirar a atenção do operador, prevenindo ou mitigando a potencialização de um acidente de processo. Por essa definição este tipo de alarme é considerado um alarme de risco crítico. A Figura 8 mostra as camadas de proteção no segmento industrial onde está o alarme de risco crítico.

Figura 8 – Camadas de proteção no segmento industrial.



Fonte: Alves (2007).

Uma condição indevida em um sistema de alarmes corrobora para um aumento da probabilidade de que a ocorrência de eventos importantes seja desconsiderada. Isto leva a acidentes e reduz a capacidade produtiva da planta já que o número de paradas e o tempo para retomada da produção tende a aumentar dada a dificuldade em identificar previamente problemas.

2.1 Arquitetura do Sistema de Supervisão e Controle

A planta de Pelotização de Vargem Grande possui 100% de seus acionamentos automatizados. A plataforma de automação utilizada é o PCS7 9.0 da Siemens, que é um Sistema de Controle Distribuído (DCS), sendo controlado por 12 CPUs de PLC modelo Siemens S7 410-5H. Este mesmo sistema é responsável por toda a consolidação, geração e evidenciação dos alarmes gerados na planta. A integração com os equipamentos de campo permite o monitoramento e envio das informações destes equipamentos para o sistema de supervisão onde o operador tem acesso a todas as informações relevantes do processo por meio de uma interface. O sistema de supervisão permite aquisição, armazenamento e análise em tempo real de todas as informações necessárias para operação do sistema da usina

- Relevância - informações irrelevantes ou espúrias devem ser ignoradas;
- Singularidade - o mesmo alarme não deve apresentar entradas duplicadas;
- Precisão - nenhum alarme deve ser apresentado com muita antecedência a sua resposta ou muito tarde para que a mesma seja executada;
- Importância - todo alarme deve possuir uma prioridade no tratamento;
- Clareza - suas informações e ações de resposta devem ser de fácil compreensão;
- Diagnóstico - todo alarme deve identificar o problema ocorrido;
- Consultivo - o conjunto de ações a serem tomadas deve estar disponível;
- Focado - apresentar somente as informações mais importantes para o correto funcionamento da planta naquele estado.

A fim de mantermos o sistema de alarmes em funcionamento da melhor forma, a (ANSI/ISA-18.2,2016), nos mostra a importância de seguir o fluxo de vida dos alarmes. Esta estrutura do ciclo de vida é composta de 10 estágios. A Figura 10 mostra o ciclo de vida de gerenciamento de alarmes.

Figura 10 – Ciclo de Vida do gerenciamento de alarmes.



Fonte: Adaptado de (ANSI/ISA, 2016).

- Filosofia: Documenta os objetivos do sistema de alarme e os processos de trabalho para cumprir esses objetivos.
- Identificação: Processos de trabalho que determinam quais os alarmes que são necessários.
- Racionalização: O processo de assegurar que um alarme cumpre os requisitos estabelecidos na filosofia do alarme, incluindo as tarefas de priorização, classificação, determinação de definições, e documentação.
- Projeto: O processo de concepção dos aspectos do alarme para que este cumpra os requisitos determinados na racionalização e na filosofia.
- Implementação: A concepção do alarme é colocada em estado operacional. Isto pode envolver a colocação em serviço, testes e atividades de formação.
- Operação: O alarme é funcional. Esta fase inclui formação de atualização, se necessário.
- Manutenção: O alarme não é funcional devido a atividades de teste ou reparação.
- Monitoramento e Avaliação: O desempenho do sistema de alarme é continuamente monitorado e reportado de acordo com os objetivos da filosofia do alarme.
- Gestão da Mudança: As alterações ao sistema de alarme seguem um processo definido.
- Auditoria: São realizadas revisões periódicas para manter a integridade do sistema de alarme e dos processos de trabalho de gestão de alarmes.

Estas definições foram usadas como guias para atuação nos indicadores do desempenho do sistema de alarmes de risco crítico da usina de Pelotização de Vargem Grande. Uma vez que para as normas todo anúncio é um alarme, a nossa priorização visou tratar apenas os alarmes de risco crítico. Este assunto apresenta necessidade de tratamento com mais afinco, pois este tipo de alarme é que direciona os operadores nas tomadas críticas de decisão.

2.3 Problemas em Sistemas de Alarmes

De acordo com ANSI/ISA 18.2 (2009), vários são os problemas em sistemas de alarme, não eximindo a usina de Pelotização de Vargem Grande deste contexto, sendo os mais comuns listados abaixo:

- Alarmes são gerados e ignorados pelo operador;
- Na ocorrência de alarmes, os operadores não sabem que ação executar;
- Distúrbios mínimos na planta geram muitos alarmes;
- A lista de alarmes está cheia, mesmo quando não há nada errado;
- Alguns alarmes estão presentes na lista de alarmes continuamente por longos períodos;
- Durante um distúrbio o operador é sinalizado com vários alarmes que ele não sabe como priorizar;

Alarmes intermitentes, contínuos e obsoletos interferem na habilidade do operador de detectar e responder apropriadamente a alarmes novos e significantes. Para esse tipo de problema, foram adotadas boas práticas de correção em sinais digitais e analógicos provenientes do campo a fim de tratar ruídos e pequenas variações que pudessem gerar os famosos “*bad actors*”. Esses agentes eram responsáveis pela maior ocorrência de alarmes de risco crítico em nosso sistema e tratando esses agentes, reduzimos significativamente o número de anúncio de alarmes.

Problemas como estes causam efeitos negativos que podem gerar atitudes indesejadas dos operadores conforme ocorreu na Usina 7 de Pelotização em Vitória.

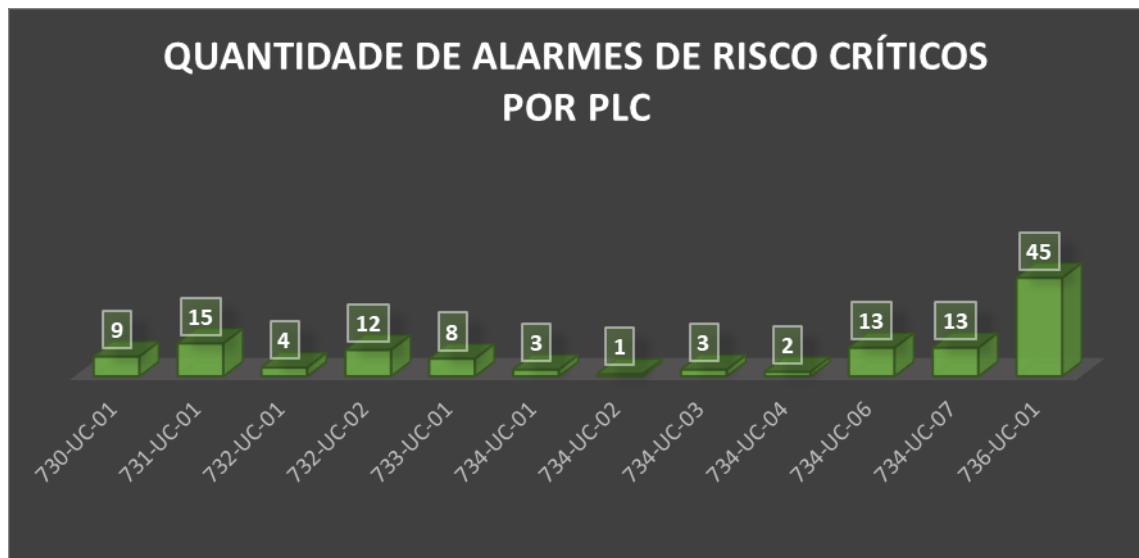
3 PROPOSTA DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ALARMES

3.1 Levantamento de dados e classificação

Os dados de alarmes levantados para este trabalho são providos da aplicação SGRS que armazena o banco de dados de alarmes e eventos do sistema de supervisão da pelotização de Vargem Grande. Esta aplicação foi desenvolvida internamente pelo time de automação a fim de manter um maior histórico de todos os alarmes gerados pelo sistema de supervisão.

O primeiro passo para o desenvolvimento deste trabalho começa com a solicitação de levantamento de todos os alarmes de risco críticos mapeados na planta pelo time de operação da usina. Este primeiro passo consiste em evidenciar todos os alarmes que possam ser gerados pelo sistema de supervisão programados dentro dos PLCs existentes na planta. Com este levantamento foi possível aplicar o primeiro passo de racionalização, uma vez que possuímos um número enorme de alarmes de risco críticos que atrapalhavam atuação dos operadores quando da atuação dos mesmos. A Figura 11 mostra a quantidade de alarmes de risco críticos levantados no início do trabalho.

Figura 11 – Gráfico da quantidade de Alarmes de Risco Críticos configurados por PLC em Maio/22.



Fonte: O autor (2022).

Com base nesse levantamento, iniciou-se processo de classificação dos alarmes a serem evidenciados. Nesta fase, as etapas de identificação e

racionalização identificam aqueles alarmes que atendem aos critérios de alarmes definidos na filosofia de alarmes de risco críticos, atribuindo prioridades de acordo com a necessidade.

Havia um total de 128 alarmes de risco críticos programados. Destes, em média 50% não faziam relevância a serem categorizados dessa forma, uma vez que estes casos não demandavam a atenção maior do operador e simplesmente eram ignorados. Faz sentido pensar que a quantidade de alarmes levantada é enorme, visto que se tratando de alarmes de risco críticos, estes possuem a maior prioridade na configuração de alarmes e tendem a prender o foco de um operador para atuação no evento quer for listado. Isto possibilita ao mesmo solicitar apoio dos times de campo para a resolução de um problema, bem como para prevenir ou mitigar um evento indesejado na planta.

Diante disso, foi realizado um estudo juntamente ao time de operação para categorizarmos quais alarmes deveriam ser expostos na categoria de risco críticos. O estudo inicial durou dois meses e teve como premissa básica identificar realmente qual alarme evidenciaria a condição de atuação do operador devido ser exaurido as possibilidades de o sistema de automação atuar para a correção do evento. Depois se utilizou da premissa de tratamento dos ativos categorizados dentro da empresa como Risco ao Negócio, onde estes foram levantados durante a fase de *Hazard Identification and Risk Analysis* (HIRA) finalizada no final de 2021 por um time multidisciplinar envolvendo especialistas em risco, engenheiros Vale e Técnicos com maior conhecimento do processo. Neste estudo detalhado, foram determinados parâmetros de funcionamento dos instrumentos e identificação de funcionamento dos processos visando classificar quais alarmes de risco críticos realmente deveria se manter na base dos PLCs.

3.2 Implementação da nova filosofia de programação

Uma importante atitude tomada no desenvolvimento desse trabalho se diz respeito à forma de como o tipo de alarmes de risco críticos eram desenvolvidos dentro das lógicas de programação dos PLCs. A quantidade de blocos de programação para ativar este tipo de alarme na tela de supervisão de operação era confusa, complexa e poderia ser resumida a apenas um bloco de programação que

executaria todas as particularidades identificadas para um determinado alarme de risco crítico a ser criado. Habilitação e desabilitação do alarme, identificação de qual lógica atua o mesmo, definição de tempo para atuação e reativação caso não tenha se normalizado são exemplos de condições que demandavam horas de programação do técnico de automação para exercer tais demandas.

Diante disso, foi identificado a necessidade de um projeto onde toda a parte de programação lógica para exibição do alarme de risco crítico seria executada dentro de apenas um único bloco de programação, encapsulando todas as funcionalidades existentes e acrescentando as demandas que não existiam.

A nova filosofia de programação foi baseada na construção de um novo bloco de programação dentro da lógica dos PLCs denominado *CritAlarm*. A implementação desse bloco foi desenvolvida a partir do bloco *Event* – FB1811 da biblioteca SIEMENS que possuía todas as funcionalidades que precisávamos para construir o bloco desejado para a funcionalidade de programação dos alarmes de risco críticos. A decisão de usar esse bloco foi porque o mesmo existe na versão do sistema de automação da Mina do Pico, que também é PCS7 da SIEMENS, e com isso a possibilidade de replicação do trabalho nesta planta é altamente viável.

O bloco *CritAlarm* foi criado com 16 entradas que correspondem à possibilidade de implementação de 16 alarmes de risco críticos. Caso seja necessário a criação de mais alarmes, basta apenas inserir um novo bloco conforme for o desejo. Este bloco possui duas estruturas para os alarmes que serão criados, sendo a quantidade de 8 entradas para cada estrutura interna denominada *MsgEvtId* (*Event ID* do bloco).

Foram implementadas proteções dentro do bloco para garantir que caso ocorra uma parada e partida do PLC não se gere alarmes falsos devida condição de trigger na partida do ativo. Esta proteção leva o nome de *RunUpCyc*. Além dessa proteção, outra proteção criada se diz respeito ao tempo que necessita que a condição de geração do alarme de risco crítico fique atuado, como se fosse a histerese deste. Estas proteções levam o nome de *Alarm Delay Time for signal transition 0 -> 1 (AlmOnDly)* e *Alarm Delay Time for signal transition 1 -> 0 (AlmOffDly)*. Outra proteção implementada habilita a condição de bloqueio de

mensagens em condições de manutenção para que alarmes de risco crítico não subam para o operador neste momento da manutenção em campo. O nome dessa proteção é *MsgLook*.

Outra condição implementada no bloco foi a possibilidade de exibir no texto do alarme de risco crítico no supervisório o valor em unidade de engenharia de um determinado alarme. Por exemplo “Emissão de Particulado maior que XXX”. Essa mudança foi muito intuitiva porque permitirá alterações de valores deste tipo de alarme muito mais rápidas. Foi implementada também a possibilidade de evidenciar que o operador na sala de controle está mesmo reconhecendo este tipo de alarme. Essa implementação foi solicitada a partir de análises de falha onde os operadores alegavam que não haviam reconhecido o alarme gerado na tela. Implementamos também a condição de tempo para que um alarme não reconhecido possa voltar a aparecer na tela do operador caso ele não reconheça o evento. Se o operador reconhecer o alarme, porém o evento ainda continuar ativo, foi criado a possibilidade de se temporizar essa condição para que o alarme volte a aparecer para o operador. Isso se faz necessário pois muitas das vezes o operador reconhece um alarme, mas o evento que gerou aquele alarme não foi solucionado pelos times de manutenção e/ou operação no campo.

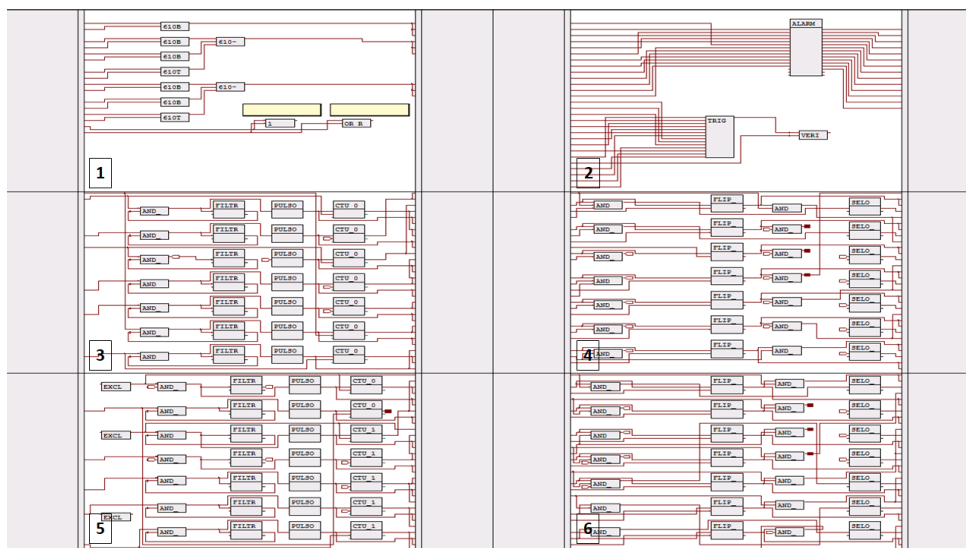
Como último ponto, foi criado uma funcionalidade denominada “supressão inteligente de alarmes” que permite definirmos condições para não ativação dos alarmes de risco críticos de determinado PLC por alguma condição pré-definida, por exemplo, parada de usina. Esta condição permite diminuirmos consideravelmente os famosos *bad-actors* dos bancos de alarmes e facilita no gerenciamento da planta não solicitando atenção do operador para falsos eventos.

A construção do bloco *CritAlarm* foi pensada de forma estruturada para garantir que o PLC consiga executar o mesmo sem se sobrecarregar devido ao número de blocos que possam existir.

Após a criação e substituição das lógicas que evidenciavam os alarmes de risco críticos na tela do sistema de supervisão, o que se pode notar foi uma lógica de programação mais limpa, de fácil entendimento e visualização. A Figura 12 mostra a tela do software de programação *Simatic Manager* com exemplo da lógica utilizada

anteriormente à implementação desse trabalho. Cada quadrado numerado corresponde a uma folha. Folhas 3 e 4 correspondem à lógica implementada para a exibição de apenas um alarme de risco crítico.

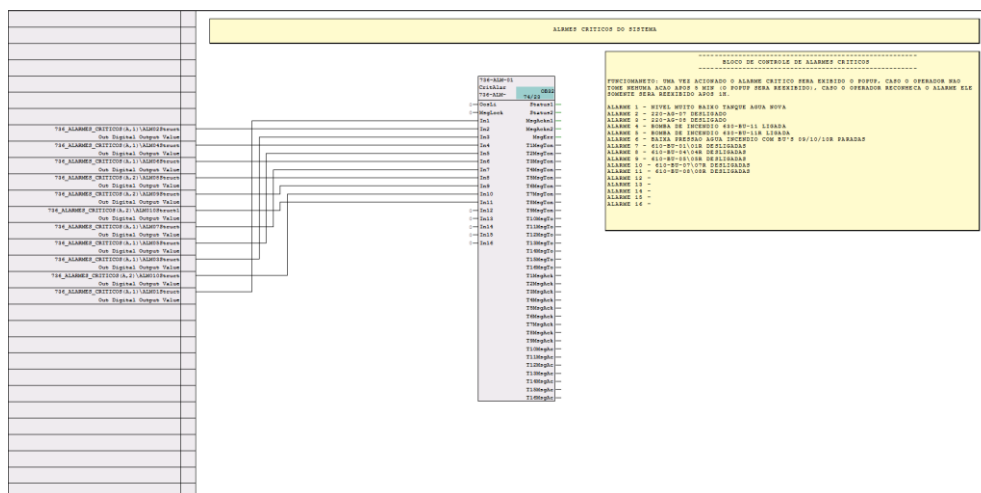
Figura 12 – Print antiga lógica de programação de alarmes de risco críticos.



Fonte: Vale (2022).

Já a Figura 13 vem mostrar um print com a lógica de programação de alarmes de risco críticos após a implementação deste trabalho. É possível notar o bloco *CritAlarm* sendo utilizado para enumerar todos os alarmes de risco críticos criados neste PLC em questão, o que evidencia uma programação muito mais prática e entendível.

Figura 13 – Print lógica de programação de alarmes de risco críticos após implementação deste trabalho.



Fonte: Vale (2022).

O maior impacto do desenvolvimento no PLC com o novo bloco *CritAlarm* foi a possibilidade de reclassificação de todos os alarmes de risco críticos existentes, bem como a padronização de processo de programação para cada novo alarme solicitado a partir da alteração. Essa padronização auxilia o programador na criação do alarme onde a tarefa de criação pode ser executada com menor tempo possível e maior garantia de confiabilidade do trabalho desenvolvido.

3.3 Implementação no sistema de supervisão

O alarme e a ação humana são considerados uma camada de proteção normalmente utilizada. O alarme alertará o operador para tomar ação e evitar a consequência indesejada de um determinado evento. Sendo assim, a implementação de uma janela no sistema de supervisão que possibilite uma identificação rápida do problema para a atuação do operador é de suma importância para a operação do processo seja ele qual for.

No sistema de supervisão da usina de Pelotização de Vargem Grande já existia uma janela ou um conceito mais conhecido neste local (*pop-up*) para a exibição dos alarmes de risco críticos que atuavam na planta. Um conceito básico implementado anteriormente não levava em consideração a condição de solicitação de reconhecimento de um alarme caso ocorresse determinado evento.

A filosofia implementada no passado consistia em que quando um alarme de risco crítico fosse sinalizado no *pop-up* padrão, este era reconhecido automaticamente quando o evento que gerou o alarme fosse normalizado. Caso isso não ocorresse, o *pop-up* ficava sobre a tela de operação da usina por exatos 30 segundos e possibilitando a condição de arraste deste *pop-up* para qualquer posição da tela. Este evento não normalizado voltaria a chamar a tela de *pop-up* 2 minutos depois do evento não ser normalizado e por assim iria até a normalização.

Porém, muitas das vezes, como não era necessário ao operador reconhecer o alarme de risco crítico que era gerado, esse alarme permanecia por horas sendo ativado sem resolução do evento. Esta modificação foi implementada para o novo *pop-up* onde atualmente para todo e qualquer alarme de risco crítico gerado na tela de operação da usina é obrigatório o reconhecimento do operador. Essa ação se fez necessária para garantir que todo operador identificasse que um evento não

desejável ocorreu e este tipo de evento foi classificado como crítico demandando a ação dele e possibilitando que o mesmo reconhecesse quando da normalização do evento.

Com a alteração realizada na programação no PLC, a exibição do alarme de risco crítico no sistema de supervisão ficou muito mais otimizada. A Figura 14 mostra um exemplo do *pop-up* de alarmes de risco críticos gerada no sistema de supervisão após um evento.

Figura 14 – Novo *pop-up* de alarmes de risco críticos.



Fonte: Vale (2022).

No *pop-up* gerado foram inseridas apenas as informações mais importantes para a identificação de um alarme de risco crítico que são:

- data da ocorrência;
- horário da ocorrência;
- descrição do evento gerador do alarme;
- botão de reconhecimento do alarme.

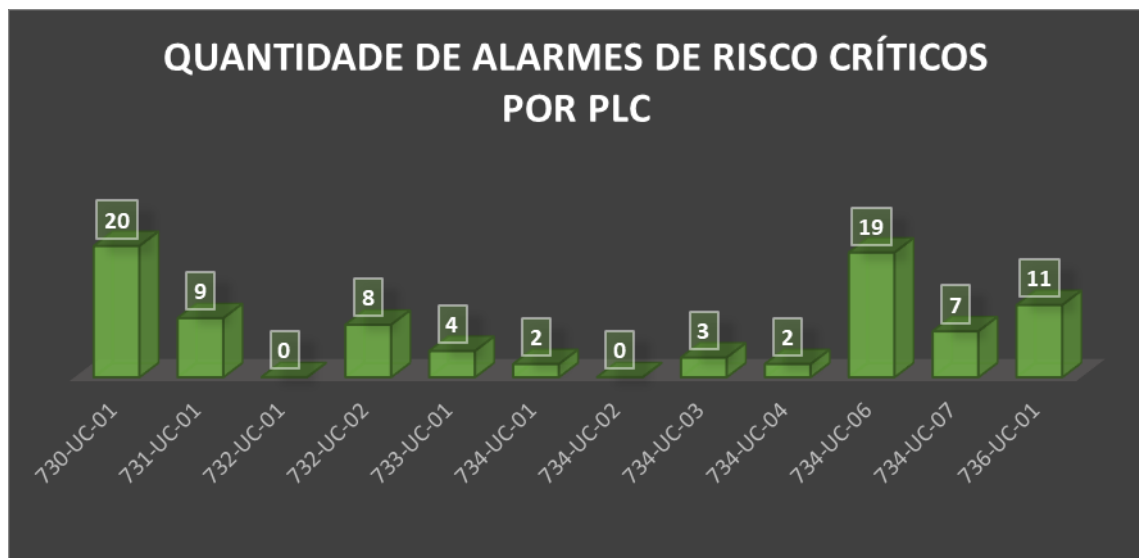
A partir dessas informações é possível identificar facilmente qual alarme gerado e como atuar. Durante treinamento do time de operação, foram informadas as atuações que o mesmo deveria ter quando da atuação de um alarme de risco crítico, bem como da orientação de tratamento rápido para mitigar o evento. O novo *pop-up* não possui mensagens fixas como na versão anterior permitindo que novos alarmes de risco críticos sejam criados sem que seja necessário aumentar o tamanho da mesma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa serão exibidos os resultados colhidos após a implementação do trabalho de gerenciamento de alarmes de risco críticos adotado na usina de Pelotização de Vargem Grande.

Com a implementação, na fase de levantamento dos alarmes existentes o resultado obtido foi uma redução de 128 para 62 alarmes de risco crítico dos que já existiam no sistema. Além disso, com base no resultado do estudo de HIRA, foram criados 23 novos alarmes de risco críticos para atender a essa demanda de risco do negócio. Em termos finais, uma redução de 34% do número desse tipo de alarme, quantidade significativa para o tamanho do processo envolvido. Assim, a nova visão de alarmes programados nos PLCs da planta ficou como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Quantidade de Alarmes de Risco Críticos configurados por PLC após racionalização e estudo detalhado.



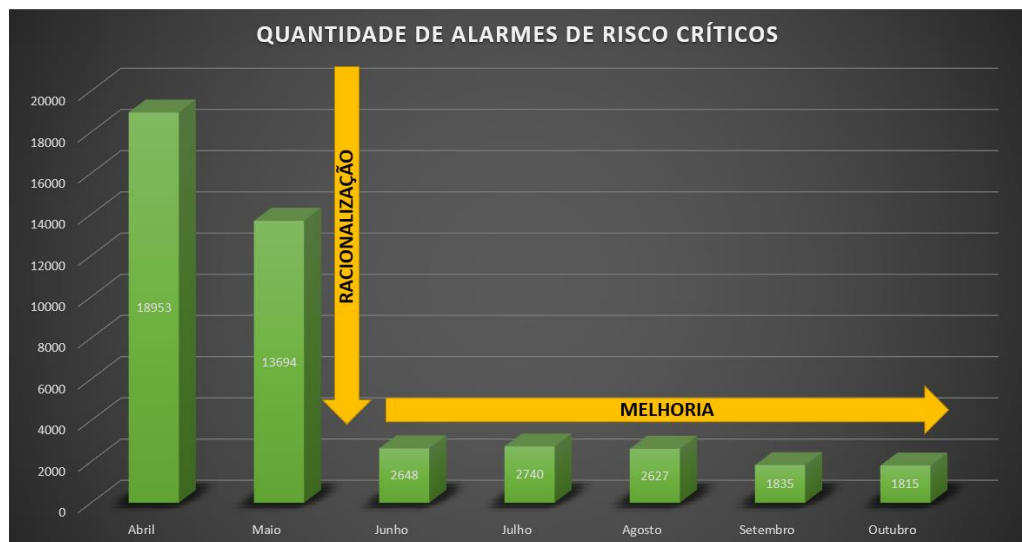
Fonte: O autor (2022).

O estudo também foi utilizado para o início da tratativa de redução da incidência de alarmes de risco críticos no processo. Tratar a avalanche de alarmes gerada pelo sistema devido o processo de operação e/ou manutenção estarem desajustados. Uma avalanche de alarmes tende a mostrar que várias anomalias estão ocorrendo simultaneamente. Essa avalanche é um momento tenso para o

operador, pois este precisa decidir qual atuação terá para normalizar o processo para a condição normal ou para evitar maiores danos. Normalmente a maior parte dos alarmes é gerado por um número menor de alarmes, denominados como bad actors. A alteração da configuração desses alarmes pode identificar uma melhora significativa no sistema de alarmes.

Durante cinco meses foram levantados os resultados, através da coleta de dados, sempre priorizando os mais frequentes. Observamos uma redução significativa no volume de alarmes, mostrando ao operador somente o real alarme e dando credibilidade ao sistema. O volume de alarmes caiu durante os cinco meses após a racionalização no sistema de automação conforme Figura 16.

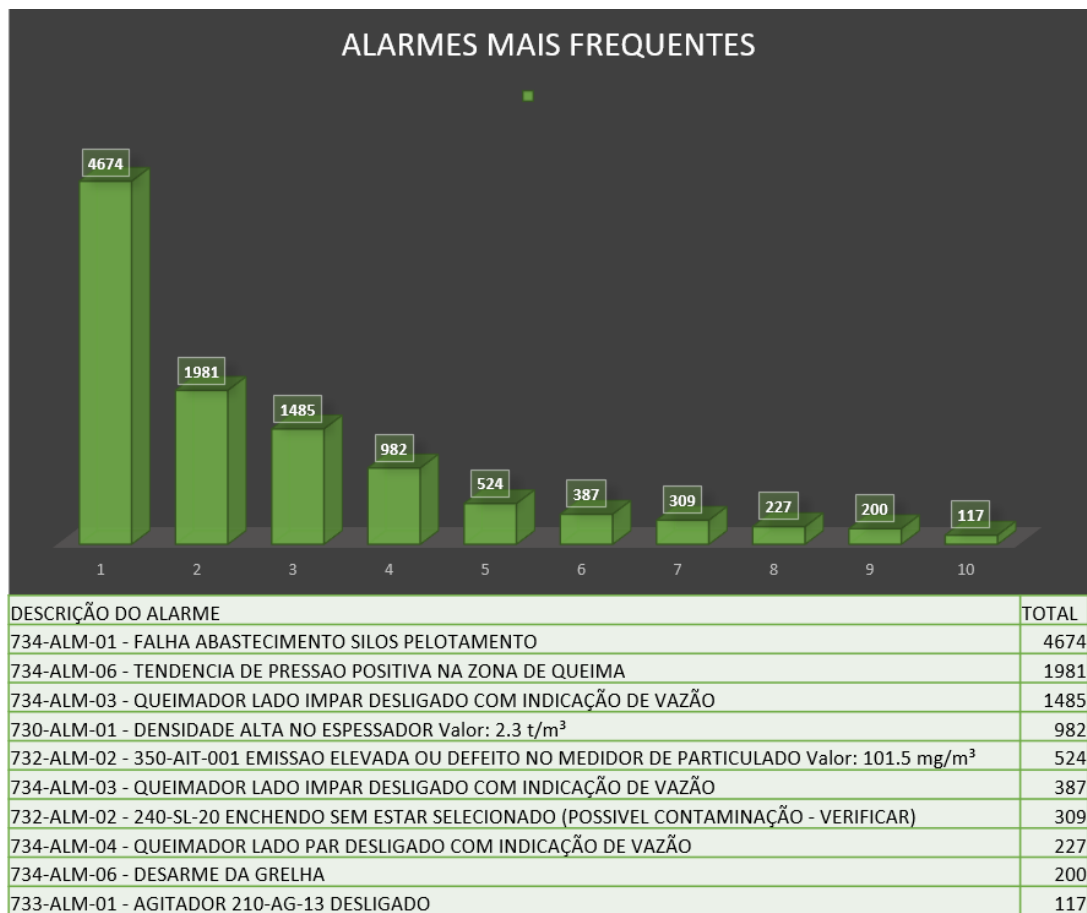
Figura 16 – Quantidade de alarmes de risco críticos nos meses de análise



Fonte: O autor (2022).

A Figura 17 mostra os alarmes mais frequentes e demonstra também, que após a análise e correção dos mesmos, alcançamos ganhos na redução desse tipo de alarme de risco crítico.

Figura 17 – Relatório de alarmes de risco crítico mais frequentes – Top 10



Fonte: O autor (2022).

Após a implementação do trabalho, seguindo a EEMUA 191, obtivemos uma considerável redução na média de alarmes de risco crítico gerados por dia durante a fase de análise. A Figura 18 mostra o histórico e situação atual comparada a norma.

Figura 18 – Diagnóstico da implantação do trabalho

Índice	EEMUA	Qtde Antes	Qtde Depois	%Redução
Quantidade média de alarmes/dia	150	544	78	85

Fonte: O autor (2022).

Os resultados encontrados mostram que as alterações realizadas no sistema de automação foram satisfatórias, onde foi possível diminuir uma quantidade de alarmes gerados para o operador. Dessa forma, o mesmo consegue ter tempo para tratar corretamente cada alarme, gerando ganhos em produção, segurança e uma maior eficiência operacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado uma metodologia para o gerenciamento de alarmes de risco críticos em um estudo de caso na usina de Pelotização de Vargem Grande e foram utilizados como *guideline* as normas ISA 18.2 e EEMUA 191.

Com base nos resultados obtidos, a metodologia adotada se mostrou eficiente para alcançar o que foi proposto como objetivo no início deste trabalho e reportado para o time do COI, bem como para toda a diretoria de Pelotização como conclusão da ação: Estabelecer processo de racionalização dos alarmes críticos no sistema supervisão, visando atendimento à análise de falha do acidente ocorrido na usina 7 de Pelotização em Vitória em Agosto de 2021.

As ações realizadas durante a implementação deste trabalho melhoraram o desempenho do sistema, porém algumas melhorias ainda podem ser realizadas, tais como:

- Analisar alarmes com base em picos, médias temporárias e prioridades;
- Implementar técnicas para correlacionar alarmes pois nos casos de avalanche de alarmes a maior parte deles estão relacionados;
- Implementar análises avançadas com base em dados para entender um alarme de risco crítico e tratá-lo antes de gerar evento, racionalizando-se ainda mais estes alarmes.

Gerenciar alarmes é um processo rotineiro e requer melhorias diárias para que o operador possa operar da forma mais segura possível. Sempre vamos ter que auditar nosso processo de gerenciamento de alarmes, visando prevenir e mitigar riscos operacionais e até pessoais. Por isso, uma boa gestão dos alarmes irá reduzir a possibilidade de falha humana e assim melhorar a prevenção de grandes acidentes. Em uma discussão de construção de um documento para balizar a gestão de alarmes na empresa foi dito que racionalizar não é somente diminuir o número de alarmes, mas também é gerar um determinado alarme na hora certa.

REFERENCIAS

ANSI/ISA-18.2. (2016). **Management of Alarm Systems for the Process Industries.**

ALVES, C. L. **Uma Aplicação da técnica de Análise de Camadas de Proteção (LOPA) na Avaliação de Risco de Incêndios nas Rotas de Cabos de Desligamento de Um reator Nuclear.** COPPE/UFRJ, 2007. Disponível em: <http://www.con.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2007/dissertacao_camille_alves.pdf>. Acesso em 15 out 2022.

ARAÚJO, Estevão Veloso. **Gerenciamento de alarmes em plantas industriais: Conceito, normas e estudo de caso em um forno de reaquecimento de blocos.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BRANSBY, M. L. **Best Practice in Alarm Management, The Institution of Eletrical Engineers,** 2000

EEMUA, 2007 Engineering Equipment Materials Users' Association. **Alarm Systems A Guide to Design, Management and Procurement.** EEMUA Publication 191, second edition, London, 2007.

EEMUA. (2013). **Alarm Systems a Guide to Design, Management and Procurement, Relatório Técnico 191.** The Engineering and Materials Users Association.

HOLLIFIELD, Bill. **Understanding and Applying the ANSI/ISA 18.2 Alarm Management Standard.** 2010.

HOLLIFIELD, B. R., HABIBI, E. **Alarm Systems Greatly Affect Offshore Facilities Amid High Oil Prices,** World Oil Magazine 227(9), 2006.

LEITÃO, Gustavo Bezerra Paz. **Algoritmos para análise de alarmes em Processos Petroquímicos.** 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.