

HUMBERTO ANTÔNIO BALLESTER KRAEMER

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E DE
ANÁLISE DE RISCOS NO GERENCIAMENTO DE FOGO E
EXPLOSÃO EM PROJETO DE PROCESSAMENTO DE POEIRAS
COMBUSTÍVEIS**

São Paulo

2011

HUMBERTO ANTÔNIO BALLESTER KRAEMER

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E DE
ANÁLISE DE RISCOS NO GERENCIAMENTO DE FOGO E
EXPLOSÃO EM PROJETO DE PROCESSAMENTO DE POEIRAS
COMBUSTÍVEIS**

Monografia apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de
Especialista em Engenharia
de Segurança do Trabalho.

São Paulo

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Kraemer, Humberto Antônio Ballester

Aplicação de técnicas de identificação de perigos e de análise de riscos no gerenciamento de fogo e explosão em projeto de processamento de poeiras combustíveis / H.A.B. Kraemer. -- São Paulo, 2011.

p. 91

Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Riscos ocupacionais 2.Análise de risco (Técnicas) 3.Carvão (Reaproveitamento) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Patrícia por estar ao meu lado nos momentos
mais difíceis desta jornada.

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de aplicar técnicas de identificação de perigos e análise de riscos na fase de projeto conceitual para uma modificação na área de moagem de carvão em uma fábrica de cimento. A modificação consiste em um sistema de reaproveitamento dos rejeitos gerados na moagem de carvão. Foi desenvolvida uma metodologia com base nas práticas da indústria de processos para condução de um estudo de riscos de processo. A metodologia empregada compreendeu o levantamento de informações disponíveis do projeto, das características do material manuseado, a seleção de uma técnica de identificação de perigos e a elaboração de uma matriz de risco com critérios de tolerabilidade. O estudo foi realizado por uma equipe multidisciplinar constituída por representantes dos setores de projetos, operação, manutenção e segurança do trabalho. Foram selecionadas as técnicas check-list e What-If. A aplicação das técnicas foi precedida por treinamentos em explosão de poeiras e técnicas de identificação de perigos e atividades de preparação para as análises, como a elaboração de check-list e pesquisa de padrões da indústria. O estudo resultou em 61 recomendações para as etapas seguintes do projeto que abordaram cenários de explosão e seus controles. Também foram recomendadas medidas administrativas para a fase operacional do projeto, assim como para o gerenciamento de mudanças, manutenção e inspeção.

Palavras-chave: Riscos ocupacionais, Análise de riscos (técnicas), Carvão (reaproveitamento).

ABSTRACT

This study is designed to apply process hazard analysis techniques in the conceptual design phase of a modification in the grinding area of coals in a cement factory. This modification involves the reuse of rejected coals produced from mills. This method was adopted based on practical industrial standards to conduct a process hazard analysis. This method was applied and understood after obtaining available information from the project on handling material, selection of a hazard identification technique, construction of a risk matrix with tolerable criteria. This study was performed by a team composed of engineering, operational, maintenance and safety personnel. The selected techniques were check-list and What-If. Before starting the studies was prepared a check-list, researched industries standards and applied training about dust explosions and hazard identification techniques. The technical application resulted in 61 recommendations to the following phase of the project. The main recommendations were related to protection against explosions. Also managerial recommendations as a management of changes, inspection and maintenance procedures were appointed.

Keywords: Safety, Risk analysis, Coal (waste reuse)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Pilha de rejeito de moagem de carvão	14
Figura 1.2 – Fluxograma simplificado da modificação no sistema de moagem	14
Figura 2.1 – Exemplos de palavras guias, significados e desvios para <i>HAZOP</i>	27
Figura 2.2 – Uso típico das técnicas de identificação de perigos	30
Figura 2.3 – Exemplo de matriz de risco	32
Figura 2.4 – Análise da frequência de acidentes com poeiras nos EUA	37
Figura 2.5 – Instalações da West Pharmaceutical.....	38
Figura 2.6 – Área de produção após explosão - CTA Acoustics.....	39
Figura 2.7 – Incêndio após as explosões de pó de alumínio - Hayes Lemmerz.....	40
Figura 2.8 – Fábrica da Imperial Sugar após explosão de poeira.....	40
Figura 2.9 – Pentágono das explosões de poeiras combustíveis.....	41
Figura 2.10 – Bola de fogo ou <i>Flash Fire</i> de poeira.....	42
Figura 2.11 – Local enclausurado após explosão de poeira.....	43
Figura 2.12 – Limites de explosividade para uma poeira orgânica.....	44
Figura 2.13 – Relação da superfície específica com o incremento da pressão	47
Figura 2.14 – Painel de alívio antes e após explosão	53
Figura 2.15 – Relação da pressão com tempo para alívio de pressão.....	54
Figura 2.16 – Válvula rotativa	55
Figura 2.17 – Poeira depositada no interior de duto.....	56
Figura 2.18 – Temperatura de autoignição e espessura do pó depositado.....	56
Figura 2.19 – Eventos potenciais de fogo e explosão em silos	57
Figura 3.1 – Etapas macro para efetuar um estudo de riscos	62
Figura 3.2 – Atividades para estudo de riscos.....	63

Figura 3.3 – Matriz para seleção de técnica de identificação de perigos	66
Figura 3.4 – Nível de frequências	67
Figura 3.5 – Severidade das consequências	68
Figura 3.6 – Matriz de risco	68
Figura 3.7 – Critérios de tolerabilidade	68
Figura 3.8 – Conteúdo dos treinamentos pré-estudo	69
Figura 3.9 – Composição da equipe	71
Figura 3.10 – Cronograma do estudo de riscos	72
Figura 3.11 – Modelo de <i>check-list</i>	73
Figura 3.12 – Modelo de planilha de <i>What-If</i>	74
Figura 3.13 – Programação de atividades do estudo de risco	75
Figura 4.1 – Distribuição de recomendações por risco associado	77
Figura 4.2 – Resultados do estudo de risco	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Explosões catastróficas de poeiras combustíveis.....	17
Tabela 2.1 – Resumo da técnica Revisão de Segurança	22
Tabela 2.2 – Tempos estimados para Revisão de Segurança.....	22
Tabela 2.3 – Resumo da técnica <i>Check-list</i>	23
Tabela 2.4 – Tempos estimados para <i>Check-list</i>	23
Tabela 2.5 – Resumo da técnica APP.....	24
Tabela 2.6 – Tempos estimados para APP.....	25
Tabela 2.7 – Resumo da técnica <i>What-If</i>	26
Tabela 2.8 – Tempos estimados para <i>What-If</i>	26
Tabela 2.9 – Resumo da técnica <i>HAZOP</i>	28
Tabela 2.10 – Tempos estimados para <i>HAZOP</i>	28
Tabela 2.11 – Fatores de seleção de técnicas de identificação de perigos.....	30
Tabela 2.12 – Responsabilidades da equipe de estudo de riscos	35
Tabela 2.13 – Documentos usuais em estudos de identificação de perigos.....	36
Tabela 2.14 – Procedimento para <i>What-If</i>	36
Tabela 2.15 – Percentual de explosões por tipo de combustível.....	38
Tabela 2.16 – Principais fontes de ignição de eventos com poeiras combustíveis...45	
Tabela 2.17 – Classe de explosividade de poeiras combustíveis.....	46
Tabela 2.18 – Testes para caracterização de poeiras	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
AIChE	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
ALARP	<i>As Low as Reasonable Practicable</i>
ARP	Análise de Riscos de Processo
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
CEP	<i>Chemical Engineering Progress</i>
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CSB	<i>Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
E.U.A.	Estados Unidos da América
Ex	Exemplo
FMG	<i>Factory Mutual Global</i>
h	Hora
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
LOC	<i>Limiting Oxygen Concentration</i>
MEC	<i>Minimum Explosible Concentration</i>
min	Minutos
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PI&D	<i>Pipe & Instrumentation Drawings</i>
PPR	Programa de Proteção Respiratória
TWA	<i>Time Weighted Average</i>
U.S.A	<i>United States of America</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

°	- Grau
mm	- milímetro
%	- Porcentagem
cm	- Centímetro
m	- metro
mg/cm ³	- Miligrama por centímetro cúbico
>	- Sinal de Maior
<	- Sinal de Menor
mJ	- Milijoule
t/h	- Toneladas por hora
t	- Toneladas
m ³ /h	- Metros cúbicos por hora
g/m ³	- Gramas por metro cúbico
m ² /g	- Metro quadrado por grama
μm	- Micrometro
Ω	- Ohm
s	- Constante dielétrica
cal/g	- Caloria por grama

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E ANÁLISE DE RISCOS	19
2.1.1	Estudos de riscos no ciclo de vida de um empreendimento	20
2.1.2	Descrição das técnicas mais comuns de identificação de perigos	20
2.1.2.1	Revisão de segurança	21
2.1.2.2	Check-list	22
2.1.2.3	Análise Preliminar de Perigos	24
2.1.2.4	What-If	25
2.1.2.5	Perigos e Operabilidade	26
2.1.3	Fatores para Seleção de técnica de identificação de perigos	28
2.1.4	Análise qualitativa de risco	30
2.1.5	Caraterísticas da equipe de estudo	33
2.1.6	Procedimento geral de uma técnica de identificação de perigos	34
2.2	EXPLOSÃO DE POEIRAS	37
2.2.1	Princípios básicos de explosões de poeira	41
2.2.2	Caracterização de poeiras	43
2.2.2.1	Concentração mínima de explosividade	44
2.2.2.2	Concentração limite de oxigênio	44
2.2.2.3	Energia mínima de ignição	45
2.2.2.4	Índice de deflagração e pressão máxima	45
2.2.2.5	Superfície específica	46
2.2.2.6	Outras propriedades	47
2.2.3	Prevenção e proteção contra explosões de poeiras	47
2.2.3.1	Medidas de prevenção	48
2.2.3.2	Medidas de proteção	51
2.2.4	Ignição de poeira depositada	55
2.2.5	Perigos específicos de equipamentos	57

2.2.5.1	Transportadores de correia.....	57
2.2.5.2	Elevadores de caçambas.....	58
2.2.5.3	Silos.....	58
2.2.5.4	Coletores de poeira.....	59
2.2.5.4	Classificadores.....	59
2.3	PADRÕES DE PREVENÇÃO DE EXPLOSÃO DE POEIRAS	59
3	METODOLOGIA	61
3.1	ASPECTOS METODOLOGICOS	61
3.2	MÉTODO	62
3.2.1	Preparação técnica	62
3.2.1.1	Informações do projeto e documentação técnica	62
3.2.1.2	Caracterização do rejeito de moagem	64
3.2.1.3	Identificação de práticas de engenharia reconhecidas	64
3.2.1.4	Seleção da técnica de identificação de perigos	65
3.2.1.5	Elaboração de matriz de risco e critérios de tolerabilidade	67
3.2.1.6	Elaboração de treinamentos técnicos	69
3.2.2	Preparação administrativa	70
3.2.2.1	Recursos disponíveis	70
3.2.2.2	Composição da equipe	70
3.2.2.3	Cronograma	70
3.2.2.4	Preparação da infraestrutura	71
3.2.3	Realização do estudo	72
3.2.3.1	Preparação do check-list	72
3.2.3.2	Premissas e hipóteses	73
3.2.3.3	Desenvolvimento do estudo de riscos	74
4	RESULTADOS.....	76
4.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	77
4.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	85
5	CONCLUSÕES	88
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88

REFERÊNCIAS

APÊNDICE A – CHECK-LIST

APÊNDICE B – WHAT - IF

ANEXO 1 – DESCRITIVO DA MODIFICAÇÃO

ANEXO 2 – FLUXOGRAMA

ANEXO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

1. INTRODUÇÃO

Esta monografia visa analisar a aplicação de técnicas de identificação de perigos e análise de riscos de processo em um projeto envolvendo o manuseio de sólidos combustíveis em uma fábrica de produção de cimento. A partir de uma fundamentação teórica na literatura de análise de riscos de processo, poeiras combustíveis e normas técnicas relacionadas às melhores práticas da indústria, se pretende estabelecer uma metodologia envolvendo a seleção de técnicas de identificação de perigos, desenvolvimento de uma matriz de risco com critérios de tolerabilidade e, por fim, regras e procedimentos de condução dos estudos por uma equipe multidisciplinar.

A metodologia desenvolvida será aplicada em um projeto para modificação no sistema de moagem de carvão de uma fábrica de cimento. A modificação visa o reaproveitamento de rejeitos de moagem de carvão que ainda possuem poder calorífico e que são gerados na proporção de 10 a 15% em relação à produção de finos dos moinhos. Na Figura 1.1, pode-se visualizar o rejeito gerado formando uma pilha ao lado de um moinho.

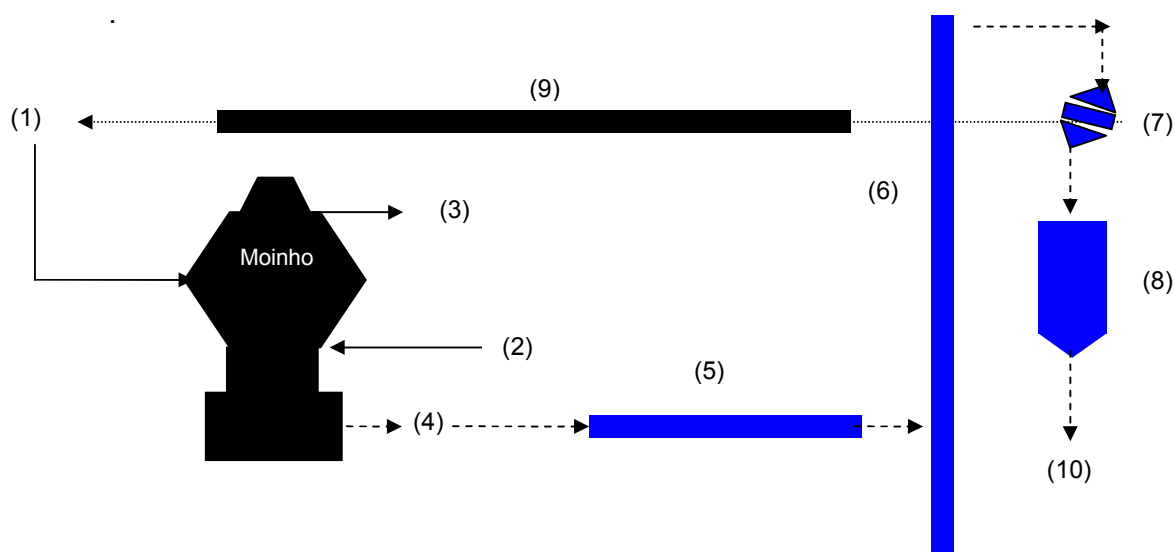
A modificação proposta é constituída pela introdução de um novo circuito para o material, incluindo o seu transporte horizontal por correia transportadora, a sua elevação por elevador de caçambas, separação das frações granulométricas de interesse por peneiramento, estocagem e retorno para a moagem. Na Figura 1.2 é apresentado um fluxograma simplificado para a modificação proposta.

As recomendações originadas nos estudos de identificação de perigos e análise de riscos com relação aos cenários de explosão, incêndio de poeira combustível e outros serão hierarquizadas de acordo com o risco analisado e avaliado em cada caso e devem ser incorporadas às próximas fases do projeto.



Figura 1.1 – Pilha de rejeito de moagem de carvão

Fonte: Arquivo do autor



1. Entrada do mix de carvão (3 a 30 t/h)
2. Entrada de gás do forno (84.000 m³/h; 300 °C)
3. Retirada de pó sistema por exaustão (7 a 15 t/h)
4. Retirada de rejeitos da moagem
5. Transporte por correia do rejeito
6. Transporte por elevador de canecos do rejeito
7. Peneiramento
8. Silagem para retido
9. Retorno para moagem de material passante (correia transportadora)
10. Retirada de material retido (caçambas / caminhão)

	Equipamentos existentes
	Equipamentos novos

Figura 1.2 – Fluxograma simplificado da modificação no sistema de moagem.

Fonte: Arquivo do autor.

1.1. OBJETIVO

Obter um projeto de processo seguro e operacional que possibilite a manutenção da integridade física das pessoas e das instalações via aplicação de técnicas de identificação de perigos e análise de riscos na fase de projeto conceitual de uma modificação no sistema de reaproveitamento dos rejeitos da moagem de carvão em uma fábrica de cimento.

1.2. JUSTIFICATIVA

Esta monografia se justifica por dois fatores principais, o pouco uso de técnicas estruturadas de identificação de perigos e análise de riscos no segmento industrial do cimento e por um notório aumento nos acidentes de explosão e incêndio nas indústrias que manipulam poeiras combustíveis. Estes dois aspectos são apresentados a seguir.

1.2.1. Usos de técnicas de gestão de riscos

No Brasil, a aplicação de metodologias de gestão de risco, incluindo o uso de técnicas de identificação de perigos e análise de riscos, tem aumentado nos últimos anos. Parte deste incremento é devido a requisitos de licenciamento ambiental às indústrias que manuseiam produtos perigosos e outra porque este tipo de ferramenta de gestão está em processo de incorporação à cultura de alguns segmentos industriais como a indústria química e a petroquímica.

Os acidentes industriais ocorridos a partir da década de 70, no século XX, foram decisivos para influenciar a indústria, governo e sociedade quanto à necessidade de se estabelecer mecanismos para prevenção destes episódios catastróficos. Assim, metodologias de gestão de riscos, que já eram utilizadas nas indústrias bélica e aeroespacial, foram assimiladas pela indústria química e petroquímica dando origem a elementos de sistemas de gestão de segurança de processo como análise de riscos de processos (ARP), gerenciamento de mudanças, informações de segurança de processos, atendimento emergencial, entre outros. No ano de 1992, a OSHA tornou obrigatória a adoção de um sistema de gerenciamento de riscos de processo para indústrias que manipulavam

substâncias altamente perigosas. Na Europa, as diretivas de Seveso I e II e a diretiva nº 174, Acidentes Industriais Ampliados da OIT, também estabeleceram uma série de medidas e controles que a indústria deveria adotar para prevenir os acidentes industriais.

Instituições como o IBAMA no Brasil, e os Órgãos Ambientais nos Estados, estão à frente deste processo regulatório a mais de vinte anos, incluindo a temática de análise de riscos e programas de gestão de riscos nos requisitos obrigatórios para licenciamento ambiental, forçando, desta maneira, que as empresas considerem estes elementos de gestão e suas técnicas na fase de projeto, durante a vida útil e na desativação de um empreendimento.

Entretanto, apesar destas exigências, as técnicas de identificação de perigos e análise de riscos não são amplamente adotadas pela indústria em geral. Existem muitas motivações para que isso ocorra. Uma delas é que, se excetuando as indústrias químicas, petroquímicas, bélica e nuclear, não há uma cultura de segurança de processo fortemente estabelecida em outros segmentos industriais. Muitas vezes, as organizações não percebem a necessidade de implantar elementos de gestão de segurança de processo, visto que não manipulam substâncias perigosas e, na sua visão, não seriam capazes de gerar eventos acidentais de monta como explosões, vazamentos tóxicos ou até mesmo grandes incêndios. Outro fator é que os requerimentos e conceitos destes sistemas são de difícil entendimento e aplicação, e ainda, envolvem a disponibilização de recursos nem sempre presentes, como conhecimento e habilidade das pessoas, investimento de tempo de equipes multidisciplinares e contratação de especialistas.

Este cenário de pouco uso de técnicas de análise de risco e sistemas de gestão de segurança de processos resulta em projetos de processos produtivos e instalações que podem conter perigos e riscos não identificados ou não compreendidos na sua totalidade e, por isso, não gerenciados. O uso de técnicas e métodos de identificação de perigos e de análise de riscos proporciona que se conheça a fundo o processo ou o projeto de processo, as substâncias químicas e energias envolvidas, os prováveis mecanismos e condições que podem levar a um acidente e as possíveis perdas que podem ocorrer. Somente assim, é possível propor as medidas para controlar ou mitigar os riscos dos processos e instalações.

1.2.2. Aumento do número de explosões envolvendo poeiras combustíveis

Na primeira década do século XXI, é notória uma mudança no perfil de acidentes na indústria nos E.U.A. Ocorreram uma série de explosões catastróficas que não envolveram gases ou líquidos inflamáveis; nem tão pouco, relacionavam-se com material radioativo ou com a indústria de armamentos, mas sim com poeiras combustíveis.

Dados do *Chemical Safety and Hazard Investigation Board* (CSB) apontam em seu estudo sobre poeiras combustíveis de 2006, que entre 1980 e 2005 ocorreram 281 incêndios e explosões relacionadas a poeiras combustíveis, resultando em 119 mortos e 718 feridos. Na tabela 1.1 a seguir, pode-se visualizar alguns acidentes catastróficos recentes de explosão com poeiras combustíveis nos E.U.A. Até o ano de 2009, ocorreram mais 80 eventos. Segundo o estudo, as principais falhas foram não seguir as boas práticas de engenharia e deficiências na gestão de segurança de processos, visto que os riscos de explosão de poeiras combustíveis não foram identificados corretamente e quando o foram, a sua avaliação foi subestimada.

Tabela 1.1 – Explosões catastróficas de poeiras combustíveis

ANO	INSTALAÇÃO	POEIRA	FATALIDADES
1999	Fundição – ferro fundido	Resina fenólica	3
2002	Reciclagem de borracha	Resíduo de moagem de pneus	5
2003	Embalagem de medicamentos	Polietileno	6
2003	Fibra de vidro		7
2003	Fundição de rodas automotivas	Pó de alumínio	1
2008	Refinaria de açúcar	Açúcar	14

Fonte: Combustible Dust Hazard Study, CSB, 2006.

Ainda, segundo o estudo do CSB, também contribuiu para a ocorrência das explosões a ausência de uma regulação específica para poeiras combustíveis, o que levou a uma fiscalização genérica sobre este perigo, utilizando-se regulações que tratam de forma tangencial o tema de poeiras combustíveis. Dados de

notificações emitidas pela OSHA geralmente recaem em limpeza e arrumação e padrões de segurança elétrica. Outro ponto é o despreparo de profissionais de segurança como bombeiros e fiscais em identificar o perigo de poeiras combustíveis durante suas fiscalizações.

Em face deste cenário, as metodologias para gerenciar os riscos associados com explosão de poeiras têm evoluído. Segundo a publicação mensal da AIChE, *Chemical Engineering Progress* (fevereiro de 2009, p. 28) a tendência da indústria é fazer uso de programas de análise de risco de processos (ARP) formais para identificar perigos, avaliar riscos e propor medidas para a redução ou eliminação com relação a poeiras combustíveis. As ARPs usam técnicas estruturadas para encontrar as fraquezas no projeto e na operação das instalações e processos que podem levar a acidentes. Geralmente, ARPs incluem avaliação dos riscos associados aos perigos identificados.

Recentemente, a *National Fire Protection Association* (NFPA) incluiu em sua norma NFPA 654, *Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosion from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids* (norma para Prevenção de Fogo e Explosão de Manufatura, Processamento e Manuseio de Partículas Sólidas Combustíveis) o requisito de efetuar uma ARP para processos que manuseiam pós e sólidos que apresentem perigo de fogo ou explosão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS E ANÁLISE DE RISCOS

Um estudo de identificação de perigos e análise de riscos é um esforço organizado para identificar e analisar a significância de situações perigosas associadas com um processo ou atividade. Especificamente, estes estudos são usados para apontar fraquezas no projeto ou na operação de um processo produtivo, que podem levar a acidentes como liberações de substâncias químicas, incêndios ou explosões. O resultado destes estudos auxiliam as organizações a melhorarem seus projetos e a sua gestão de segurança, providenciando informações para tomada de decisões (*Guidelines for Harzard Evaluation Procedures*, 1992).

O foco dos estudos de identificação de perigos e análises de riscos são os eventos com efeitos agudos para o público e para o pessoal que opera o processo em questão. Estes estudos complementam a gestão de segurança e saúde tradicionais. As ferramentas empregadas nos estudos também podem ser utilizadas para outros fins como verificar problemas na operabilidade da planta ou processo, na tomada decisões com foco financeiro e para identificar situações relacionadas ao meio ambiente (*Guidelines for Harzard Evaluation Procedures*, 1992).

Para gerenciar riscos, primeiramente, os perigos e condições perigosas devem ser identificados, então os riscos podem ser avaliados para se determinar se são toleráveis ou não. Quanto mais cedo no ciclo de vida de um empreendimento é empregado um estudo efetivo de identificação de perigos e análise de riscos, melhor será o desempenho de segurança e operação do processo ou atividade. A compreensão do risco desenvolvida por estes estudos forma a base para estabelecer as demais atividades de gestão de segurança de processo ao longo da vida do empreendimento. Uma percepção incorreta do risco pode levar a um uso ineficiente ou limitado dos recursos disponíveis para manter a segurança do processo durante a sua operação (*Guidelines for Harzard Evaluation Procedures*, 1992).

2.1.1. Estudos de riscos no ciclo de vida de um empreendimento

Os estudos de identificação de perigos e análise de riscos podem ser empregados em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento compreendendo:

- Pesquisa e desenvolvimento;
- Projeto conceitual;
- Projeto básico;
- Projeto detalhado;
- Construção;
- Comissionamento e pré-partida;
- Operação;
- Desativação.

O uso das técnicas de análise de risco de processo durante o ciclo de vida do empreendimento, associado ao uso de elementos de gestão de segurança de processos, pode revelar deficiências no projeto e na operação antes que ocorra a construção ou o início das operações (*Guidelines for Risk Based Process Safety*, 2007).

2.1.2. Descrição das técnicas mais comuns de identificação de perigos

Segundo Nolan (1994), os perigos que emergem em um sistema, à primeira vista, são pensados como defeitos de projeto, erros na construção, erro humano, características dos materiais.

Existem muitas técnicas de identificação de perigo e análise de riscos disponíveis e que podem ser aplicadas a uma instalação ou projeto em sua fase inicial para antecipar possíveis erros humanos e falhas do sistema. Quanto a sua natureza, essas técnicas podem ser qualitativas, semi-quantitativas ou quantitativas. A seguir são apresentadas técnicas qualitativas e quantitativas tipicamente usadas na indústria.

Qualitativas

- Revisão de Segurança;
- Check-lists;
- Análise Preliminar de Perigos (APP);
- What-If e What-If & Check-list;
- Perigos e Operabilidade (HAZOP).

Quantitativas

- Árvores de falha;
- Árvores de evento;
- Análise de modo de falhas e efeitos (FMEA).

Neste trabalho, as técnicas utilizadas e apresentadas serão as qualitativas. A seguir, é feita uma breve descrição das técnicas de identificação de perigos mais comumente empregadas na indústria e de interesse para este trabalho.

2.1.2.1. Revisão de segurança

Esta técnica, também conhecida como revisão de projeto ou revisão de segurança de processos pode ser empregada em todos os estágios do ciclo de vida do empreendimento. Basicamente, a técnica envolve uma inspeção formal das instalações por uma equipe. A atividade pode durar algumas semanas. No caso de novos projetos, a equipe revisa um conjunto de documentos e desenhos em reuniões. A técnica envolve entrevistas com pessoal da planta como operadores, engenheiros, pessoal de manutenção, pessoal da segurança, gerentes entre outros (*Guidelines for Harzard Evaluation Procedures*, 1992).

O objetivo a ser alcançado é identificar deficiências nos procedimentos ou instalações que podem levar a perdas. Na Tabela 2.1 a seguir, apresenta-se um resumo dos objetivos, resultados e recursos necessários para esta técnica.

Tabela 2.1 – Resumo da técnica Revisão de Segurança

Objetivo	Resultados	Recursos
Assegurar que a operação e manutenção das instalações estão de acordo com padrões de construção e intenções do projeto.	Descrição qualitativa de possíveis problemas de segurança e sugestões de correção.	Acesso à documentação, incluindo padrões e códigos, dados de substâncias, procedimentos, P&ID, registros de manutenção, incidentes etc. Pessoal deve ser experiente nos assuntos abordados e conhecer as instalações.

Fonte: Arquivo do autor.

Na Tabela 2.2, estão listados os tempos estimados para as fases de preparação, análise e documentação desta técnica.

Tabela 2.2 – Tempos estimados para Revisão de Segurança

Escopo	Preparação	Análise	Documentação
Sistema simples ou pequeno	2 a 4 h	6 a 12 h	4 a 8 h
Processo complexo ou extenso	1 a 3 dias	3 a 5 dias	3 a 6 dias

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

2.1.2.2. Check-list

Esta técnica se utiliza de listas ou procedimentos passo-a-passo para verificar as condições de um sistema. As listas variam em tamanho e complexidade e são costumeiramente usadas para demonstrar o nível de cumprimento de padrões e práticas estabelecidas. A técnica é de fácil utilização e pode ser aplicada em qualquer estágio do ciclo de vida do empreendimento. Os check-lists são limitados pela experiência dos seus autores. A maioria das vezes, check-lists são criados com base em padrões e procedimentos. Devido a estas características,

devem ser revisados e atualizados constantemente. Muitas organizações usam check-lists padrões no desenvolvimento de projetos. A técnica é especialmente benéfica para pessoal com pouca experiência, pois é uma forma de tornar familiares os atributos do processo via comparação com os requisitos do check-list (*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992).

O objetivo a ser alcançado é identificar deficiências em relação a padrões e práticas da indústria. Na Tabela 2.3 abaixo, apresenta-se um resumo dos objetivos, resultados e recursos necessários para esta técnica.

Tabela 2.3 – Resumo da técnica Check-list

Objetivo	Resultados	Recursos
Assegurar que a organização está em conformidade com padrões e práticas da indústria.	Listagem de itens não conformes com padrões e práticas e possíveis soluções.	Códigos e padrões de engenharia, manuais de operação. Pessoa experiente com conhecimento do processo para aplicar o check-list.

Fonte: Arquivo do autor.

Na Tabela 2.4, estão listados os tempos estimados para as fases de preparação, análise e documentação desta técnica.

Tabela 2.4 – Tempos estimados para Check-list

Escopo	Preparação	Análise	Documentação
Sistema simples ou pequeno	2 a 4 h	4 a 8 h	4 a 8 h
Processo complexo ou extenso	1 a 3 dias	3 a 5 dias	2 a 4 dias

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

2.1.2.3. Análise Preliminar de Perigos (APP)

Esta técnica é derivada de um padrão militar para sistemas de segurança dos Estados Unidos. De modo geral, a técnica foca os materiais perigosos e os principais processos de uma instalação. É, geralmente, empregada nos estágios iniciais de um projeto, quando não se possui muitas informações e detalhes sobre o projeto ou o procedimento de operação. É um precursor de outros estudos. A APP gera uma lista de perigos e situações ou condições perigosas genéricas. A técnica aborda situações com matérias-primas, intermediários e produtos, ambiente, desastres naturais, equipamentos, arranjo e layout, atividades de operação e manutenção, entre outros (*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992).

Os perigos e situações encontradas podem ser ranqueados através da estimativa de suas consequências. Quando utilizada em conjunto com matrizes de risco, é possível analisar o risco de forma qualitativa.

O objetivo a ser alcançado é identificar deficiências em relação a padrões e práticas da indústria. Na Tabela 2.5 abaixo, apresentam-se um resumo dos objetivos, resultados e recursos necessários para esta técnica.

Tabela 2.5 – Resumo da técnica APP

Objetivo	Resultados	Recursos
Aplicação na fase de projeto conceitual de um empreendimento.	Produz uma descrição qualitativa de perigos relacionados ao projeto de processo.	Informações sobre especificação de equipamentos, materiais e critérios de projeto. Experiência em segurança de processo.

Fonte: Arquivo do autor.

Na Tabela 2.6, estão listados os tempos estimados para as fases de preparação, análise e documentação desta técnica.

Tabela 2.6 – Tempos estimados para APP

Escopo	Preparação	Análise	Documentação
Sistema simples ou pequeno	4 a 8 h	1 a 3 dias	1 a 2 dias
Processo complexo ou extenso	1 a 3 dias	4 a 7 dias	4 a 7 dias

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

2.1.2.4. *What-If*

É uma técnica de *brainstorming* realizada por pessoas experientes e que possuem familiaridade com o tema da análise. A análise é feita em duas sessões: a primeira é a sessão de perguntas, quando nenhuma resposta pode ser dada, e a segunda, de respostas na qual se descobre possíveis eventos indesejados. Geralmente as duas sessões são realizadas em tempos diferentes. Por exemplo:

- Pergunta: O que acontece se o filtro entupir?
- Resposta: Aumento da pressão na linha com possível ruptura e vazamento da substância.

Não é uma técnica estruturada como *HAZOP* ou *FMEA*, mas é amplamente utilizada na indústria de processos. Também identifica problemas operacionais. Pode ser utilizada em todo o ciclo de vida de um empreendimento. É uma técnica poderosa se praticada por pessoal experiente (Nolan, 1994).

O objetivo a ser alcançado é identificar perigos, condições ou situações perigosas ou algum evento que produz um efeito indesejado. Na Tabela 2.7 abaixo, apresenta-se um resumo dos objetivos, resultados e recursos necessários para esta técnica.

Tabela 2.7 – Resumo da técnica What-If

Objetivo	Resultados	Recursos
Identificar possíveis cenários de acidente, as salvaguardas existentes e alternativas de redução de riscos. Examinar possíveis desvios das intenções de projeto e da operação.	Lista de perguntas e respostas, salvaguardas e propostas de redução de risco.	Pessoal experiente. Informações sobre o processo e instalações em qualquer estágio do ciclo de vida do empreendimento.

Fonte: Arquivo do autor.

Na Tabela 2.8, estão listados os tempos estimados para as fases de preparação, análise e documentação desta técnica.

Tabela 2.8 – Tempos estimados para What-If

Escopo	Preparação	Análise	Documentação
Sistema simples ou pequeno	4 a 8 h	4 a 8 h	1 a 2 dias
Processo complexo ou extenso	1 a 3 dias	3 a 5 dias	1 a 3 semanas

Fonte: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 1992.

2.1.3.5. Perigos e Operabilidade (HAZOP)

Esta técnica foi desenvolvida para identificar perigos à segurança de um processo, bem como, a sua operabilidade. Requer informações detalhadas sobre a operação e intenções de projeto do processo. Seu uso é mais frequente nas fases de detalhamento de projeto. A técnica, conduzida por uma equipe multidisciplinar, é baseada na identificação de perigos e problemas operacionais resultantes de desvios das intenções de projeto que podem conduzir a efeitos indesejados. Um líder da análise conduz a equipe pelo fluxo do processo utilizando um conjunto de palavras, denominadas de palavras guia. Estas palavras são sistematicamente aplicadas a certos pontos do processo

denominados nós e, então, são combinadas com os parâmetros do processo para aquele nó para descobrir desvios da intenção do projeto do processo (*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992). Alguns exemplos de palavras guias e desvios são apresentados na Figura 2.1 a seguir.

Palavra guia	Significado	Parâmetros	Desvios
Mais (maior)	Aumento quantitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo • Temperatura • Pressão • Nível 	Mais fluxo, Mais temperatura, mais pressão, nível maior.
Menos (menor)	Decréscimo quantitativo		Menos fluxo, temperatura menor, menos pressão, nível menor.
Não (nenhum)	Completa negação da intenção do projeto		Nenhum fluxo, Nenhum nível (vazio)

Figura 2.1 – Exemplos de palavras guias, significados e desvios para HAZOP.

Fonte: *British Standard IEC 61882:2001*

O objetivo a ser alcançado é identificar perigos e problemas operacionais. Na Tabela 2.9 abaixo, apresentam-se um resumo dos objetivos, resultados e recursos necessários para esta técnica.

Tabela 2.9 – Resumo da técnica HAZOP

Objetivo	Resultados	Recursos
Identificar perigos, condições perigosas e problemas operacionais. Aplicado a processos contínuos ou batelada. Identificar as salvaguardas existentes e alternativas de redução de riscos. Examinar possíveis desvios das intenções de projeto e da operação.	Lista de causas, consequências e salvaguardas para desvios de um nó de estudo.	P&ID acurado e atual e outras informações precisas e detalhadas do processo. Equipe com conhecimento do processo, instrumentação e operação. Líder treinado e experiente em conduzir a análise.

Fonte: Arquivo do autor.

Na Tabela 2.10, estão listados os tempos estimados para as fases de preparação, análise e documentação desta técnica.

Tabela 2.10 – Tempos estimados para HAZOP

Escopo	Preparação	Análise	Documentação
Sistema simples ou pequeno	8 a 12 h	1 a 3 dias	2 a 6 dias
Processo complexo ou extenso	2 a 4 dias	1 a 3 semanas	2 a 6 semanas

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

2.1.3. Fatores para Seleção de técnicas de identificação de perigos

Cada técnica ou metodologia de análise possui seus pontos fortes e suas fraquezas. Entender estes atributos é fundamental para selecionar de forma adequada a melhor técnica para cada situação. Um fator importante a considerar é a complexidade e o tamanho do problema. A divisão entre sistemas simples ou pequenos versus processos complexos ou extensos fornece uma estimativa do

esforço necessário para conduzir um estudo (*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992). Exemplos destes dois grupos são dados a seguir:

- Sistemas simples / pequeno – carregamentos e descarregamentos, linhas de transferência, armazenamento.
- Processos complexos / extensos – reações químicas, operações de separação, seções com muitos vasos e equipamentos.

O primeiro passo para selecionar a técnica mais adequada para um estudo de identificação de perigos é ter conhecimento dos seguintes aspectos:

- Definir o principal objetivo do estudo;
- Qual o tipo de informação deve ser gerado pelo estudo para a tomada de decisão;
- Os recursos e prazos disponíveis para o estudo.

A seleção da técnica apropriada é fator crítico para o sucesso do estudo. A escolha depende dos fatores listados na Tabela 2.11. As seguintes questões devem ser respondidas:

- Qual a razão do estudo? Novo projeto? Revisão periódica? Questão legal? Regra da organização?
- Qual o resultado esperado? O que se quer extrair do estudo? Lista de perigos? Cenários acidentais? Melhoria da segurança? Previsão de investimento em salvaguardas?
- Quais informações estão disponíveis? P&ID? Descrição de processo? Informação dos materiais? Manuais operacionais?
- A planta é simples e pequena ou grande com processos complexos?
- O processo é percebido como perigoso pela organização?
- Quanto tempo tem-se para realizar o estudo? Quais pessoas estão disponíveis? São experientes? Pessoas com conhecimento de técnicas de identificação de perigos e liderança de destes estudos estão disponíveis?

Tabela 2.11 – Fatores de seleção de técnicas de identificação de perigos

-
- Motivação para o estudo
 - Resultados necessários
 - Informação disponível para o estudo
 - Características do problema
 - Risco percebido associado ao processo
 - Disponibilidade de recursos
 - Preferencia do analista
-

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

Na Figura 2.2 são apresentados os usos típicos das técnicas discutidas neste trabalho de acordo com a etapa do ciclo de vida de um empreendimento.

	Revisão de segurança	Check-list	APP	What-If	HAZOP
Pesquisa e desenvolvimento			○	○	
Projeto conceitual		○	○	○	
Projeto detalhado		○	○	○	○
Construção e partida	○	○		○	
Operação rotineira	○	○		○	○
Expansão ou modificação	○	○	○	○	○
Desativação	○	○		○	

Figura 2.2 - Uso típico das técnicas de identificação de perigos.

Fonte: *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 1992.

2.1.4. Análise qualitativa de risco

Após o uso das técnicas de identificação de perigos, muitas organizações costumam analisar e avaliar o risco dos perigos, ou melhor, dos potenciais eventos perigosos ou cenários de acidente identificados. Para isso, deve-se definir níveis de probabilidade ou frequência e consequências destes eventos. A

análise de frequência e da consequência ou do efeito de determinados cenários pode ser estimada de três formas: (a) quantitativamente, quando através de modelagem de cenários e análise de consequências determina-se numericamente o risco, (b) qualitativamente, quando se faz uso de valores pré-estabelecidos de frequências e de consequências para se estimar o risco em matrizes e (c) semi-quantitativamente, quando se mescla análise de frequências com valores pré-estabelecidos para consequências ou efeitos de um cenário de acidente (*Guidelines for Risk Based Process Safety*, 2007). Neste trabalho é abordada a análise de risco qualitativa.

Com os perigos identificados e os riscos analisados, a tolerabilidade dos riscos deve ser avaliada. Algumas organizações julgam que um risco é tolerável se ele atende a um padrão mínimo como um código ou regulação legal, enquanto outras organizações podem buscar uma redução dos riscos tão baixa quanto razoavelmente praticável (*As Low As Reasonable Practicable – ALARP*). O conceito de ALARP significa que a solução adotada deve ser econômica e tecnicamente possível para a organização. Algumas organizações podem julgar alguns riscos intoleráveis em certas circunstâncias e requerer que o processo seja relocado ou abandonado, a menos que uma alternativa segura seja encontrada.

Os critérios de tolerabilidade de risco, ou seja, o que é julgado como aceitável, o que deve ter seu risco reduzido o máximo possível e o que não pode ser aceito, devem ser baseados em padrões da própria organização. Os valores de consequência e frequência da organização são usados para construir uma matriz de risco. Com a matriz construída, definem-se os critérios de tolerabilidade com a escolha das regiões de risco tolerável, gerenciável (*ALARP*) e intolerável. Estas matrizes variam enormemente entre as organizações. Podem ser encontrada em vários formatos e com diferentes valores e critérios. Na figura 2.3, abaixo, encontra-se um exemplo de matriz de risco com critérios de tolerabilidade.

Risco		Consequência			
		Sérios danos na área do evento	Sérios danos dentro dos limites de bateria	Sérios danos em toda a planta / unidade	Sérios danos fora da planta
Frequência	Mais de um evento por ano	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida na primeira oportunidade	Ação imediata	Ação imediata
	Um evento esperado em poucos anos	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida na primeira oportunidade	Ação imediata
	Um evento durante a vida útil da instalação	Não é requerida nenhuma ação	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida na primeira oportunidade
	Evento não esperado durante a vida útil da instalação	Não é requerida nenhuma ação	Não é requerida nenhuma ação	Ação requerida se não for risco ALARP	Ação requerida se não for risco ALARP

Figura 2.3 – Exemplo de matriz de risco

Fonte: *Guidelines for Risk Based Process Safety*, 2007.

As medidas de controle de risco devem estar de acordo com o critério de tolerabilidade de riscos. As medidas de controle podem ser basicamente de quatro tipos, a saber:

- Inerentemente ou intrinsecamente segura – quando se elimina ou mitiga o perigo através do uso de materiais e condições menos perigosas. Existem quatro estratégias para uma solução intrinsecamente segura: minimização (usar menor quantidade), substituição, moderação (condições de processo menos severas) e simplificação (diminuir a complexidade do processo);

- Controle passivo – não requer dispositivos, sensores ou atuadores para responder a uma variável de processo. Mecanicamente resistentes e confiáveis.
- Controles ativos – requerem dispositivos para monitorar uma variável de processo e uma função de segurança para mitigar o perigo.
- Medida administrativa ou procedimental – requer que uma pessoa atue para evitar um evento perigoso. Pode ser de natureza procedimental como seguir um padrão ou responder a um sinal do processo como alarmes, leitura de instrumentos, ruídos entre outros (*Guidelines for Design Solutions for Process Equipments Failures*, 1997).

Particularmente, a engenharia deve considerar todo o ciclo de vida do empreendimento quando calcular os custos e não apenas o custo do capital, dos controles ativos e medidas administrativas contra medidas inerentemente seguras ou controles passivos. Geralmente as organizações tendem a selecionar medidas de menor investimento, mas que terão um custo maior durante a vida do empreendimento por causa dos seus custos de operação e de manutenção (*Guidelines for Design Solutions for Process Equipments Failures*, 1997).

2.1.5. Características da equipe de estudo

Conforme Nolan (1994), os membros da equipe do estudo devem ter familiaridade com os processos que são objetos do estudo de identificação de perigos. Três tipos de indivíduos são necessários para suportar um estudo: (1) um líder, (2) alguém que tome nota, também conhecido com escriba e (3) os especialistas. Dentre os especialistas, comumente figuram o (a) gerente de projeto ou engenheiro que projetou a instalação, (b) pessoas com conhecimento operacional, (c) pessoal com conhecimento técnico dos aspectos de segurança, perigos e riscos de determinado processo.

Outros especialistas podem ser convocados a qualquer instante para solucionar algum problema ou questionamento que está além das qualificações da equipe. O número de participantes pode variar de um estudo para outro. O número mínimo é de cinco pessoas, representadas por um líder, um escriba, um representante de projetos ou engenharia, um representante de operações e um

representante de segurança. Outros especialistas podem participar ocasionalmente do estudo de acordo com seus conhecimentos e necessidades da equipe. Na Tabela 2.12 estão as principais responsabilidades dos membros da equipe de estudo de identificação de perigos e análise de riscos.

2.1.6 Procedimento geral de uma técnica de identificação de perigos

Existem três áreas principais na preparação de um estudo: (1) local para realização do estudo, (2) suporte administrativo e (3) documentação.

Os principais fatores para determinar o local de realização dos estudos são a localização das informações e onde estão a maior parte das pessoas com conhecimento para participar do estudo.

Quanto ao suporte administrativo, uma sala deve ser reservada para a equipe. A sala deve ter uma mesa com amplo espaço para revisar desenhos e sistema de projeção. As cadeiras devem ser confortáveis para extensos períodos sentados. Marcadores e *flip charts* também são úteis.

A documentação deve ser acurada e atualizada. Se o estudo é conduzido com base em documentos obsoletos, a sua qualidade está comprometida. Na Tabela 2.13 estão listados os principais documentos para um estudo de identificação de perigos.

A Tabela 2.14 apresenta um procedimento típico para estudo com aplicação da técnica *What-If*.

Tabela 2.12 – Responsabilidades da equipe de estudo de riscos.

Função na equipe	Responsabilidades principais
Líder	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar um cronograma de atividades para aprovação do gerente de projetos; • Organizar as reuniões (locais, equipamentos, convites, etc.); • Identificar, obter e organizar documentação necessária para o estudo e distribuir entre os membros da equipe; • Selecionar os sistemas para o estudo junto à operação / projeto; • Liderar as reuniões de análise do estudo em todos os assuntos, a exceção da parte técnica; • Recomendar outras sessões ou investigações para pontos específicos com a finalidade de aumentar a produtividade; • Preparar e emitir relatório preliminar do estudo; • Direcionar o trabalho do escriba; • Checar as planilhas para verificar a precisão técnica; • Assegurar a consistência da filosofia adotada pela organização nos estudos de risco.
Escriba	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar as planilhas de acordo com os sistemas escolhidos; • Transcrever os diálogos e discussões do estudo para a planilha; • Auxiliar o líder na preparação do relatório preliminar; • Verificar a correção de nomes, TAGs de equipamentos, unidades de medidas, valores de parâmetros etc.
Repres. Projeto ou engenharia	<ul style="list-style-type: none"> • Obter o suporte requerido; • Designar o líder do estudo e os membros da equipe; • Assegurar o fornecimento de documentação atualizada para o Líder do estudo de risco; • Prover conhecimento do projeto / processo / operação; • Prover as intenções do projeto, suas condições e limitações; • Indicar os sistemas e subsistemas (nós) de estudo junto ao Líder do estudo de risco (escopo do estudo de risco); • Tomar ação corretiva imediata em casos de situação de risco grave e iminente. • Aprovar o estudo; • Definir distribuição de informações; • Assegurar a implantação das recomendações.
Repres. Operações	<ul style="list-style-type: none"> • Prover conhecimento operacional para as reuniões; • Identificar requerimentos de manutenção; • Identificar eventuais mudanças de campo que não estão apontadas nos documentos atuais; • Revisar e comentar o relatório preliminar.
Repres. Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Prover conhecimento de prevenção de perdas e políticas de segurança da organização; • Confirmar a aplicação dos critérios de tolerabilidade de riscos; • Prover conhecimento de acidentes e incidentes; • Revisar e comentar o relatório preliminar.
Outros especialistas	<ul style="list-style-type: none"> • Prover conhecimento específico; • Participar das discussões das reuniões; • Revisar e comentar o relatório preliminar.

Fonte: *Adaptado de Application of HAZOP & What-If safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical & Chemical Industries*, 1994.

Tabela 2.13 – Documentos usuais em estudos de identificação de perigos

-
- Fluxogramas de engenharia (*P&ID – Pipe & Instrumentation Drawings*)
 - Lay-out e arranjo físico
 - Tabelas de causa e efeito (com alarmes e funções de controle e segurança)
 - Descrição do processo
 - Sistema de proteção contra incêndio
 - Propriedades físico-químicas dos materiais e compatibilidades químicas
 - Procedimento operacional e cronograma de manutenção
 - Fluxogramas de processo e balanços de massa e energia
 - Estudo de classificação elétrica
 - Descrição dos sistemas de emergência do processo
 - Folha de dados de equipamentos e diagramas elétricos
 - Filosofia de instrumentação e controle
 - Dados ambientais (chuva, ventos temperatura etc.) e de utilidades
 - Padrões e códigos aplicáveis, inclusive ergonômicos e de fatores humanos
 - Histórico de acidentes e incidentes
-

Fonte: *Application of HAZOP & What-If safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical & Chemical Industries, 1994.*

Tabela 2.14 – Procedimento para *What-If*.

-
- | | |
|----|---|
| 1 | Defina as hipóteses que a serem assumidas para a instalação ou projeto. |
| 2 | Defina as fronteiras da instalação ou projeto a serem consideradas. |
| 3 | Selecione e confirme o escopo de um nó de estudo. |
| 4 | Explique as intenções de projeto e as condições operacionais do nó. |
| 5 | Especifique os parâmetros de processo do nó. |
| 6 | Formule as questões What-If (sessão de perguntas). |
| 7 | Identifique os cenários de acidente e as suas consequências sem considerar as salvaguardas (sessão de respostas). |
| 8 | Especifique as salvaguardas para cada consequência identificada. |
| 9 | Determine a probabilidade e a severidade de cada consequência conforme critérios da organização (caso seja conduzida em conjunto uma análise de risco qualitativa). |
| 10 | Faça recomendações adicionais caso o risco analisado seja intolerável ou gerenciável. |
| 11 | Repetir o processo para outros nós. |
| 12 | Coloque todas as recomendações em ordem de prioridade de acordo com os riscos analisados. |
| 13 | Prepare um sumário de recomendações em ordem de prioridade. |
-

Fonte: *Application of HAZOP & What-If safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical & Chemical Industries, 1994.*

2.2. EXPLOSÃO DE POEIRAS

Poeiras combustíveis como fonte potencial de explosões não é um assunto novo. Em relatório de 1957, a *National Fire Protection Association (NFPA)* apontava que, em apenas um ano, a ocorrência de 1120 explosões de poeira tinham resultado em 676 mortes e mais de 1700 feridos nos Estados Unidos. Relatórios do U.S. Chemical Safety and Hazard Investigations Board (CSB) sobre explosões de poeiras combustíveis revelam que elas existem em diversos tipos de indústria, incluindo mineração, processamento de alimentos e manufatura. Um ponto de atenção é que a frequência de acidentes envolvendo poeiras combustíveis cresceu nos últimos anos, conforme se pode notar na Figura 2.4 que compreende as explosões e incêndios com poeiras combustíveis ocorridos desde 1980 até 2005 com 281 eventos resultando em 119 mortos e 718 feridos.

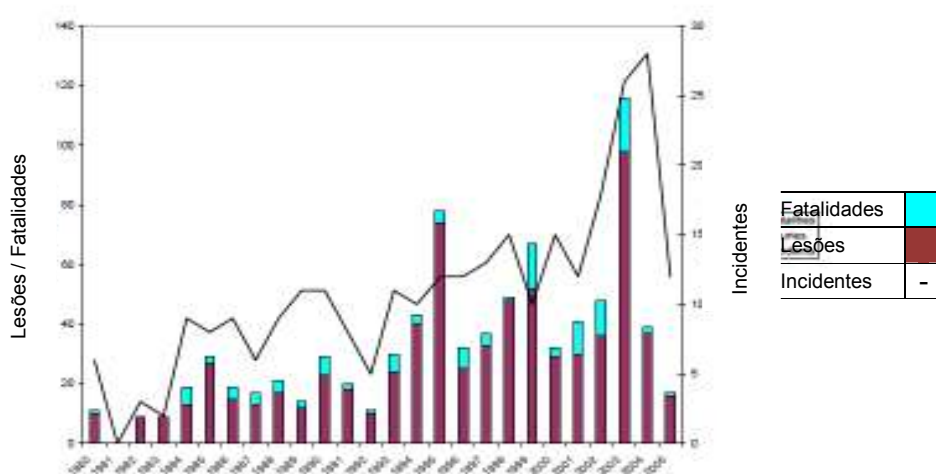


Figura 2.4 – Análise da frequência de acidentes com poeiras nos Estados Unidos.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study, CSB, 2006.*

Os combustíveis envolvidos nestes acidentes estão listados na Tabela 2.15, a seguir.

Tabela 2.15 – Percentual de explosões por tipo de combustível.

Combustível	Percentual (%)
Madeira	24
Alimentos	23
Metais	20
Plástico	14
Carvão	8
Outros	11
Total	100

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

A seguir, são apresentados, resumidamente, alguns acidentes ocorridos na última década com poeiras combustíveis nos Estados Unidos e que foram investigados pela CSB.

Em 29 de janeiro de 2003, uma explosão de poeira combustível ocorreu em uma fábrica da *West Pharmaceutical Services*, na cidade de *Kinston*, Carolina do Norte. Seis trabalhadores morreram e as instalações foram totalmente destruídas. A investigação aponta para pó de polietileno usado na fabricação de embalagens e acumulado nas instalações, principalmente, no teto e partes superiores da fábrica, locais de difícil limpeza. Na Figura 2.5 pode-se verificar o poder destruidor desta explosão.



Figura 2.5 – Instalações da *West Pharmaceutical*, Kinston, Carolina do Norte.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

Em 20 de Fevereiro de 2003, uma série de explosões de poeiras combustíveis resultou em sete fatalidades e 37 feridos na fábrica da CTA Acoustics em Corbin, Kentucky. Neste caso, resina fenólica foi o agente da explosão. Provavelmente uma fornalha com problemas de ajuste de temperatura foi a fonte de ignição de uma primeira explosão que resultou em outras explosões secundárias, destruindo parte das instalações. Na figura 2.6 uma parte da fábrica destruída pela explosão.



Figura 2.6 – Área de produção após explosão CTA Acoustics.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

Em 29 de outubro de 2003, poeira de alumínio explodiu na fábrica da Hayes Lemmerz em *Huntington*, Indiana. Um trabalhador morreu e vários outros ficaram feridos. Esta explosão envolveu um equipamento para refundir partes rejeitadas de alumínio na fabricação de rodas. A explosão inicial ocorreu no sistema de transporte pneumático que não tinha sido projetado para prevenir explosão de poeiras. Na Figura 2.7, verifica-se a magnitude deste acidente.



Figura 2.7 – Incêndio após as explosões de pó de alumínio, Hayes Lemmerz, *Huntington*, Indiana.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

Em sete de fevereiro de 2008, uma explosão de poeira catastrófica ocorreu em uma refinaria de açúcar em *Port Wentworth*, Georgia. Quatorze pessoas perderam a vida e outras 40 ficaram feridas. Após uma modificação na instalação, um transportador ficou enclausurado até que uma explosão ocorreu devido ao confinamento de poeira combustível (açúcar). Na Figura 2.8, se apresenta o resultado das explosões na *Imperial Sugar Refinery*.



Figura 2.8 – Fábrica da *Imperial Sugar* após explosão de poeira.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

Explosões de poeiras combustíveis podem ocasionar perdas financeiras, parada de produção, destruição de patrimônio, perda da credibilidade perante o público, além de penalidades e sanções legais. Mas o maior dano provocado por estes eventos são as vidas perdidas ou irremediavelmente modificadas após uma explosão.

2.2.1. Princípios básicos das explosões de poeiras

Uma poeira combustível é: “Um combustível sólido particulado que apresenta o perigo de fogo ou deflagração quando suspenso no ar ou em outro meio oxidante, dentro de certos limites de concentração, a despeito de tamanho ou forma.” (NFPA-654, 2006).

Muitas poeiras são combustíveis e se suspensas no ar, se tornam uma fonte potencial de explosões. Isto é ilustrado pelo pentágono da Figura 2.9, onde estão postos os cinco elementos necessários para que uma explosão de poeira combustível possa ocorrer:

- Poeira ignitável que serve como combustível;
- Dispersão e suspensão do pó em forma de nuvem em concentração suficiente;
- Confinamento;
- Um oxidante (geralmente o ar);
- Ignição.

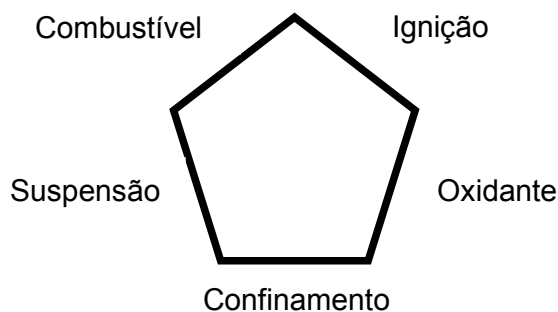


Figura 2.9 – Pentágono das explosões de poeiras combustíveis.

Fonte: Adaptado de *OSHA Handbook* 2010 -2012.

Quando ignitada, uma nuvem de poeira produz uma bola de fogo de oito a dez vezes maior que a nuvem original. Se a nuvem for ignitada em campo aberto, gera-se somente uma bola de fogo ou “*flash fire*”. Na Figura 2.10, se apresenta uma bola de fogo ou “*flash fire*” de poeira. Entretanto, caso a nuvem for ignitada dentro de uma área confinada, a pressão tipicamente irá aumentar de oito a dez vezes em relação à pressão original e se produz uma explosão. O tempo para alcançar esta pressão depende de características da poeira. Tipicamente, este tempo está próximo de décimos de segundos. Na Figura 2.11, se apresenta o resultado de uma explosão de poeira.

Explosões secundárias podem ser mais severas que as primárias. Uma explosão secundária ocorre quando a onda de choque da explosão primária suspende pó acumulado que é então ignitado pela chama da primeira explosão. A resultante devastação, assim como o número de mortos e feridos são consequências do fogo e dos danos estruturais das ocupações.



Figura 2.10 – Bola de fogo ou *Flash Fire* de poeira.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.



Figura 2.11 – Local enclausurado após explosão de poeira.

Fonte: *Investigation Report – Combustible Hazard Study*, CSB, 2006.

São fontes potenciais de formação de poeiras: (1) material ou matéria-prima finamente dividido, (2) material bruto que contém finos, (3) finos gerados durante manuseio ou processamento do material bruto, (4) finos gerados durante operação de cominuição (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.2. Caracterização de poeiras

Cada poeira possui características físicas e químicas únicas que impactam diretamente no seu nível de perigo. Características físicas incluem tamanho de partícula, sua forma, umidade entre outros. Características químicas incluem inflamabilidade, explosibilidade, susceptibilidade a degradação térmica, susceptibilidade à ignição, instabilidade reatividade química. O entendimento destas características é fundamental para entender os perigos e os riscos associados a poeiras combustíveis em processamento ou outro tipo de manuseio como estocagem, transporte entre outros (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003).

Alguns dados de poeiras combustíveis podem ser obtidos da literatura, entretanto, muitas características que afetam a combustibilidade das poeiras são função de condições específicas do processo, o que torna necessário a

amostragem e análise dessas poeiras de forma que os dados sejam representativos da realidade. Características físicas como tamanho e forma de partículas, assim como umidade são fáceis de obter, porém outros dados nem sempre estão disponíveis e se faz necessário a aplicação de testes (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005). A seguir, se apresentam as propriedades físicas e químicas principais para uma caracterização de poeiras.

2.2.2.1. Concentração mínima de explosividade (MEC)

MEC (*Minimum Explosible Concentration*) é a mínima concentração de uma nuvem de poeira no ar, capaz de sustentar uma combustão. Quanto menor o tamanho da partícula, menor o valor de MEC. O seu valor é determinado via testes em vaso esférico padrão de 20 litros. MEC está bem acima das concentrações de interesse para a higiene ocupacional (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003). Na figura 2.12, se apresentam as faixas de concentrações típicas para higiene, limites de explosibilidade e deposição de uma poeira orgânica.

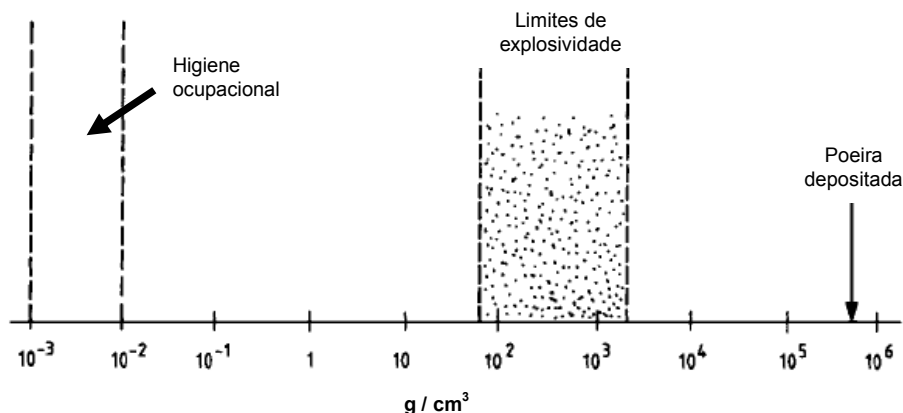


Figura 2.12 – Limites de explosividade para uma poeira orgânica.

Fonte: *Dust Explosions in the process industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

2.2.2.2. Concentração limite de oxigênio (LOC)

LOC (Limiting Oxygen Concentration) é maior concentração de oxigênio em uma nuvem de poeira na qual a combustão não acontecerá. É determinado experimentalmente. Valores típicos de concentração variam de 8 a 15% em

volume, quando o gás inerte é nitrogênio. Com outros gases (CO₂, gases de combustão, vapor d'água, outros) estes valores podem mudar (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003).

LOC é crítico para materiais com MIE baixo (< 25mJ).

2.2.2.3. Energia mínima de ignição (MIE)

MIE (Minimum Ignition Energy) é o menor valor energético de uma faísca ou centelha para ignitar uma nuvem de poeira em uma concentração ótima. Este valor é utilizado para avaliar potenciais fontes de ignição. Tipicamente varia de 10 a 100 mJ para poeiras, enquanto para gases e vapores inflamáveis é menor que 1 mJ. Quanto menores as partículas, menor é o MIE (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003). Na Tabela 2.16 abaixo estão as principais fontes de ignição envolvidas em acidentes.

Tabela 2.16 – Principais fontes de ignição de eventos com poeiras combustíveis.

Fonte de ignição	Percentual de acidentes (%)
Desconhecida	27
Fricção de partes mecânicas	18
Superaquecimento	17
Chamas	15
Material estranho	7
Corte e solda	7
Descarga eletrostática	4
Eletricidade	3
Outros	2

Fonte: Partner, B. Dust Explosions - Assessment, Prevention and Protection. IBC Symposium, Novembro de 1989.

2.2.2.4. Índice de deflagração (K_{st}) e pressão máxima (P_{max})

A severidade de uma explosão pode ser estimada se testando a pressão máxima em vaso fechado (P_{max}). Para se determinar o tempo necessário para se atingir a P_{max} , é necessário medir a taxa de aumento de pressão $(dP/dt)_{max}$.

Quanto menor o tempo para se alcançar a pressão máxima numa explosão de poeira, maior o será o potencial de dano. Isto ocorre pelo simples motivo que quanto mais velozmente a pressão máxima é atingida, menor o tempo para a atuação de salvaguardas como sprinklers e outras (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003).

Como a taxa de aumento de pressão é uma variável dependente do volume, é usual a utilização de um índice que independe do volume (K_{st}).

$$K_{st} = (dP/dt)_{\max} \times V^{1/3} \quad \text{eq.(1)}$$

As poeiras são distribuídas em classes de explosividade de acordo (St) baseado nos valores de K_{st} , conforme a Tabela 2.17.

Tabela 2.17 – Classe de explosividade de poeiras combustíveis.

K_{st} (bar-m/s)	Classe de explosividade (St)	Descrição qualitativa da explosão
0	0	Sem explosão
0 - 200	1	Fraca
200 - 300	2	Forte
> 300	3	Muito forte

Fonte: Adaptado de *Dust Explosions in the process industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

Os valores de K_{st} são válidos para volumes maiores que 20 litros. Quanto menor o tamanho das partículas, maior é o K_{st} .

2.2.2.5. Superfície específica

É a medida de quanta área de superfície existe por unidade de massa. Quanto maior a área na superfície, mais alta é a taxa da reação de combustão dada pela cinética química. A superfície específica é inversamente proporcional ao tamanho da partícula, ou seja, quanto menor a partícula, maior a superfície específica e maior a taxa de queima da poeira combustível. Logo os valores de K_{st} aumenta e de MIE diminui com o aumento da superfície específica (*Dust*

Explosion in the Process Industries, 2003). O aumento de K_{st} pode ser verificado na Figura 2.13 abaixo.

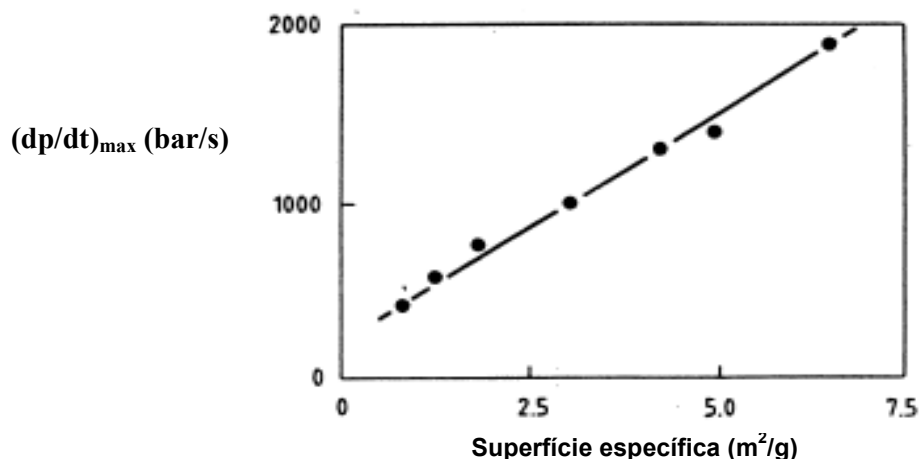


Figura 2.13 – Relação da superfície específica com o incremento da pressão.

Fonte: *Dust Explosions*, W. Bartknetch

Logo o tamanho de partícula é muito importante, pois quanto menor for o seu tamanho médio, maior será o perigo (mais fácil é a ignição e queima mais rápido).

Uma questão a considerar é: Qual a fração de tamanhos deve ser testada? A resposta deve considerar qual fração pode gerar uma suspensão por um tempo significativo. Usualmente, a última parte da distribuição granulométrica é testada. É comum usar a fração de fundo, passante na peneira de malha 200 US Mesh (< 74 μm) (*Dust Explosions*, W. Bartknetch, 1989).

2.2.2.6. Outras propriedades

Na Tabela 2.18 encontram-se outras propriedades das poeiras combustíveis, além do já mencionados anteriormente.

2.2.3. Prevenção e proteção contra explosões de poeiras

Existem medidas de naturezas diversas que podem ser adotadas em relação à explosão de poeiras. As medidas tomadas para evitar a explosão são

denominadas medidas de prevenção de explosão. Por outro lado, medidas tomadas no projeto de equipamentos e instalações para, em caso de um evento de explosão, mitigar as suas consequências são denominadas medidas de proteção de explosão (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003).

A seleção de qual medida de prevenção ou proteção adotar é função de:

- Qual a informação disponível sobre a sensibilidade da poeira quanto à ignição e severidade da explosão (K_{st});
- O tipo de processo e as suas condições;
- O nível de conhecimento do pessoal sobre possíveis consequências das explosões de poeiras, incluindo perdas humanas, para o meio ambiente e interrupção do negócio.

Tabela 2.18 – Testes para caracterização de poeiras.

Propriedade	Unidade	Quando testar
Resistividade	Ohm-cm	Para avaliar possibilidade de geração de carga eletrostática. Resistividade $> 10^9 \Omega\text{-cm}$ caracteriza-se como perigosa.
Decaimento eletrostático e constante dielétrica	s	Para determinar se existe perigo na formação de carga na poeira.
Mínima temperatura de autoignição de uma nuvem de poeira	°C	Avaliar a sensibilidade da nuvem de poeira a superfícies aquecidas.
Minima temperatura de ignição de uma camada de pó (smoldering)	°C	Avaliar a sensibilidade do pó a superfícies aquecidas.
Estabilidade térmica	Cal/g	Analisar perigos de reatividade.

Fonte: Adaptado de *Dust Explosions in the process industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

2.2.3.1. Medidas de prevenção

2.2.3.1.1. Limitação da disponibilidade de combustível

Uma atmosfera explosiva como uma nuvem de poeira serve de combustível para incêndios e explosões. Uma ventilação apropriada pode prevenir a formação desta atmosfera. Ventilação de diluição providencia uma renovação no ar dentro de uma instalação e geralmente não é eficiente para controlar a concentração de

pó em atmosferas explosivas. Já um sistema de exaustão local, projetado para capturar a poeira na fonte de lançamento, é muito efetivo em limitar o espalhamento das nuvens, pois a poeira é direcionada para outros sistemas onde pode ser recuperada ou destruída.

Outro modo de limitar a disponibilidade de combustível é através da adição de sólidos não combustíveis (sílica, talco, outros) que agem dissipando calor. Entretanto, a grande quantidade de sólidos necessária, tipicamente maior que 60%, faz dessa essa medida, na maioria dos casos, impraticável (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.3.1.2. Limitação do oxidante

Se a atmosfera local está com concentração baixa de oxidante, geralmente oxigênio do ar, não haverá condições de manter uma reação de combustão. A Adição de um gás inerte pode reduzir a concentração de oxigênio abaixo do valor necessário para suportar a combustão. Nitrogênio é o gás mais utilizado para este fim. Outros gases inertes são: CO₂, argônio, hélio, vapor d'água e gases de queima.

O oxidante também pode ser removido mantendo o processo em condições de vácuo.

A concentração limite de oxigênio (LOC) depende do tipo de poeira e do gás inerte utilizado. Uma vez que LOC é determinado para o gás inerte que será usado, o gás deve ser introduzido no processo. Importante considerar que para este sistema funcionar é necessário que o gás inerte preencha todo o volume disponível e que esta atmosfera seja mantida por todo o tempo, mesmo quando algum equipamento é aberto para adição de sólidos ou líquidos.

A concentração de oxigênio deve ser mantida 60% abaixo do LOC em sistemas sem monitoramento constante e 2% em sistemas com monitoramento constante (NFPA – 69, 2008).

2.2.3.1.3. Eliminação das fontes de calor

A eliminação das fontes de ignição depende do controle sobre as fontes de calor, tais como:

- Superfícies aquecidas de equipamentos de processo (aquecedores, refervedores, secadores, tubulações de vapor, equipamentos elétricos, outros) (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005);
- Falha mecânica de equipamentos como ventiladores, sopradores, transportadores de correia, moinhos, misturadores etc.;
- Lâmpadas não protegidas;
- Trabalho a quente como solda, oxicorte, corte etc.

As medidas que podem ser consideradas na prevenção de ignição de nuvens de poeira incluem:

- Nos processos que envolvem aquecimento, manter a temperatura abaixo da temperatura de ignição dos sólidos;
- Prevenir a sobrecarga dos equipamentos de processo. Considerar a instalação de termopares ou dispositivos de proteção contra sobrecarga nos motores;
- Isolar ou proteger as superfícies;
- Prevenir e impedir a acumulação de pó nas superfícies;
- Utilizar equipamentos elétricos adequados à classificação da área.

2.2.3.1.4. Prevenção de faíscas produzidas por fricção e impacto

A capacidade de uma fricção ou impacto ignitar uma nuvem de poeira depende da composição das superfícies impactadas. Em ambientes nos quais é esperada a formação de faíscas ou centelhas geradas por fricção e impacto, considerar as seguintes medidas (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005):

- Prevenir superaquecimento por desalinhamento de correias, cintas, correntes e outras através de inspeção e manutenção regulares no equipamento;
- Prevenir a introdução de materiais estranhos ao processo que representam uma possibilidade de fonte de fricção ou impacto. Considerar peneiramento, separação magnética, separação

pneumática etc., especialmente na alimentação de equipamentos de cominuição;

- Controlar os trabalhos a quente via permissão específica;
- Remover prontamente qualquer depósito de pó;

2.2.3.1.5. Equipamentos elétricos e instrumentação

Caso for especificado erroneamente, um equipamento elétrico pode criar uma fonte de ignição via geração de centelhas ou superfícies aquecidas. Por isso, estes equipamentos devem ser adequados ao ambiente no qual são utilizados. Para selecionar o equipamento corretamente é necessário que a área seja previamente classificada quanto aos perigos de explosão (*Dust Explosion in the Process Industries*, 2003).

2.2.3.1.6. Descargas eletrostáticas

As precauções contra descargas eletrostáticas incluem (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005):

- Aterramento e equipotencialização de estruturas e carcaças. Descargas podem ser evitadas por aterramento de itens condutivos como equipamentos metálicos, tambores, containers, pós de baixa resistência e pessoas;
- Restrição do uso de material isolante. Materiais não condutivos não devem ser usados, pois acumulam cargas eletrostáticas;
- Redução da carga por umidificação. Alta umidade ajuda a dissipar cargas e pode reduzir a resistência da mistura suspensa de algumas poeiras e materiais não condutivos.

2.2.3.2. Medidas de proteção

Caso a formação de uma atmosfera explosiva não possa ser evitada e todas as fontes de ignição não possam ser eliminadas ou controladas, a possibilidade de uma explosão de poeira persiste. Sob estas condições, medidas de proteção

devem ser adotadas de forma que se assegure a integridade física das pessoas e se minimize os danos materiais.

Existem três tipos principais de medidas de proteção: (1) contenção da explosão, (2) Supressão da explosão e (3) sistemas de alívio de explosão (vents).

2.2.3.2.1. Contenção da explosão

O princípio básico neste caso é projetar o equipamento para suportar a pressão máxima de uma explosão resultante da deflagração da mistura poeira / ar presente no equipamento. Geralmente esta estratégia é limitada a equipamentos de pequeno volume ou a situações de alto risco pelo seu alto custo. Dispositivos de isolamento devem ser instalados de modo a impedir a propagação da explosão.

Existem duas alternativas de projeto para contenção de explosão: (1) projetar o equipamento para suportar a pressão máxima sem deformar ou perder suas características construtivas e (2) projetar o equipamento para conter a explosão, porém à custa de uma deformação permanente do equipamento (NFPA – 69, 2008).

2.2.3.2.2. Supressão de explosão

A supressão de explosão depende da rapidez de detecção da explosão e da injeção imediata de um agente supressor de chama antes que sejam atingidas pressões capazes de provocar danos. A pressão típica de uma explosão no momento de detecção é de 0,035 a 0,1 bar. Os agentes supressantes extinguem as chamas em frações de segundos. O sistema de supressão geralmente inclui um detector de explosão, unidade controladora, equipamento supressor e agentes supressantes. A ativação do sistema reduz a pressão para um nível seguro, evitando a ruptura do vaso (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.3.2.3. Sistemas de alívio (vents)

O princípio dos sistemas de alívio de explosão é direcionar os produtos da combustão para fora do equipamento através de uma abertura (vent) com área

suficiente para abertura e descarga dos gases quentes e chamas para um local seguro. Deste modo se previne a sobrepressão no interior do equipamento. O equipamento falha em um modo planejado com objetivo de proteger as pessoas e instalações dos efeitos das explosões de poeiras.

Estes sistemas de alívio de explosão são relativamente mais baratos se comparados com outros sistemas de proteção de explosão e, além disso, são fáceis de instalar. Entretanto, os sistemas de alívio não são os mais adequados quando se manuseiam poeiras tóxicas ou o produto da combustão gerar substâncias tóxicas. Também não são adequados para uso interno, dentro de instalações fechadas (*Dust Explosions in the process industries*, 2003).

Os sistemas utilizam elementos construídos com materiais mais frágeis (vents) para permitir o alívio da explosão. Na Figura 2.14, pode-se verificar um painel (vent) antes e depois de uma explosão.

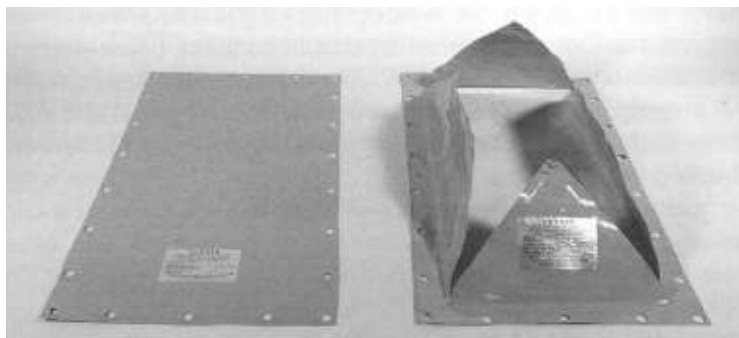


Figura 2.14 – Painel de alívio antes e após explosão.

Fonte: *Dust Explosions in the process industries*,
Eckhoff, R. K., 2003.

Para cálculo da área dos vents é necessário conhecer o K_{st} e P_{max} da poeira. Na Figura 2.15, a seguir, se pode entender como os vents proporcionam a proteção para o equipamento através da diminuição da P_{max} para uma pressão reduzida P_{red} .

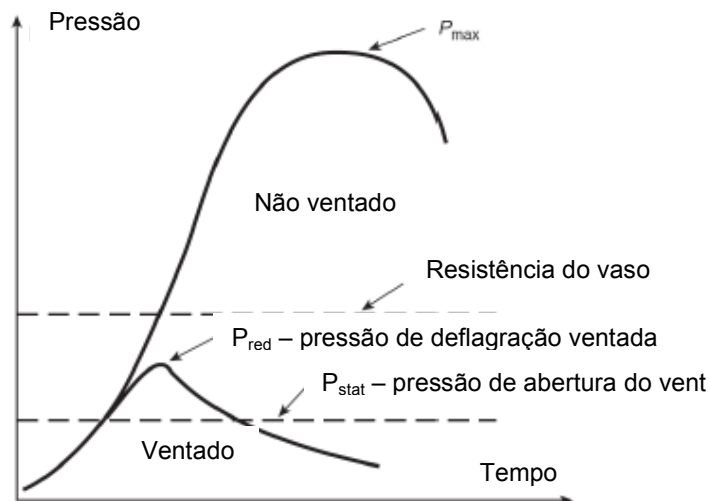


Figura 2.15 – Relação da pressão com tempo para alívio de pressão

Fonte: NFPA 654

Alguns cuidados devem ser tomados no uso de vents. Um ponto a considerar são as forças de reação à explosão no próprio equipamento, estrutura e equipamentos coligados. Os elementos de ventagem como painéis devem possuir baixa inércia, porém, eles não podem se transformar em mísseis e serem arremessados contra outras estruturas e equipamentos ou mesmo pessoas. Os vents devem ser localizados em pontos nos quais a bola de fogo e onda de sobrepressão, que seguem uma explosão, não ocasionem outros danos a estruturas, outros equipamentos e principalmente a pessoas. Portanto, passadiços, área de visitas, passarelas, pontos de amostragem e outros não podem estar em frente aos vents. Por fim, deve-se considerar a possibilidade de incêndio no interior do equipamento após a atuação dos vents (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.3.3. Medidas de isolamento de explosão

Seja qual for a medida de proteção adotada, a propagação da explosão para outros locais deve ser evitada, eliminando-se a probabilidade de explosões secundárias. Medidas de isolamento da explosão devem ser tomadas em dutos, chutes, transportadores pneumáticos, entre outros. O primeiro passo para o isolamento de uma explosão é se evitando conexões desnecessárias. Caso isto for impossível, devem ser criadas barreiras nos possíveis caminhos da explosão.

Barreiras podem ser físicas ou químicas. As barreiras físicas compreendem válvulas rotativas e válvulas de fechamento rápido (shutoff valves). As barreiras químicas têm o mesmo princípio de funcionamento dos sistemas de supressão de explosão, ou seja, a chama ou onda de sobrepressão é detectada e um supressante é injetado. Embora as barreiras químicas apaguem a chama, elas não conseguem evitar que a sobrepressão atinja outros equipamentos a jusante. (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005). Na figura 2.16, pode-se visualizar uma válvula rotativa, considerada uma barreira física.

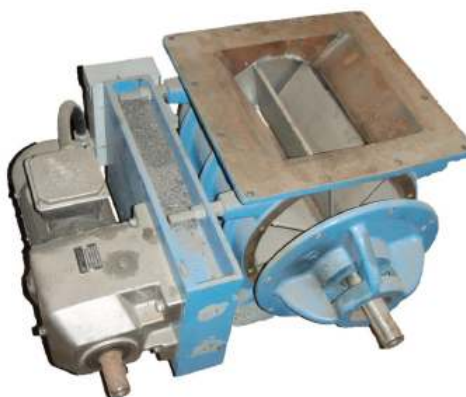


Figura 2.16 – Válvula rotativa.

Fonte: *Dust Explosions in the process industries*,
Eckhoff, R. K., 2003.

2.2.4. Ignição de poeira depositada

Poeira depositada no entorno dos equipamentos pode ser formada por emissões fugitivas ou falhas na contenção do processo. No interior dos equipamentos pode acontecer a deposição nas suas superfícies internas.

Os perigos potenciais de poeira depositada incluem fogo na camada de pó ou explosões, caso, por algum motivo, a poeira fique em suspensão no ar. Poeira depositada em superfícies aquecidas podem se aquecer até a ignição e servirem como fonte de ignição para suspensões próximas. Locais que representam um problema são motores, internos de secadores ou locais de estocagem de material a alta temperatura. Outra situação perigosa é a não descontaminação ou a descontaminação parcial de um equipamento antes de um trabalho a quente

como demonstrado na Figura 2.17 (*Dust Explosions in the Process Industries*, 2003).

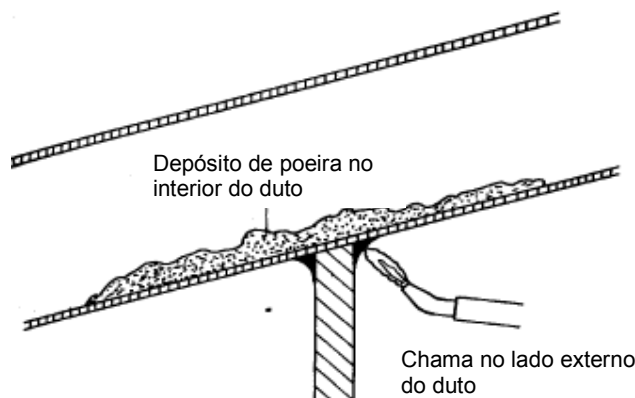


Figura 2.17 – Poeira depositada no interior de duto

Fonte: *Dust Explosions in the Process Industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

A temperatura de autoignição de poeiras depositadas depende da espessura da camada depositada, da sua densidade, da sua estrutura química e do tipo de transferência de calor envolvida. Na Figura 2.18, visualiza-se a relação decrescente da temperatura de autoignição com o aumento da camada depositada.

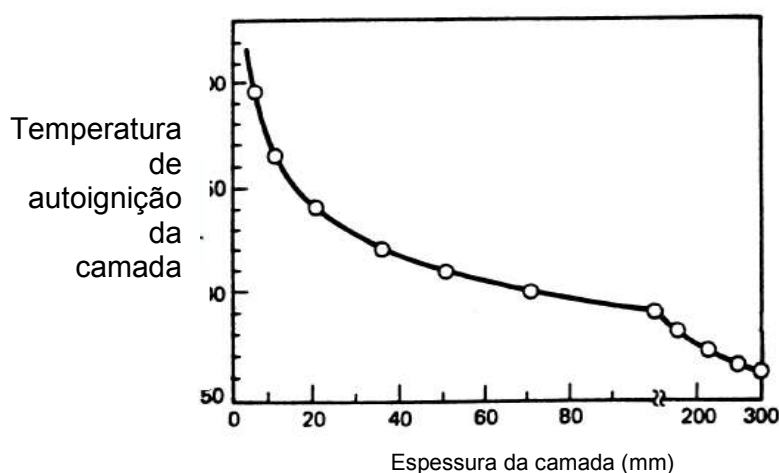


Figura 2.18 - Temperatura de autoignição e espessura de pó depositado.

Fonte: *Dust Explosions in the Process Industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

Um aspecto interessante é o autoaquecimento de poeiras orgânicas depositadas em superfícies aquecidas. Este fenômeno ocorre da seguinte forma: (1) a poeira orgânica reage com o oxigênio do ar gerando calor e a temperatura da poeira depositada neste ponto sobe; (2) como a superfície está aquecida, a taxa de dissipação do calor cai e o aumento da temperatura gera mais oxidação e mais calor; (3) até o momento em que a temperatura atinge o valor de autoignição da poeira e se inicia a combustão com chamas.

Deve-se ter atenção especial com equipamentos de armazenagem de poeiras combustíveis (silos) e o fenômeno da autoignição descrito anteriormente. (*Dust Explosions in the Process Industries*, 2003). Na Figura 2.19, são apontados os potenciais eventos de fogo e explosão que podem ocorrer em silos.

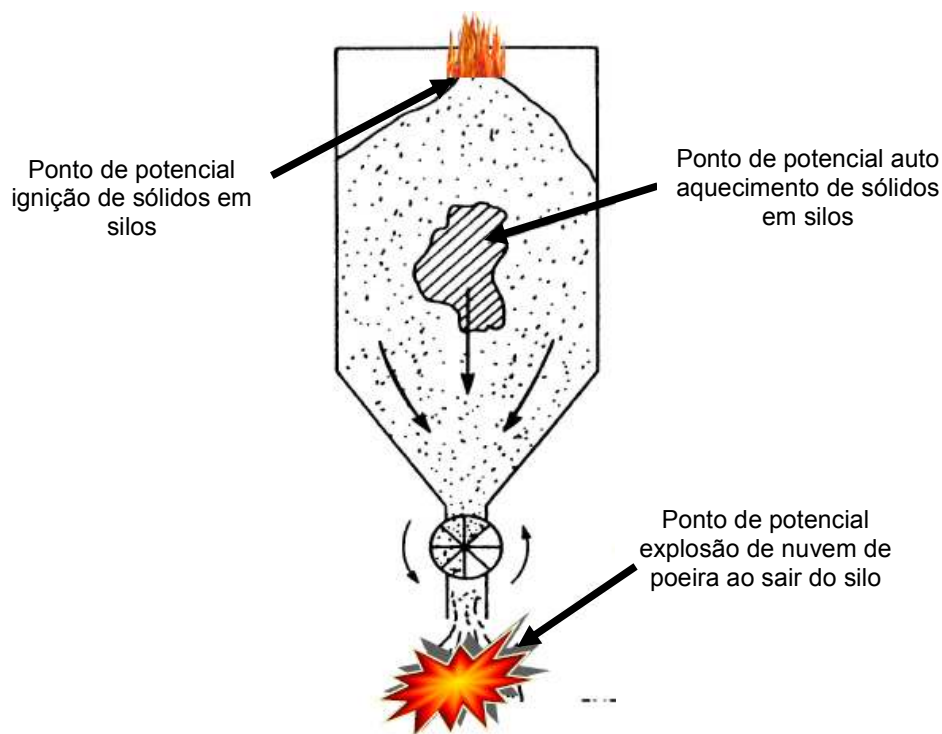


Figura 2.19 – Eventos potenciais de fogo e explosão em silos

Fonte: *Dust Explosions in the Process Industries*, Eckhoff, R. K., 2003.

2.2.5. Perigos específicos de equipamentos

2.2.5.1. Transportadores de correia

A fonte primária de ignição de poeiras em um transportador de correias é a fricção gerada pelo desalinhamento ou por falha nos rolamentos. O material da

correia geralmente é combustível e, por isso, fogo é uma possibilidade nestas cintas e, conseqüentemente, no material em transporte. Este fogo pode se tornar uma fonte de ignição, à medida que se aproxima do ponto de descarga do transportador, onde é comum existir poeira em suspensão e uma explosão pode ocorrer (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.5.2. Elevadores de caçambas

Elevadores de caçambas são equipamentos extremamente propensos a ocorrências de fogo e explosões. Por causa da sua forma e características funcionais é provável que nuvens de poeiras existam continuamente durante a sua operação, principalmente na cabeça e no pé do elevador. Adicionalmente, os elevadores possuem muitas partes móveis como correias, correntes, cintas e as caçambas, que podem quebrar e ficar perdidas dentro do equipamento. As caçambas estão sujeitas a impactos e a cinta de suporte das caçambas pode deslizar nas polias e causar calor por fricção. O resultado é a presença simultânea de fontes de ignição e poeira em suspensão em um espaço confinado, ou seja, fogo e explosão (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.5.3. Silos

Fogos e explosões em silos podem ocorrer devido a uma série de condições operacionais e fontes de ignição. Dentre elas pode-se citar: (1) poeira em suspensão causada por transporte mecânico ou pneumático até o silo; (2) descargas eletrostáticas, com possibilidade de descarga tipo corona (brush discharge) durante o enchimento do silo; (3) a fricção entre partículas e reação de oxidação pode gerar brasa (combustão lenta) no silo; (4) gases combustíveis podem ser gerados em reações de combustão dentro do silo; (5) chama de trabalhos de corte ou solda durante manutenção; (6) centelhas elétricas causadas por problemas de instalação elétrica e aterramento (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.5.4. Coletores de poeira – filtro de mangas

O principal perigo do filtro de mangas é uma explosão ignitada por descarga eletrostática. Explosões são frequentes nestes equipamentos porque há presença de poeira muito fina (grande superfície específica) em turbulência, o que pode causar acumulação de carga eletrostática nas partículas. Outra fonte de ignição pode ser a entrada de partículas em brasa no filtro (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005).

2.2.5.5. Classificadores

O movimento dos sólidos durante o peneiramento pode resultar em carregamento eletrostático das partículas, bem como, a formação de nuvem de poeira. Além de atuar como fonte de ignição, as partículas carregadas podem se agarrar a malha da peneira e reduzir drasticamente sua eficiência. Por isso, todas as partes metálicas do equipamento devem estar aterradas. Três condições básicas devem estar presentes para evitar ignição das partículas (*Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, 2005):

- Todas as partes do equipamento devem estar aterradas, inclusive as peneiras;
- A velocidade relativa, causada pelos movimentos de rotação ou vibração ou oscilação do equipamento, deve ser menor que 1 m/s;
- Os equipamentos conectados com a peneira (geralmente silos) devem ser protegidos contra fogo e explosão.

2.3. PADRÕES DE PREVENÇÃO DE EXPLOSÃO DE POEIRAS

Basicamente os padrões de práticas de engenharia disponíveis para prevenção e proteção contra fogo e explosão de poeiras combustíveis pertencem a National Fire Protection Association (NFPA) e a FM Global. A seguir, se apresenta uma listagem com as principais normas dessas organizações que tratam do assunto:

- NFPA 61 *Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities*;

- NFPA 68 *Guide for Venting of Deflagrations*;
- NFPA 69 *Standard on Explosion Prevention Systems*;
- NFPA 120 *Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines*;
- NFPA 484 *Standard for Combustible Metals*;
- NFPA 654 *Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids*;
- NFPA 655 *Standard for the Prevention of Sulfur Fires and Explosions*;
- NFPA 664 *Standard of Fires and Explosions in Wood Processing and Woodworking Facilities*;
- NFPA 850 *Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations*;
- FM Global *Data Sheets*:
 - 7-17 *Explosion Protection Systems*;
 - 7-73 *Dust Collectors and Collection System*;
 - 7-76 *Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosions and Fire*.

As práticas abordadas nestes padrões apresentam diretrizes para: (1) construção de prédios e estruturas resistentes o suficiente para suportar explosões; (2) estratégias de separação e segregação das áreas de manuseio de poeiras combustíveis de outras áreas de processo; (3) alívio de explosão para prédios; (4) proteção contra explosão para equipamentos; (5) mecanismos de isolamento de equipamentos; (6) estocagem de sólidos combustíveis; (7) sistemas de transferência de material; (8) operações de cominuição; (9) separação de partículas por tamanho; (10) misturadores; (11) secadores; (12) equipamentos coletores de poeira; (13) proteção contra incêndio; (14) limpeza; (15) treinamento, inspeção e manutenção; (16) gestão de mudanças e (17) controle de fontes de ignição.

3. METODOLOGIA

3.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS

O plano de trabalho da dissertação prevê a seleção e aplicação de técnicas de identificação de perigos e análise de riscos de processos industriais na etapa de projeto conceitual para uma modificação no processamento de rejeitos da moagem de misturas de sólidos combustíveis. Após a finalização das análises, os resultados obtidos, em forma de recomendações para o projeto e operação, são discutidos e avaliados.

Inicialmente foi realizado um planejamento conjunto com o departamento de projetos da fábrica de cimento, envolvendo ações em três etapas principais, sendo a primeira, formada por ações de preparação técnica para o estudo, a segunda, por ações de caráter administrativo e, finalmente, a terceira com a realização do estudo e divulgação dos resultados.

As ações da etapa de preparação técnica para o estudo compreenderam o levantamento das informações disponíveis sobre o projeto, incluindo fluxogramas preliminares, descrição das modificações, caracterização do rejeito de moagem do mix de carvão, identificação de práticas de engenharia reconhecidas e geralmente aceitas relacionadas com o tema, seleção da técnica de identificação de perigo a ser aplicada, elaboração de uma matriz de risco e critérios de tolerabilidade e preparação de treinamento na técnica selecionada e equalização de conhecimento sobre o projeto e teoria sobre poeiras combustíveis.

As ações de preparação administrativas incluem recursos humanos disponíveis, recursos externos (consultorias e especialistas), composição da equipe, cronograma, convocação do pessoal da equipe de estudo, comunicação, preparação de infraestrutura geral como sala, equipamentos de projeção, intervalos, lanches etc.

Por fim, a técnica selecionada foi aplicada por uma equipe multidisciplinar e os resultados foram tabulados e divulgados.

A metodologia empregada, bem como a sua aplicação, foram elaboradas e supervisionadas pelo autor.

3.2. MÉTODO

O método utilizado para o estudo de identificação de perigo e análise de riscos foi dividido em três etapas macro, conforme apresentada na Figura 3.1 abaixo.

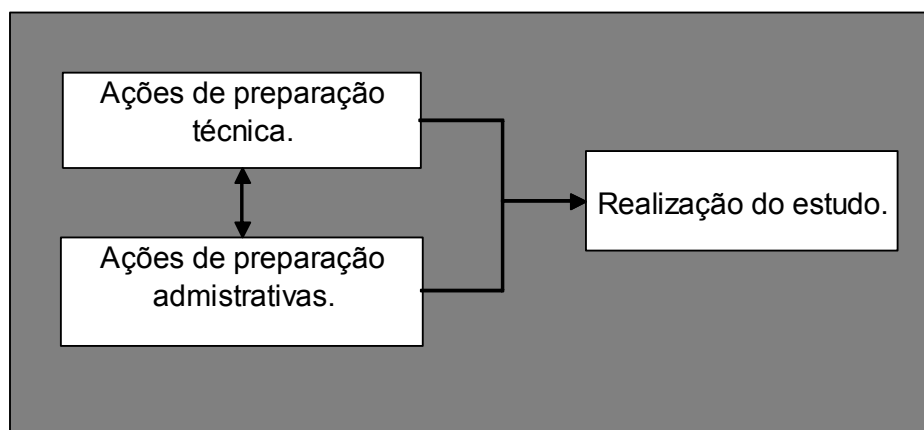


Figura 3.1 – Etapas macro para efetuar um estudo de riscos.

Fonte: Dados do autor.

As etapas de preparação técnica e administrativa devem estar completas antes do início do estudo. A qualidade da preparação irá refletir no resultado final do estudo, por isso, maior esforço e recursos devem ser postos nestas etapas. As atividades de cada etapa podem ser visualizadas na Figura 3.2.

3.2.1. Preparação técnica

3.2.1.1. Informações do projeto e documentação técnica

O projeto na sua fase conceitual consiste no descritivo da modificação pretendida sem especificação dos equipamentos. Além do descritivo, foi desenvolvido um fluxograma preliminar pela área de projetos junto à empresa consultora de engenharia especializada. No Anexo 1, encontra-se o descrito da modificação e, no Anexo 2, o fluxograma da Moagem de Carvão com a introdução do sistema de coleta e retorno de rejeito dos moinhos.

Nº	Atividade	Pré-requisito	Ordem
A – Preparação técnica			
A.01	Levantamento de documentação técnica e outras informações do projeto.	-	1º
A.02	Caracterização dos materiais.	-	1º
A.03	Identificação de práticas de engenharia reconhecidas e geralmente aceitas relacionadas com o tema.	A.01 e A.02	2º
A.04	Seleção da técnica de identificação de perigos	A.01, A.02, B.01 e B.02	5º
A.05	Elaboração de uma matriz de risco e critérios de tolerabilidade.	A.03	3º
A.06	Elaboração de treinamento da técnica escolhida e teoria de poeiras combustíveis.	B.03	6º
B – Preparação administrativa			
B.01	Levantamento dos recursos internos disponíveis	A.01, A.02 e A.03	3º
B.02	Levantamento dos recursos externos disponíveis	A.01, A.02 e A.03	4º
B.03	Composição da equipe	A.04	6º
B.04	Elaboração de cronograma	B.03	6º
B.05	Reserva e preparação de infraestrutura (sala, projetor, documentos, desenhos, comunicação etc.).	B.04	7º
C – Realização do estudo			
C.01	Preparação das premissas do estudo (regras, restrições, hipóteses assumidas e documentos de apoio como check-lists).	B.04	7º
Estudo com equipe multidisciplinar			
C.02	Visão geral do estudo	C.01	8º
C.03	Treinamento na técnica selecionada.	A.06	9º
C.04	Teoria geral de poeiras combustíveis	A.06	10º
C.05	Equalização de informações do projeto com visita a área produtiva.	C.01	11º
C.06	Aplicação da técnica de identificação de perigos e análise de riscos.	C.05	12º
C.07	Resultados – relatório com recomendações para outras fases de projeto e operação.	C.06	13º

Figura 3.2 – Atividades para estudo de riscos.

Fonte: Dados do autor.

3.2.1.2. Caracterização do rejeito de moagem

O rejeito de moagem possui características que podem variar, dependendo da composição da mistura de sólidos combustíveis alimentados nos moinhos, das condições de operação e de características do equipamento. No Anexo 3, se apresentam algumas características do rejeito, assim como dos sólidos combustíveis que lhe dão origem.

Os parâmetros para determinar o quanto uma poeira é perigosa, dependem de testes que não estão disponíveis na organização como a determinação da mínima concentração explosiva (MEC), a energia mínima de ignição (MIE), P_{max} , K_{st} e concentração mínima de oxigênio (LOC). Além disso, há uma variação na qualidade da poeira, resultado da variação das matérias-primas do mix e das condições de processo. De acordo com as características do mix e do rejeito verificados no Anexo 3, por aproximação, pode-se caracterizar a poeira do rejeito como potencialmente explosiva, principalmente, nos equipamentos elevador de canecos, peneira vibratória e silo. Nestes equipamentos, além do pó de carvão fino já contido no rejeito, há o efeito de formação de mais finos através do atrito com os internos dos equipamentos e entre as próprias partículas do rejeito.

3.2.1.3. Identificação de práticas de engenharia reconhecidas

Das normas e padrões levantados no item 2.3 desta monografia, Padrões de Engenharia para Prevenção de Fogo e Explosão de Poeiras Combustíveis, julgou-se adequado à consulta e utilização para esta fase do projeto, os documentos listados abaixo:

- NFPA 61 *Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities*;
- NFPA 68 *Venting of Deflagrations*;
- NFPA 69 *Explosion Protection Systems*;
- NFPA 654 *Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids*;
- FMG I Data Sheets:

- *7-17 Explosion Protection Systems;*
- *7-73 Dust Collectors and Collection System;*
- *7-76 Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosions and Fire.*

A NFPA 61, apesar de ser direcionada a agricultura, foi selecionada por apresentar requisitos para elevadores de canecos. Já a NFPA 654, apresenta requisitos para vários equipamentos, assim como medidas de prevenção e proteção, abordando, inclusive aspectos operacionais.

3.2.1.4. Seleção da técnica de identificação de perigos

Conforme posto no item 2.1.4, fatores de seleção de técnicas de identificação de perigos, nesta fase do ciclo de vida do empreendimento, as técnicas recomendadas são Check-list, Análise Preliminar de Perigos (APP) e What-If.

Para determinar qual técnica será aplicada na fase conceitual do projeto, devem-se analisar as respostas das questões a seguir, contra as características de cada técnica, já apresentadas no item 2.1.3 desta dissertação.

- a. Qual a motivação do estudo?
- b. Quais os resultados esperados?
- c. Quais informações estão disponíveis?
- d. Qual a percepção da organização quanto aos riscos envolvidos?
- e. Quais os recursos disponíveis?

Na Figura 3.3, são colocadas as respostas e a análise quanto às três técnicas pré-selecionadas.

Respostas		Check-list	APP	What-If
a.	Melhoria da segurança de processo e operabilidade para a modificação.	1	1	2
b.	Lista de recomendações para projeto básico e detalhado. Verificar se o projeto está de acordo com padrões de engenharia.	2	1	1
c.	Descrição da modificação, fluxograma integrando a modificação proposta com o sistema atual e alguns dados de caracterização do rejeito (parciais). Normas e padrões de engenharia.	2	1	1
d	A organização percebe o risco de explosão na modificação, mas há incerteza quanto aos efeitos.	2	2	2
e	<p>Equipe disponível para análise (1,5 dias):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Engenheiro de projeto da fábrica; • Engenheiro de segurança da fábrica; • Gerente de operação da fábrica; • Gerente de manutenção da fábrica. <p>Pessoal externo disponível para análise (1,5 dias):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dois engenheiros de consultoria especializada. <p>Equipe com muita experiência operacional e de projeto, mas com baixa experiência em segurança de processos e aplicação de técnicas de identificação de perigos.</p>	2	2	2
Total		9	7	8
Critérios: (2) Atende integralmente; (1) Atende parcialmente; (0) Não atende.				

Figura 3.3 – Matriz para seleção de técnica de identificação de perigos.

Fonte: Dados do autor.

O resultado da análise indica as técnicas check-list e What-If como mais adequadas à situação apresentada nas respostas da Figura 3.3. Ambas as técnicas, check-list e What-If, foram aplicadas. A técnica check-list requer um trabalho de pesquisa e elaboração antecipadas. Este trabalho ficou a cargo do engenheiro de projetos da fábrica e do engenheiro de segurança da fábrica.

3.2.1.5. **Elaboração da matriz de risco e critérios de tolerabilidade**

A matriz de risco foi construída, antecipadamente, pelo Engenheiro de Segurança da fábrica e pelo Engenheiro de projeto. A matriz é totalmente conceitual, propiciando uma análise qualitativa do risco, pois os dados de acidentes na Organização não estão disponíveis para estimação de frequências. Foi escolhida a forma 5 x 4, conforme exposto nas Figuras 3.4 para frequência, 3.5 para consequências, 3.6 para matriz de risco e 3.7 para critérios de tolerabilidade.

Frequências	
Nível	Descritivo
5	É provável ocorrer uma vez ou mais em uma década.
4	É provável ocorrer uma vez durante a vida do processo / instalação.
3	É provável ocorrer no segmento industrial.
2	É pouco provável ocorrer. Pode ter ocorrido em outro segmento industrial.
1	É improvável de ocorrer. Nunca ocorreu.

Figura 3.4 – Nível de frequências.

Fonte: Dados do autor.

Conseqüências			
Severidade		Integridade física das pessoas	Produção
4	Muito alta	Múltiplas fatalidades.	Mais de 1 mês de parada e de perda de produção.
3	Alta	Fatalidade ou danos permanentes.	De 1 semana a 1 mês de parada e de perda de produção.
2	Média	Lesões com perda de tempo.	Até 1 semana de parada
1	Baixa	Lesões sem perda de tempo.	Perdas insignificantes.

Figura 3.5 – Severidade das conseqüências.

Fonte: Dados do autor.

		Conseqüências			
Frequências		1	2	3	4
	5	C	B	A	A
	4	D	C	B	A
	3	D	D	C	B
	2	D	D	D	C
	1	D	D	D	D

Figura 3.6 – Matriz de risco.

Fonte: dados do autor

Critérios de Tolerabilidade de Risco			
Risco	Prioridade	Região	Ação
A	Alta	Intolerável	Requer redução do risco para nível C ou D. Não pode operar sem reduzir.
B	Média	ALARP Médio	Requer redução do risco para nível tão baixo quanto razoavelmente praticável. Não pode operar sem reduzir para C.
C	Baixa	ALARP Baixo	Requer redução do risco para nível tão baixo quanto razoavelmente praticável. Pode operar.
D	Muito baixa	Tolerável	Não requer mais redução do risco.

Figura 3.7 – Critérios de tolerabilidade.

Fonte: Dados do autor.

Os riscos da região ALARP devem ser gerenciados ou controlados de modo que se atinjam as maiores reduções possíveis ou praticáveis.

3.2.1.6. **Elaboração de treinamentos técnicos**

É importante que todos os participantes do estudo tenham um conhecimento básico da técnica de análise e fundamentos sobre os materiais, suas características e seus perigos. Um treinamento foi preparado para ser aplicado antes da realização do estudo com o objetivo de equilibrar o conhecimento da equipe e obter o melhor rendimento possível. Na Figura 3.8, apresentam-se os conteúdos dos treinamentos.

Técnicas de Identificação de perigos	Teoria de Explosão de Poeiras
<ul style="list-style-type: none"> • Conceitos e definições de risco, perigo, evento perigoso, condição perigosa, evento iniciador, explosão, deflagração, identificação de perigos, análise de risco, análise qualitativa de riscos, matriz de risco, tolerabilidade de risco, salvaguardas, medida de controle de risco / medidas mitigadoras, redução de risco; • Apresentação da técnica What-If passo-a-passo; • Apresentação da planilha de What-If com exemplo; • Apresentação da técnica check-list passo-a-passo; • Apresentação do check-list. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados históricos; • Pentágono de explosão de poeiras; • Propriedades físico-químicas das poeiras; • Medidas de prevenção de explosão; • Medidas de proteção contra explosão; • Perigos oriundos dos equipamentos de processamento e transporte de sólidos combustíveis.

Figura 3.8 – Conteúdo dos treinamentos pré-estudo.

Fonte: Dados do autor.

3.2.2. Preparação administrativa

3.2.2.1. Recursos disponíveis

Foi negociada com a gerencia de projetos e com a gerencia da fábrica, a participação de dois engenheiros do setor de projetos, dos gerentes de produção e manutenção da fábrica, do engenheiro de segurança e de um técnico de segurança. O tempo negociado foi de 1,5 dia para os gerentes de operação e manutenção e 5 dias para os engenheiros de projeto e de segurança. Além dos recursos internos, foi negociada com a empresa especializada, contratada para elaborar o projeto, a participação de dois projetistas experientes no estudo durante 1,5 dias.

3.2.2.2. Composição da equipe

Com os recursos disponibilizados, a composição da equipe do estudo ficou de acordo com a Figura 3.9.

3.2.2.3. Cronograma

Foi desenvolvido um cronograma de trabalho para todas as etapas do estudo. O cronograma foi aprovado pelos gerentes de projetos e gerente da fábrica. Após sua aprovação, o cronograma foi distribuído para todos os envolvidos. A gestão do cronograma coube ao engenheiro de projetos da fábrica.

A Figura 3.10 representa o cronograma desenvolvido.

Função no estudo	Equipe	Experiência
Líder	Eng. Projeto da Fábrica	12 anos no segmento industrial. Treinado na técnica What-If.
Escriba	Técnico de Segurança	5 anos de experiência em indústria.
Representante de projetos / Engenharia	Eng. Projeto Corporativo	15 anos de experiência no segmento industrial. Treinado na técnica What-If.
Representante de Operações	Gerente de produção	15 anos de experiência no segmento industrial.
Representante de segurança	Eng. De Segurança do trabalho da fábrica	8 anos de experiência.
Especialista	Gerente de manutenção da fábrica	13 anos de experiência no segmento industrial.
Especialista	Externo – Eng. Projetista – consultoria de projetos	35 anos de experiência no segmento industrial e com projetos de fábrica.
Especialista	Externo – Eng. Projetista – consultoria de projetos	16 anos de experiência com projetos industriais.

Figura 3.9 – Composição da equipe.

Fonte: Dados do autor.

3.2.2.4. **Preparação de infraestrutura**

Foi reservada uma sala ampla com uma mesa de reuniões grande o suficiente para todos participantes e para manusear desenhos e documentos. A sala contém projetor e quadro branco. Foram programadas duas paradas para lanches durante o dia do estudo. Os desenhos e documentos foram colocados previamente na sala. Café e água estavam disponíveis.

No	Atividade	Responsável	Prazo
01	Reserva e preparação de infraestrutura (sala, projetor, documentos, desenhos, comunicação etc.).	Engenheiro de projeto da fábrica	16/08/2010
02	Confirmar o estudo com a equipe, inclusive recursos externos.	Engenheiro de projeto da fábrica	16/08/2010
03	Preparar o check-list e premissas do estudo.	Engenheiro de projeto e engenheiro de segurança da fábrica	17/08/2010
04	Comunicar e transmitir informações prévias para a equipe (check-list, cronograma, documentos do projeto, outras informações).	Engenheiro de projeto da fábrica	18/08/2010
05	Realizar o estudo.	Todos	26 e 27/08/2010
06	Elaborar o relatório	Engenheiro de projeto da fábrica	03/09/2010
07	Aprovar com gerente de projetos	Engenheiro de projeto da fábrica	09/09/2010
08	Comunicar resultados	Engenheiro de projeto da fábrica	14/09/2010

Figura 3.10 – Cronograma do estudo de riscos.

Fonte: Dados do autor.

3.2.3. Realização do estudo

3.2.3.1. Preparação do check-list

O check-list foi preparado, em antecipação, pelo engenheiro de projetos da fábrica e pelo engenheiro de segurança, supervisionados pelo autor. A base foram os padrões listados no item 3.2.1.3.

O formato escolhido para o check-list permite que se faça avaliação do risco com base nas possíveis consequências encontradas quando o item não for atendido. Na Figura 3.11, apresenta-se o modelo de check-list utilizado no estudo.

Estudo:							
Item Nº	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.00 -							
1.01							
1.02							
1.03							
1.04							

Figura 3.11 – Modelo de check-list.

Fonte: Dados do autor.

3.2.3.2. Premissas e hipóteses para o estudo

As premissas e hipóteses a serem adotadas no estudo, assim como a definição dos nós de estudo foram preparadas com antecedência. A tarefa coube ao engenheiro de projetos da fábrica que no caso cumpre função de líder do estudo.

O escopo do estudo (limites) foi definido como sendo: saída do rejeito dos moinhos (# 1, # 2, # 3 e # 4) até a entrada do filtro de mangas 037 - FM 1, saída da tromba telescópica e retorno do material retido para os silos 037-SI1 e Silo 037-SI3.

Os nós de estudo para aplicação do what-If foram definidos como:

- Nó 01 – Saída de rejeito dos moinhos até entrada do pé do elevador;
- Nó 02 – Entrada do pé do elevador até a saída na cabeça do elevador;
- Nó 03 – Entrada da peneira vibratória, despoeiramento até a entrada do filtro e mangas 037 – FM 1 e saída da peneira para silo, passando pelo silo até a saída de material pela tromba telescópica.

Foram assumidas duas hipóteses básicas sobre poeiras combustíveis, a saber: (a) quando ocorrer a formação de poeira em confinamento com presença de oxidante é possível a ocorrência de explosões; (b) o acúmulo de pó combustível pode gerar fogo por auto aquecimento.

Quanto à operação e manutenção do sistema foram assumidas as seguintes premissas: (a) o sistema é operado remotamente no painel e por um operador de campo presente durante todo o tempo; (b) inspeção realizada uma vez na

semana por um inspetor, e manutenção uma vez ao mês, por equipe de duas a cinco pessoas.

3.2.3.3. Desenvolvimento do estudo de riscos

Na data programada foi realizado o estudo de identificação de perigos e análise de riscos. As atividades efetuadas foram realizadas na sequência apresentada na Figura 3.13.

O modelo de planilha utilizado para a técnica What-If é apresentado na Figura 3.12.

A técnica do What-If compreende dois momentos distintos. O primeiro corresponde à sessão de perguntas e o segundo o de respostas. Na sessão de respostas, primeiro se responde as possíveis consequências da pergunta What-If sem levar em conta as salvaguardas definidas no projeto, após se consideram as salvaguardas e, por fim se analisa o risco considerando as salvaguardas atuais e se for necessário se propõe recomendações adicionais.

What-If							
Unidade:	Data						Folha
Instalação / processo:	Sistema						
Docs Referencia:	Subsistema						
Participantes:							
No.	What If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	E	C	R	Recomendações

Figura 3.12 – Modelo de planilha de What-If.

Fonte: Dados do autor.

Nº	Atividade	Responsável	Tempo (minutos)
1º dia			
01	Boas vindas à equipe, apresentação dos objetivos, resultados esperados e papéis e responsabilidades da equipe.	Eng. Projetos da fábrica	30
02	Equalização de conhecimento		
	Apresentação de conceitos de identificação de perigos, análise de riscos e das técnicas utilizadas (check-list e What-If).	Eng. Projetos da fábrica	60
	Apresentação da matriz de risco e critérios de tolerabilidade preparados (ver item 5.2.1.5, Elaboração de uma matriz de risco e critérios de tolerabilidade).	Eng. Projetos da fábrica	30
	Apresentação de teoria básica de poeiras combustíveis.	Eng. Projetos da fábrica	45
	Apresentação das informações disponíveis do projeto e material (rejeito).	Eng. Projetos da fábrica e projetistas (empresa contratada)	30
	Visita à área.	Todos	30
03	Aplicar a técnica check-list		
	Responder as questões e prever consequências caso a questão não seja atendida.		120
	Analisar o risco com os critérios da matriz de risco e propor recomendações.		90
2º dia			
04	Aplicar a técnica What-If		
	Sessão de perguntas para Nó 01		20
	Sessão de perguntas para Nó 02		30
	Sessão de perguntas para Nó 03		20
	Sessão de respostas para Nó 01		20
	Sessão de respostas para Nó 02		30
	Sessão de respostas para Nó 03		20

Figura 3.13 – Programação de atividades do estudo de risco.

Fonte: Dados do autor.

4. RESULTADOS

Nos dias programados, 26 e 27 de agosto de 2010, foram realizados os estudos de identificação de perigos e análise de riscos para a modificação proposta no sistema de moagem de combustíveis sólidos da fábrica de cimento. O estudo iniciou, conforme programação, no dia 26 pela manhã com a presença do Engenheiro de Projetos da Fábrica, Engenheiro de Projetos Corporativo, Engenheiro de Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista Líder da empresa contratada para elaborar o projeto básico e detalhado da modificação, outro Projetista da empresa contratada, o Gerente manutenção, o Gerente de Produção, e um Técnico de Segurança do Trabalho que atende ao setor de moagem de combustíveis sólidos.

No primeiro dia do estudo, pela manhã, foram realizados treinamentos e apresentações para equilibrar o conhecimento sobre o projeto conceitual da modificação, sobre as técnicas de identificação de perigos e análise de riscos empregadas no estudo e, sobretudo, da teoria de explosão de sólidos combustíveis (poeiras).

Ainda no primeiro dia, aplicou-se a técnica de check-list. As questões do check-list foram preparadas com antecedência pelo Engenheiro de Projetos da Fábrica com auxílio do Engenheiro de Segurança do Trabalho e supervisão do autor. As questões foram fundamentadas nas normas NFPA 61 e NFPA 654, visando garantir no estudo a consideração de requisitos de práticas de engenharia reconhecidas e aceitas pela indústria e organismos governamentais para manuseio de poeiras combustíveis.

No segundo dia do estudo, aplicou-se a técnica What-If, buscando-se ampliar o entendimento do sistema proposto, em exercício de imaginação coletiva quanto às possibilidades de ocorrências, suas consequências e recomendações. Neste estudo, além dos aspectos de segurança do processo, buscou-se também pesquisar questões de operabilidade do sistema.

Nos Apêndices A e B encontram-se as planilhas preenchidas das técnicas utilizadas no estudo, Check-list e What-If respectivamente.

4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na Figura 4.2, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de identificação de perigos e análise de riscos. Os resultados, na sua maior parte (69%), são recomendações de ajustes, caracterizações, cálculos e especificações para as etapas seguintes do projeto. Outras recomendações (31%) abordam a fase de pré-partida e operação e são medidas de caráter administrativo.

A Figura 4.2 também relaciona as recomendações com os seus cenários acidentais de origem, referenciando o número da linha das planilhas de Check-list ou What-If. As recomendações estão hierarquizadas conforme o risco analisado. Na Figura 4.1, pode-se visualizar o perfil das recomendações de acordo com o nível de prioridade de risco.

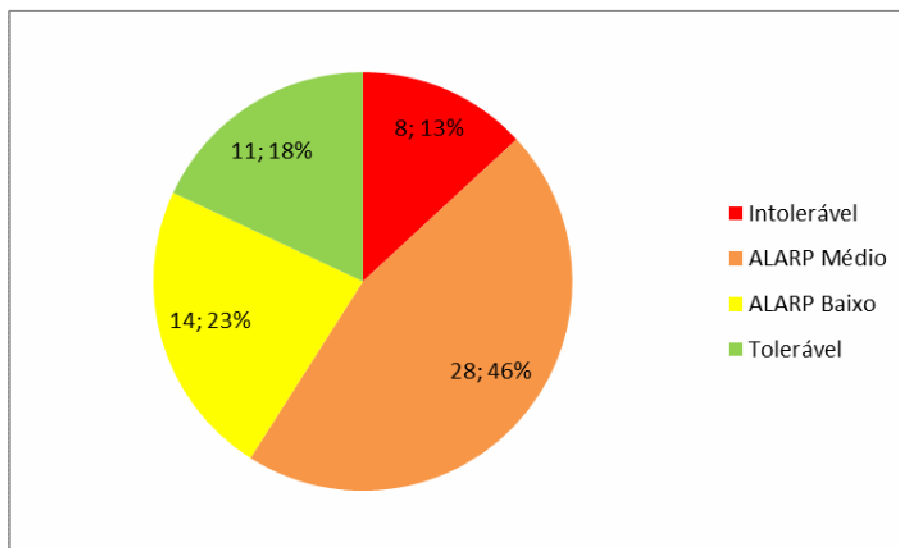


Figura 4.1 – Distribuição de recomendações por risco associado

Nº	Recomendação	Projeto	Administrativa	Check-list	What-If	Risco
01	Estudar estratégia de amostragem dos rejeitos nos moinhos. Amostrar e testar para os parâmetros: P_{max} , K_{st} , MIE, MEC. Além disso, obter mais dados de percentual de finos e distribuições granulométricas do rejeito. Usar até U.S. Mesh 200.	X		1.01	2.07	A
02	Rever sistemas de proteção de explosão (painéis de alívio e supressão) e prevenção de explosão previstos. Tomar como base as características da poeira do rejeito, conforme recomendado acima, e de acordo com as normas NFPA 654, NFPA 61 e NFPA 68. Considerar hipótese de aumento de finos no elevador com mesmo perfil do produto de moagem.	X		1.03	1.05	A
03	Implantar sistemas de isolamento após o elevador, após peneira e no despoeiramento para filtro. Prever sistema de isolamento na descarga do silo.	X		1.05 1.14		A
04	Propor sistema preventivo para ignição e fogo no material presente nas correias transportadoras no retorno para os silos de carvão (Detectores de temperatura).	X		1.05		A
05	Realizar estudo de classificação antes da aquisição de equipamentos elétricos.	X		1.12 1.11	3.09	A
06	Assegurar no projeto detalhado, posicionamento da peneira em local livre da zona de abertura do painel. Usar defletores nos painéis baixos (primeiro) e nos que apresentam riscos (peneira e acessos que apresentarem riscos às pessoas e outros equipamentos).	X		4.04	1.02 2.02 2.09	A

Nº	Recomendação	Projeto	Administrativa	Check-list	What-If	Risco
07	Verificar com fornecedor de proteções de explosão, opções de proteções para cabeça do elevador (painéis com defletores, supressão ou combinação). Analisar posicionamento da proteção para evitar projeções sobre pessoas.	X		4.05	1.02	A
08	Prever no projeto de detalhamento as proteções de máquina para os transportadores de correia.	X			1.11	A
09	Incluir os requisitos de aterramento e equipotencialização para portas de acesso nos equipamentos no projeto de detalhamento e especificação de compras.	X		2.04		B
10	Prever no detalhamento e especificação do elevador, mecanismo para evitar escorregamento da cinta. Sensor de desalinhamento (Regular o sensor de desalinhamento para desarmar o elevador antes da cinta encostar na carcaça). O rolo de acionamento e retorno deve ser abaulado.	X		4.14	2.06 2.11	B
11	Instalar sensor de temperatura tipo PT100 no pé do elevador fora da ação do rolo de retorno e caçambas (Faixa limite de atuação para desarmar o elevador: 200 °C).	X		4.14	2.06	B
12	Verificar com fornecedor opções de cinta resistente ao fogo e óleos. A resistividade não deve exceder 100 megohms.	X		4.15 4.16		B
13	Verificar com fornecedor se as características construtivas do elevador mantem o fluxo elétrico entre partes isoladas do elevador.	X		4.20		B
14	Verificar a possibilidade de intertravar o elevador e transportadores com a parada do sistema de tiragem de finos dos moinhos.	X			1.05	B

Nº	Recomendação	Projeto	Adminis	Check-list	What-If	Risco
15	Prever na especificação do elevador a utilização de correia com alma de cabo de aço.	X			2.01	B
16	Prever a instalação de um sensor de velocidade para a cinta e uma chave de nível no pé do elevador e avaliar o intertravamento do moinho com o sistema de transporte (elevador e transportador).	X			2.01 2.04	B
17	Estabelecer plano de inspeção e manutenção da correia do elevador com base em informações do fabricante.		X		2.01	B
18	Acessar as válvulas de explosão abaixo do nível 123 com plataforma móvel.		X		2.02	B
19	Instalar barreiras físicas para restrição de acesso às válvulas acima do nível 123.	X			2.02	B
20	Pintura e sinalização das áreas de risco (pintura horizontal e placas – verificar com a segurança do trabalho as mensagens).		X		2.02	B
21	Avaliar a instalação de grade na parte interna das válvulas de alívio de explosão.	X			2.02	B
22	Treinamento dos operadores e equipes de manutenção informando e conscientizando quanto aos riscos existentes, principalmente sobre os painéis de alívio de explosão.		X		2.02	B
23	Instalar os mancais de rolamento autocompensadores de rolos fora da caixa do elevador.	X			2.03	B
24	Avaliar a instalação de um sistema de giro lento no elevador.	X			2.04	B
25	Em caso de mudança do mix de combustível, fazer a Gestão de Mudanças e analisar o novo Mix (caracterizar o material e verificar se atende NFPA 68).		X		2.05	B
26	Considerar no plano de manutenção uma inspeção do revestimento do rolo de acionamento e retorno.		X		2.06	B

Nº	Recomendação	Projeto	Admini	Check-list	What-If	Risco
27	Verificar possibilidade de intertravamento do elevador e transportadores com desalinhamento de caçambas.	X			2.11	B
28	Realizar inspeção nos painéis de alívio de explosão somente com equipamento parado de acordo com orientações do fabricante.		X		2.12	B
29	Implantar procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.		X		2.12 3.01 3.05	B
30	Manter um jogo de membranas para os painéis de alívio de explosão em estoque.		X		2.12	B
31	Utilizar sistemática de permissão de trabalho para qualquer intervenção nos equipamentos do sistema de recirculação e recuperação de rejeitos, principalmente trabalhos a quente. Limpar o equipamento eliminando os resíduos de pó antes de emitir a permissão.		X		1.06 2.16 2.25 2.26 2.27	B
32	Considerar nível máximo do silo 0,5 m abaixo das válvulas de alívio de explosão intertravar alimentação com sonda de nível (alto e muito alto).	X		1.04	3.01 3.06	B
33	Sistema de aspersão de água no topo do silo acionamento por sensor para medição da temperatura no topo do silo.	X		1.04	3.01	B
34	Estabelecer procedimento de limpeza periódico em pontos com geração de poeira (housekeeping).		X	1.04 1.07		B
35	Prever acessos para limpeza ao longo das correias, pontos de carga e descarga no projeto detalhado.	X		1.08		C
36	No caso do elevador, estudar possibilidade de usar piso em grade nos acessos (verificar gradeamento que minimize acúmulo de pó).	X		1.08		C

Nº	Recomendação	Projeto	Adminis	Check-list	What-If	Risco
37	Verificar com fabricante se as portas de acesso foram construídas para assegurar estanqueidade.	X		2.05		C
38	Assegurar no cálculo da extensão do sistema de despoeiramento conectado a peneira e elevador, um volume e uma velocidade suficiente para impedir deposição de pó. Assegurar ângulo de 30° nas ramificações.	X		3.02 3.04		C
39	Considerar o dispositivo para controle de sobrecarga nos transportadores de correias.	X		3.05		C
40	Prever em procedimento de manutenção monitoramento de temperatura e vibração de mancais (procedimento deve ser feito com base em informações do fornecedor do equipamento e estar pronto com pessoal treinado antes da partida do sistema).		X	4.17		C
41	Considerar colocação de alarme no painel para a parada do transportador de correia (moinho – elevador).	X			1.01 1.10	C
42	Instalar válvula duas vias na saída de rejeitos nos moinhos.	X			1.01 1.10	C
43	Verificar a possibilidade de instalar detector de metais antes do elevador. Gradeamento magnético e na entrada da peneira.	X			1.09 3.04	C
44	Instalar sistema de aspersão de água dentro da carcaça do elevador na parte superior com válvula de 03 vias (verificar se o peso excedente da água não pode danificar a estrutura).	X			2.07	C
45	Incluir a inspeção de pré-partida a fixação dos painéis (todos).		X		2.20	C
46	Verificar o torque para fixações dos parafusos dos painéis. Inserir o torque no plano de manutenção.		X		2.20	C

Nº	Recomendação	Projeto	Adminis	Check-list	What-If	Risco
47	Treinamento e conscientização das equipes de produção e manutenção quanto aos riscos de não se colocar todos os parafusos.		X		2.20	C
48	Estabelecer procedimento para uso de equipamento que irradia energia (sonda de ultrassom) no sistema de reaproveitamento de rejeito de moagem.		X		2.25	C
49	Considerar desvio da entrada da peneira para silo de finos intertravado com senso de nível da peneira.	X			3.07 3.08	C
50	Aterramento da carcaça do elevador e uso de correia antiestática.	X			2.13	C
51	Projetar o sistema com a mínima perda possível de poeira. Verificar com fornecedor do equipamento soluções para maior estanqueidade.	X		1.02 4.23		D
52	Implantação de PPR e medições ambientais durante a fase de operação do sistema.		X	1.02		D
53	Estudar a necessidade de colocar válvula quebra vácuo nos filtros e silos.	X		2.06		D
54	Considerar na revisão de segurança de pré-partida a verificação do sentido dos transportadores.		X		1.04	D
55	Verificar se existem hidrantes e casa de mangueiras disponíveis para combater fogo nos transportadores.				1.08	D
56	Utilizar as válvulas de desvios 037-VV6 e 037-VV8 para amostrar rejeito.	X			1.12	D
57	Capacidade do sistema suficiente para suportar a avalanche de um moinho.	X			1.13	D
58	Elaborar projeto de iluminação para o novo sistema, considerar as necessidades de inspeção.	X			2.21	D

Nº	Recomendação	Projeto	Administ	Check-list	What-If	Risco
59	Utilizar as plataformas do elevador e da válvula 037-VV5 para acesso para inspeção e manutenção.		X		2.24	D
60	Avaliar a utilização de revestimento no chute.	X			2.24	D
61	Chave de nível para chute de descarga antes da válvula 037-VV5 com uma extensão para proteção da sonda.	X			3.02	D

Figura 4.2 – Resultados do estudo de risco.

Fonte: dados do autor

As principais recomendações, associadas aos riscos intoleráveis, para o projeto da modificação estão relacionadas com a caracterização do material (rejeito de moagem do mix de carvão), classificação da área e com a instalação de dispositivos de proteção contra explosão e isolamento de explosão no elevador e no silo. Outra recomendação associada a risco intolerável foi a inserção de proteção de máquinas nas partes móveis dos equipamentos previstos no projeto. As recomendações para o projeto, associadas aos riscos de nível médio, claramente estão voltadas para a questão de prevenção de ignição com medidas para eliminar ou reduzir cargas estáticas, sobreaquecimentos por falhas mecânicas e elétricas, faíscamentos produzidos por atritos e choques.

As principais recomendações de caráter administrativo estão associadas a riscos de prioridade média e visa estabelecer procedimentos seguros para manutenção e inspeção dos equipamentos, restrições de acesso às áreas de risco, limpeza da área e de equipamentos. Outra recomendação de mesma relevância é a obrigatoriedade de reanálise dos riscos no caso de mudança de qualidade do mix de combustível.

As recomendações relacionadas à operabilidade do sistema ficaram relacionadas com os riscos de prioridade baixa ou muito baixa.

4.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As recomendações de alta prioridade, de risco intolerável, foram, na sua maioria, elaboradas a partir de aplicação da técnica do *check-list*. A aplicação da técnica do *check-list* assegurou que questões fundamentais da teoria de explosão de poeiras e práticas reconhecidas da indústria fossem exploradas, principalmente, a análise de requisitos relacionados com equipamentos de processamento e transporte de sólidos como o elevador de canecos.

As recomendações de alta prioridade são compostas, basicamente, por medidas de proteção contra explosão, o que demonstra o caráter intrinsecamente perigoso da modificação proposta, pois em quase todo o sistema há possibilidade de se encontrar as cinco condições necessárias para uma explosão de poeira combustível (combustível, oxidante, suspensão do combustível, confinamento e fontes de ignição).

A caracterização do rejeito e do pó de carvão produzidos nos moinhos é de vital importância para o cálculo correto das proteções contra explosões, visto que, dependendo do tamanho de partícula e características químicas do material, o índice de deflagração (K_{st}) e a pressão máxima (P_{max}) podem indicar o aumento ou diminuição da força de uma explosão, implicando em maior área de alívio ou na necessidade de adoção de medidas combinadas de alívio e supressão de explosão.

A aplicação da técnica *What-If*, após o *check-list*, gerou recomendações complementares, com características voltadas à operação e controle das fontes de ignição e controle do processo produtivo. Alguns questionamentos do *What-If* tiveram foco somente na questão de operabilidade do novo sistema. A geração de perguntas na aplicação da técnica *What-If* foi abaixo do esperado para sistemas do porte da modificação proposta. Foram geradas apenas 49 perguntas *What-If*, quando pela experiência, comumente são produzidas perguntas em maior número, chegando às vezes a ultrapassar uma centena. Provavelmente, a aplicação do *check-list* no dia anterior e a falta de hábito da equipe com a técnica contribuíram para a geração de poucas questões. Outro fator que pode ter contribuído para o baixo número de questões foi a escassez de informações sobre o projeto e material (rejeito) disponibilizadas à equipe. Entretanto as

questões levantadas, na sua maioria, geraram recomendações relevantes para a continuidade do projeto.

Um fator importante para a obtenção dos objetivos esperados no estudo foi a equalização de conhecimentos, principalmente, sobre a teoria de poeiras explosivas, da qual os participantes não detinham os fundamentos necessários para imaginar todas as possibilidades e cenários que poderiam surgir a partir da proposta de modificação analisada. As informações apresentadas foram essenciais para responder ao *check-list* e para formular e responder as questões *What-If*.

Quanto à condução da análise e aplicação das técnicas, verificou-se que o *check-list* não suscitou muitas dificuldades, provavelmente porque as questões foram formuladas com antecedência com base em normas técnicas reconhecidas sobre o tema. Na condução do *What-If*, o líder não conseguiu extrair mais questionamentos da equipe e por alguns momentos deixou que críticas fossem realizadas a perguntas elaboradas, o que pode ter inibido a formulação de mais questionamentos por parte da equipe. Outro ponto a considerar, foi a tentativa de alguns membros de dar respostas imediatas às perguntas durante a sessão de perguntas, o que certamente quebrou a seqüência de imaginação e geração de mais perguntas.

O caráter multidisciplinar da equipe proporcionou o surgimento de questões sobre diversos assuntos, justificando a adoção desta sistemática de análise em detrimento de reuniões pontuais da equipe de projetos com as partes interessadas. O método adotado nivela conhecimento sobre o processo em questão e facilita o entendimento das interfaces entre os diversos papéis presentes na fábrica (projetos, operação, manutenção, segurança). Como resultado da multidisciplinaridade do estudo, obteve-se em um dia e meio o que por outros métodos poderia consumir um tempo bem maior dos envolvidos com troca de correios eletrônicos, questionamentos, telefonemas, problemas de comunicação, entendimento parcial dos assuntos, entre outros. Num mesmo estudo foram tratados aspectos de proteção de máquinas, visando à segurança do trabalho, questões de automação e lógica do processo, visando à operabilidade, questões de caracterização de materiais e efeitos de fogo e explosão para alcançar segurança do processo e continuidade operacional, questões de acesso à área, sinalização de segurança e permissões de trabalho a

quente, visando à segurança e saúde das pessoas durante a operação, manutenção e inspeção.

A metodologia de análise de risco de processos demonstrou ser plenamente aplicável para sistemas envolvendo sólidos combustíveis como, já é, comprovadamente, para os sistemas que manuseiam substâncias consideradas altamente perigosas. As organizações devem compreender os seus processos de manuseio de combustíveis sólidos, caracterizar as poeiras combustíveis, identificar potenciais cenários acidentais e avaliar seus riscos antes que acidentes ocorram. No caso de projetos, os estudos de risco devem ser constantemente atualizados, conforme o projeto avance e novos fatos e dados surjam.

Por fim, é fundamental que a poeira combustível seja caracterizada, principalmente quanto ao seu índice de deflagração e pressão máxima de explosão. Sem estes dados, o projetista e fornecedor de dispositivos de proteção podem subestimar ou superestimar as necessidades de proteção do sistema. Isto fica evidente no caso demonstrado neste trabalho, no qual existe a possibilidade de formação de atmosfera explosiva em quase todas as partes da modificação proposta (elevador, peneira, silo e sistema de despoeiramento). Sem a caracterização, o estudo assume, por segurança, que a explosão é um cenário com probabilidade elevada, enquanto uma caracterização, determinando os parâmetros como máxima concentração explosiva, energia mínima de ignição, índice de deflagração entre outros, proporcionaria a equipe uma base mais sólida para efetuar julgamentos de probabilidades e consequências.

Os resultados obtidos na forma de recomendações devem ser aprovados pelos responsáveis pelo projeto e cuidadosamente gerenciados nas próximas etapas do empreendimento até o início da fase operacional. O responsável pelo projeto deve elaborar um plano de ação e acompanhar o seu desenrolar com zelo. A cada nova etapa do projeto, os estudos de identificação de perigos e análise de riscos devem ser revisados frente às novas características e informações geradas com a adoção das recomendações e o transcorrer normal do projeto.

5. CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia para identificar perigos e analisar riscos para a na fase conceitual de um projeto de modificação de processo envolvendo poeiras combustíveis proporcionou que fossem identificados diversos cenários acidentais envolvendo riscos intoleráveis e que medidas de controle destes riscos fossem recomendadas para as próximas fases do projeto. A adoção destas medidas tornará o projeto mais seguro, principalmente, nos aspectos relativos ao controle e mitigação de explosões. Desta maneira, se obtém um projeto com maior capacidade de preservar a integridade física das pessoas e das instalações. Além disso, como resultado da aplicação da técnica *check-list*, o projeto, depois de revisado, atenderá aos padrões de segurança praticados pela indústria para a questão de poeiras explosivas.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e nas considerações anteriores são apresentadas algumas sugestões:

- a) Caracterizar o material sólido combustível antes de realizar o estudo de identificação de perigos.
- b) Aplicar, preferencialmente, a técnica de check-list na etapa de projeto conceitual em sistemas com manuseio e processamento de poeiras combustíveis;
- c) Aplicar outra técnica como What-If ou análise preliminar de perigos após a incorporação das recomendações do check-list no projeto;
- d) Manter o alinhamento de conceitos das técnicas e a apresentação de informações sobre a teoria de explosões de poeiras antes das sessões de análise;
- e) A equipe deve ser sempre multidisciplinar para garantir a consideração de todas as lógicas de pensamento das partes envolvidas no estudo;

REFERÊNCIAS

Barton, J. – **Dust Explosion Prevention and Protection, a Practical Guide**, Institution of Chemical Engineers, Rugby, 2002.

Bartknecht, W. – **Dust Explosions Course: Prevention, Protection**, Springer – Verlag, Berlin, 1989.

British Standard, IEC 61882:2001 – **Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies)**, Application Guide (2001).

Center for Chemical Process Safety – Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures, American Institute of Chemical Engineers, New York (1998).

Center for Chemical Process Safety – Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, American Institute of Chemical Engineers, New York (1992).

Center for Chemical Process Safety – Guidelines for Risk Based Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York (2007).

Center for Chemical Process Safety – Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids, American Institute of Chemical Engineers, New York (2005).

Center for Chemical Process Safety – Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment, American Institute of Chemical Engineers, New York (2001).

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos, ARDT - Setor de Transferência de Conhecimento Ambiental, CETESB (2006).

Ebadat, V. – **Managing Dust Explosion Hazards**, Chemical Engineering Progress, vol. 105, n. 8, p.35-39, 2009.

Eckhoff, R. K. – **Dust Explosions in the Process Industries**, Gulf Professional Publishing, Houston (2003).

European Committee for Electrotechnical Standardization - CENELEC TR50404, Safety of Machinery - **Guidance and Recommendations for the Avoidance of Hazards Due to Static Electricity**, 2004.

Factory Mutual - Loss Prevention Data 7-76, **Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosions and Fires**.

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 61** Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Products Facilities. Quincy (2008).*

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 68** Guide for Venting of Deflagrations. Quincy (2007).*

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 69** Standard on Explosion Prevention Systems. Quincy (2008).*

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 77** Recommended Practice on Static Electricity. Quincy (2007).*

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 499** Recommended Practice for the Classification of Combustible Dust and of Hazardous Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas. Quincy (2008).*

*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, **NFPA 654** Standard for the Prevention of the Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing and Handling of Combustible Particulate Solids. Quincy (2006).*

Nolan, D. P. – **Application of Hazop and What-If Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries**, Noyes Publication, New Jersey (1994).

Ozog, H.; J. A. Perry – **Designing an Effective Risk Matriz**, Disponível em <<http://www.iomosaic.com>> (2002).

U.S. Chemical Safety and Investigation Board – **Combustible Dust Hazard Study**, Investigation Report 2006-H-1, CSB, Washington (2006).

U.S. Occupational Safety and Health Administration – **Combustible Dust National Emphasis Program**, CPL 03-00-006, OSHA, Washington (2007).

DESCRIPTIVO DA MODIFICAÇÃO

**SISTEMA DE COLETA E REAPROVEITAMENTO DE REJEITO DE
MOAGEM DE CARVÃO**

DESCRITIVO

OBJETIVO

O objetivo da modificação é coletar, transportar, classificar e recircular o rejeito das moagens de carvão # 1, # 2, # 3 e # 4.

DADOS DO SISTEMA DE MOAGEM

Hoje a fábrica utiliza uma mistura de carvão vegetal e coque petroquímico na alimentação da moagem, podendo também, eventualmente, conter carvão mineral, conforme demonstrado na Tabela a seguir.

Mistura de combustíveis sólidos para forno de clínquer.

Combustível sólido	Percentual na mistura (%)
Coque de petróleo	57
Carvão mineral	0
Carvão vegetal	37
Rejeito de carvão	6

Fonte: Dados do autor, 2010.

A operação de moagem do combustível sólido gera um rejeito constituído por material carbonáceo e outros minerais. O volume gerado de rejeito é diretamente proporcional à produção do moinho. Na Tabela a seguir, pode-se visualizar a relação da geração de rejeitos da moagem com a taxa de produção de carvão cominuído.

Relação entre produção e rejeitos de um moinho de carvão

PRODUÇÃO (t/h)	REJEITO (t/h)	PERCENTUAL REJEITADO (%)
15	2,3	15,3
13	1,6	12,0
11	1,2	10,5
9	0,7	8,0
7	0,7	9,4

Fonte: Dados do autor, 2010.

Conforme a Tabela anterior, quanto maior a produção, maior o percentual rejeitado na moagem da mistura de combustíveis sólidos.

Atualmente, o rejeito é retirado manualmente ou com máquinas. Parte dele retorna ao processo, após separação granulométrica, como fração da mistura, conforme demonstra a primeira Tabela.

DESCRIPTIVO QUALITATIVO DA MODIFICAÇÃO

O rejeito é coletado na saída dos moinhos por válvula eclusa. Após, é conduzido via transportador de correias convencional até o pé do elevador de canecos. O elevador será conectado ao sistema de despoeiramento da fábrica. Após descarga na cabeça do elevador, o rejeito passa por válvula duas vias e cai em peneira vibratória. O material retido na peneira retorna para os silos de carvão dos moinhos # 1 (Silo 037-SI1) e # 3 e # 4 (Silo 037-SI3) via correia. O material passante na peneira é armazenado em novo silo. A descarga do novo silo é através de extrator por correia (150 t/h) e tromba telescópica para carregamento de caminhões abertos.

Nota: realizar a leitura do descritivo em conjunto com o fluxograma apresentado no Anexo 2.

PREMISSAS DO PROJETO

- Sistema de alívio de explosão tipo “painel” não rearmável para silo, elevador e filtro de mangas;
- Despoeiramento será com uso de filtro de mangas existente (037-FM1);
- Elevador de canecas acionado por correia;
- Transportadores de correias convencionais de 16”;
- Peneira vibratória inclinada com movimento circular. Mesa de 1,0 x 2,5 m;
- Tromba telescópica com elevação de 2.600 mm e capacidade 150 t/h.

REJEITO DE MOAGEM DE CARVÃO

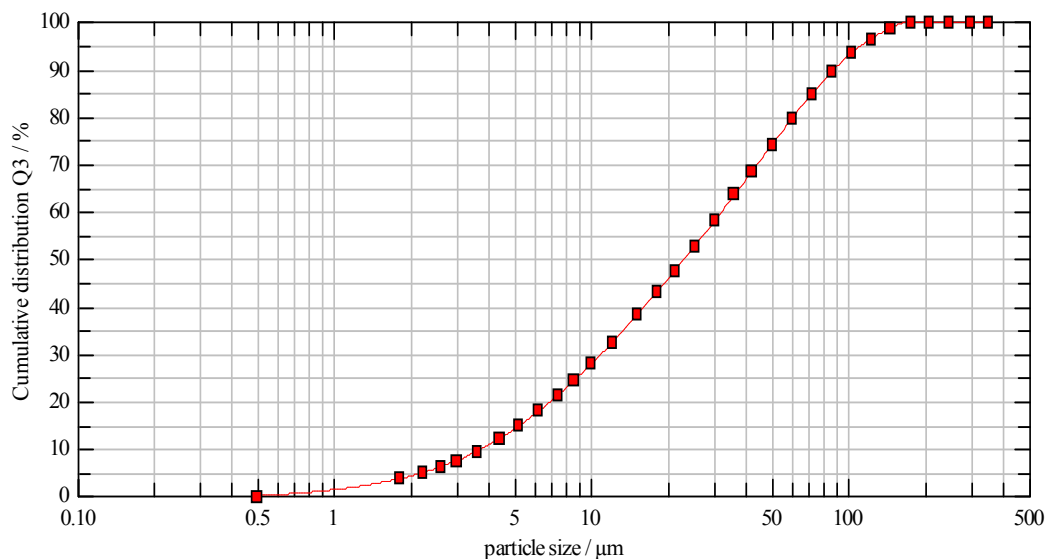
O rejeito é parte integrante das misturas de combustíveis sólidos, geralmente carvões vegetais, minerais e coque, alimentadas nos moinhos. Conforme a alimentação da mistura aumenta, o rejeito também aumenta. Em média a produção de rejeito de moagem está em torno de 10 a 15% da alimentação da mistura de combustíveis.

O rejeito é formado basicamente por carvão (vegetal, mineral e coque, dependendo da mistura), areia, cascalho e pó de carvão (material fino). Estima-se que o pó de carvão represente 10% em peso do rejeito.

Pode-se obter uma idéia da distribuição granulométrica dos finos através da distribuição típica, obtida da massa moída que alimenta o forno.

COMBUSTÍVEL MOÍDO

$x_{10} = 3,75 \mu\text{m}$	$x_{50} = 22,99 \mu\text{m}$	$x_{90} = 88,14 \mu\text{m}$	$\text{SMD} = 9,13 \mu\text{m}$	$\text{VMD} =$
$35,82 \mu\text{m}$				
$x_{16} = 5,60 \mu\text{m}$	$x_{84} = 70,13 \mu\text{m}$	$x_{99} = 154,42 \mu\text{m}$	$S_V = 0,66 \text{ m}^2/\text{cm}^3$	$S_m =$
$2086,16 \text{ cm}^2/\text{g}$				



Dados granulométricos do rejeito de moagem

O perfil do rejeito pode variar de acordo com as condições da operação de moagem, mistura alimentada e características do equipamento. Na Tabela abaixo se encontram valores de frações retidas em amostras para três moinhos:

Frações de rejeito para três moinhos

Amostra	Percentual retido (%)		
	Moinho I	Moinho III	Moinho IV
# 19,0 mm	0,33	3,62	0,86
# 12,6 mm	5,46	8,14	2,16
# 09,0 mm	8,37	16,89	1,78
# 04,7 mm	34,62	56,63	4,15
Fundo	51,22	14,72	91,05

Outras características do rejeito:

Umidade = 0,5% *

Densidade = 1,04 t/m³

Temperatura média = 90 °C

* Baixa umidade devido ao processo de cominuição nos moinhos se dar na presença de gás de queima, a aproximadamente 300 °C.

FLUXOGRAMA

CARACTERÍSTICAS MATERIAL

MATERIAL: REJEITO DE MOAGEM DE CARVÃO
CASCALHO+AREIA+PÓ DE CARVÃO (~10%)

DENSIDADE: 1,04 t/m³ UMIDADE: <0,5 %

TEMPERATURA DO MATERIAL: < 90°C

GRANULOMETRIA (% RETIDA)

Análise	037 MR-IA	037 MR-IB	MR-IV
# 19,0 mm	0,33	3,62	0,86
# 12,7 mm	5,46	8,14	2,16
# 9,0 mm	8,37	16,89	1,78
# 4,76 mm	34,62	56,63	4,15
Fundo	51,22	14,72	91,05

202,7 m² x 500 m³/h
112 mangas
#160mm x 3600mm
INTENSIV FILTER

037-FM1
15 500 m³/h 250 mmca
BERNARDI VBR 231/710 +6%

037-VFH
037-VR2

037-PN2
PENEIRA

037-SI3
SILO 200 t

037-AC3
ALIMENTADOR

037-2B4
BALANÇA

037-2B5
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR6
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 40 t

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CTC
30" x 5m

037-VG7
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA7
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR7
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI6
SILO 40 t

037-VG5
VALVULA GUILHOTINA

037-CT7
30" x 5m

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA8
VALVULA PNEUMAT.

037-SE1
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR1
MOINHO

037-MF1
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH1
VALVULA PNEUMAT.

037-VR1
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI1
SILO 180 t

037-AC1
ALIMENTADOR

037-2B1
BALANÇA

037-2B2
BALANÇA

037-VA1
VALVULA PNEUMAT.

037-SE2
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR2
MOINHO

037-MF2
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH2
VALVULA PNEUMAT.

037-VR2
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI2
SILO 180 t

037-AC2
ALIMENTADOR

037-2B3
BALANÇA

037-2B4
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR3
VALVULA DE ALIVIO

037-CA3
ARRASTADORA

037-SI4
SILO 180 t

037-AC4
ALIMENTADOR

037-2B5
BALANÇA

037-2B6
BALANÇA

037-VA3
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR4
VALVULA DE ALIVIO

037-CA4
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 180 t

037-AC5
ALIMENTADOR

037-2B7
BALANÇA

037-2B8
BALANÇA

037-VA4
VALVULA PNEUMAT.

037-FM1
15 500 m³/h 250 mmca
BERNARDI VBR 231/710 +6%

037-VFH
037-VR2

037-PN2
PENEIRA

037-SI3
SILO 200 t

037-AC3
ALIMENTADOR

037-2B4
BALANÇA

037-2B5
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR6
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 40 t

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CTC
30" x 5m

037-VG7
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA7
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR7
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI6
SILO 40 t

037-VG5
VALVULA GUILHOTINA

037-CT7
30" x 5m

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA8
VALVULA PNEUMAT.

037-SE1
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR1
MOINHO

037-MF1
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH1
VALVULA PNEUMAT.

037-VR1
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI1
SILO 180 t

037-AC1
ALIMENTADOR

037-2B1
BALANÇA

037-2B2
BALANÇA

037-VA1
VALVULA PNEUMAT.

037-SE2
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR2
MOINHO

037-MF2
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH2
VALVULA PNEUMAT.

037-VR2
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI2
SILO 180 t

037-AC2
ALIMENTADOR

037-2B3
BALANÇA

037-2B4
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR3
VALVULA DE ALIVIO

037-CA3
ARRASTADORA

037-SI4
SILO 180 t

037-AC4
ALIMENTADOR

037-2B5
BALANÇA

037-2B6
BALANÇA

037-VA3
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR4
VALVULA DE ALIVIO

037-CA4
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 180 t

037-AC5
ALIMENTADOR

037-2B7
BALANÇA

037-2B8
BALANÇA

037-VA4
VALVULA PNEUMAT.

037-FM1
15 500 m³/h 250 mmca
BERNARDI VBR 231/710 +6%

037-VFH
037-VR2

037-PN2
PENEIRA

037-SI3
SILO 200 t

037-AC3
ALIMENTADOR

037-2B4
BALANÇA

037-2B5
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR6
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 40 t

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CTC
30" x 5m

037-VG7
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA7
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR7
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI6
SILO 40 t

037-VG5
VALVULA GUILHOTINA

037-CT7
30" x 5m

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA8
VALVULA PNEUMAT.

037-SE1
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR1
MOINHO

037-MF1
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH1
VALVULA PNEUMAT.

037-VR1
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI1
SILO 180 t

037-AC1
ALIMENTADOR

037-2B1
BALANÇA

037-2B2
BALANÇA

037-VA1
VALVULA PNEUMAT.

037-SE2
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR2
MOINHO

037-MF2
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH2
VALVULA PNEUMAT.

037-VR2
VALVULA DE ALIVIO

037-CA2
ARRASTADORA

037-SI2
SILO 180 t

037-AC2
ALIMENTADOR

037-2B3
BALANÇA

037-2B4
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR3
VALVULA DE ALIVIO

037-CA3
ARRASTADORA

037-SI4
SILO 180 t

037-AC4
ALIMENTADOR

037-2B5
BALANÇA

037-2B6
BALANÇA

037-VA3
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR4
MOINHO

037-MF4
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH4
VALVULA PNEUMAT.

037-VR4
VALVULA DE ALIVIO

037-CA4
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 180 t

037-AC5
ALIMENTADOR

037-2B7
BALANÇA

037-2B8
BALANÇA

037-VA4
VALVULA PNEUMAT.

037-FM1
15 500 m³/h 250 mmca
BERNARDI VBR 231/710 +6%

037-VFH
037-VR2

037-PN2
PENEIRA

037-SI3
SILO 200 t

037-AC3
ALIMENTADOR

037-2B4
BALANÇA

037-2B5
BALANÇA

037-VA2
VALVULA PNEUMAT.

037-SE3
CLASSIFICADOR LOESCHE

037-MR3
MOINHO RAYMOND RB 753

037-MF3
MEDIDOR DE FLUXO

037-VH3
VALVULA PNEUMAT.

037-VR6
VALVULA DE ALIVIO

037-CA1
ARRASTADORA

037-SI5
SILO 40 t

037-VG6
VALVULA GUILHOTINA

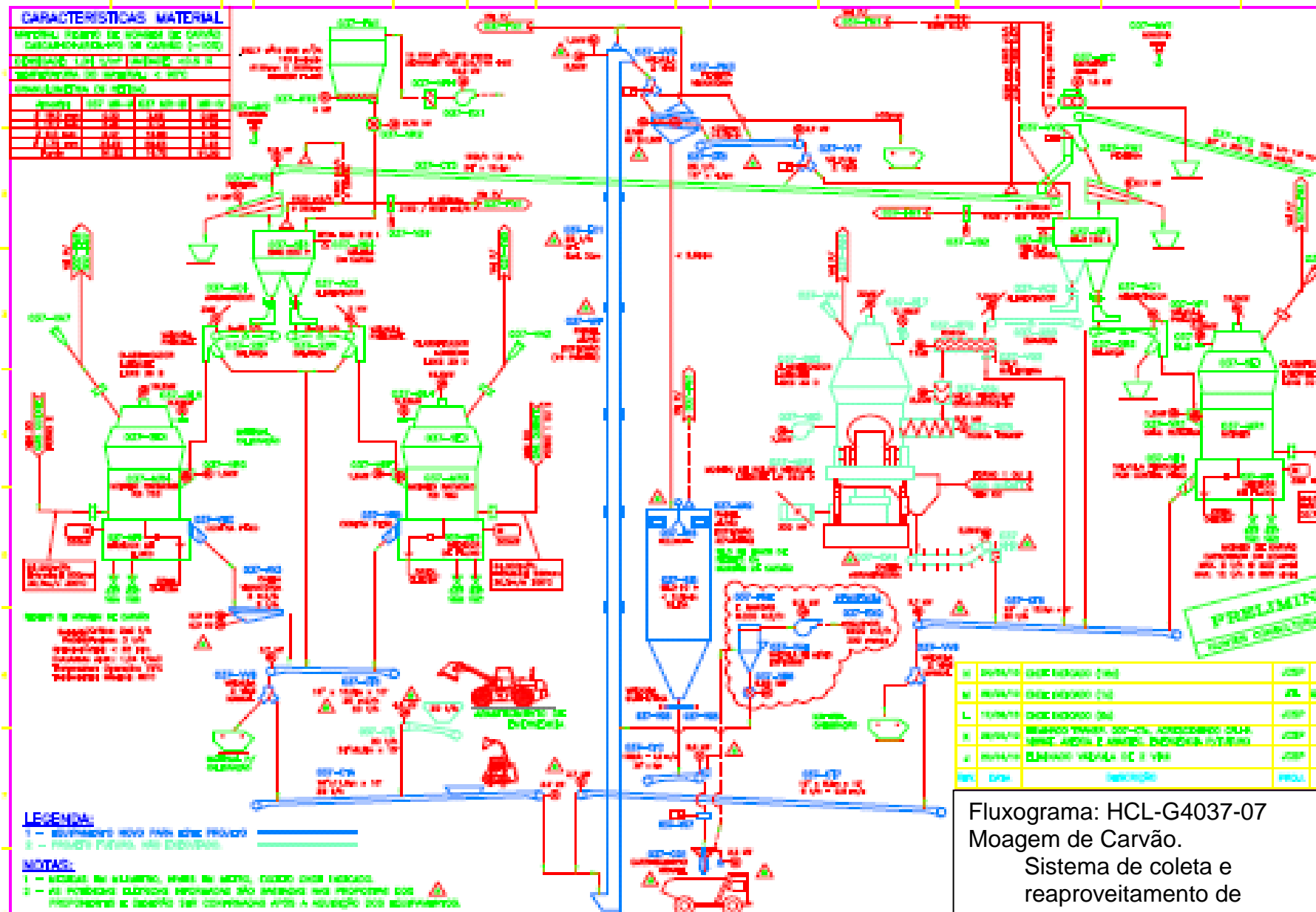
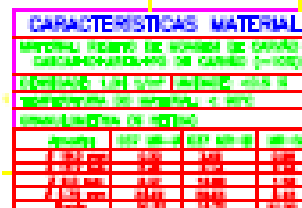
037-CTC
30" x 5m

037-VG7
VALVULA GUILHOTINA

037-CG1
CARREGAMENTO GRANEL

037-VA7
VALVULA PNEUMAT.

037-SE4
CLASSIFICADOR LOESCHE



Fluxograma: HCL-G4037-07
Moagem de Carvão.
Sistema de coleta e reaproveitamento de rejeito de moagem.

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

REJEITO DE MOAGEM DE CARVÃO

REJEITO DE MOAGEM DE CARVÃO

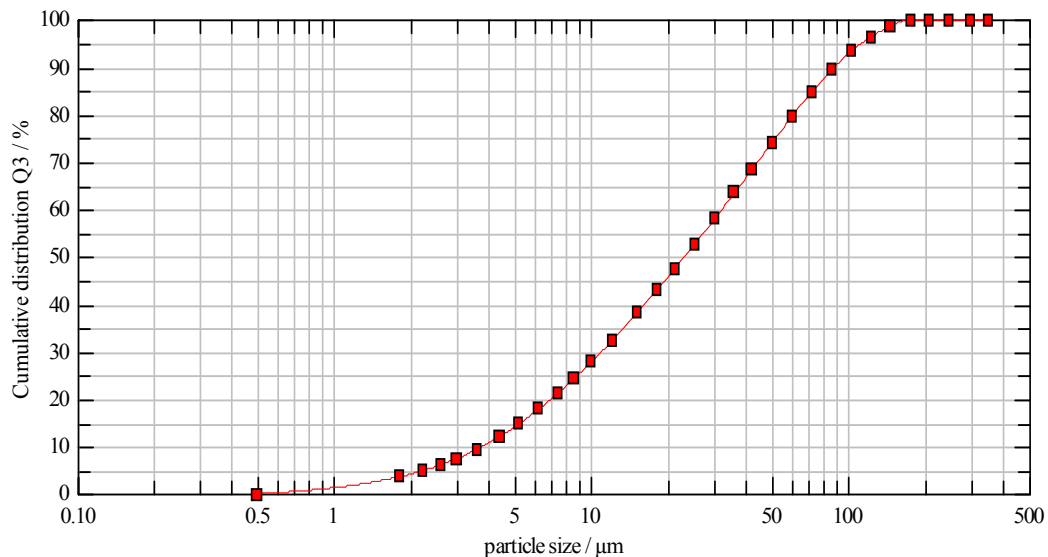
O rejeito é parte integrante das misturas de combustíveis sólidos, geralmente carvões vegetais, minerais e coque, alimentadas nos moinhos. Conforme a alimentação da mistura aumenta, o rejeito também aumenta. Em média a produção de rejeito de moagem está em torno de 10 a 15% da alimentação da mistura de combustíveis.

O rejeito é formado basicamente por carvão (vegetal, mineral e coque, dependendo da mistura), areia, cascalho e pó de carvão (material fino). Estima-se que o pó de carvão represente 10% em peso do rejeito.

Pode-se obter uma idéia da distribuição granulométrica dos finos através da distribuição típica, obtida da massa moída que alimenta o forno.

COMBUSTÍVEL MOÍDO

$x_{10} = 3,75 \mu\text{m}$	$x_{50} = 22,99 \mu\text{m}$	$x_{90} = 88,14 \mu\text{m}$	$\text{SMD} = 9,13 \mu\text{m}$	$\text{VMD} =$
$35,82 \mu\text{m}$				
$x_{16} = 5,60 \mu\text{m}$	$x_{84} = 70,13 \mu\text{m}$	$x_{99} = 154,42 \mu\text{m}$	$S_V = 0,66 \text{ m}^2/\text{cm}^3$	$S_m =$
$2086,16 \text{ cm}^2/\text{g}$				



Dados granulométricos do rejeito de moagem

O perfil do rejeito pode variar de acordo com as condições da operação de moagem, mistura alimentada e características do equipamento. Na Tabela abaixo se encontram valores de frações retidas em amostras para três moinhos:

Frações de rejeito para três moinhos

Amostra	Percentual retido (%)		
	Moinho I	Moinho III	Moinho IV
# 19,0 mm	0,33	3,62	0,86
# 12,6 mm	5,46	8,14	2,16
# 09,0 mm	8,37	16,89	1,78
# 04,7 mm	34,62	56,63	4,15
Fundo	51,22	14,72	91,05

Outras características do rejeito:

Umidade = 0,5% *

Densidade = 1,04 t/m³

Temperatura média = 90 °C

* Baixa umidade devido ao processo de cominuição nos moinhos se dar na presença de gás de queima, a aproximadamente 300 °C.

APÊNDICE A

CHECK-LIST

Estudo: Reaproveitamento de rejeito de moagem de carvão							
Data: 26/08/2010		Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng. Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado, Gerente manutenção, Gerente de produção, Técnico de Segurança.					
Referencias:		HCL-G4037-07 ver N, HCL-X4037-204 rev. B					
Nº	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.00 - Itens gerais para projeto							
1.01	As características físicas e químicas da poeira combustível foram identificadas?	Parcialment e – possui distribuição granulométrica, umidade e temperatura e percentual em peso de material combustível no rejeito.	Não se tem certeza da potencia de uma explosão e se as medidas de proteção serão eficazes, por exemplo, se o número de painéis no elevador é suficiente (função de K_{st}).	4	4	A	Estudar estratégia de amostragem dos rejeitos nos moinhos e testar para os parâmetros: P_{max} , K_{st} , MIE, MEC. Além disso, obter mais dados de percentual de finos e distribuições para o rejeito usar até U.S. Mesh 200.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.02	Existem outras características perigosas na poeira além da combustibilidade (toxidez, incompatibilidades químicas, reações etc.)?	Não existe outra característica para a questão de segurança de processo além de evitar exposição com oxidantes fortes. Para a questão ocupacional, a ACGIH adota um limite de exposição (TWA) de 0.9 mg/m ³ para Bituminoso e de 0.4 mg/m ³ para antracito. A exposição prolongada pode levar a uma pneumoconiose.	A exposição prolongada à poeira de carvão pode causar doença ocupacional.	3	2	D	Projetar o sistema com a mínima perda possível de poeira. Solicitar implantação de PPR e medições ambientais durante a fase de operação do sistema.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.03	Foram identificados locais ou partes do processo nas quais existe o perigo de explosão de poeira combustível (podem satisfazer as cinco condições do pentágono das explosões de poeira)?	As partes são: elevador de canecos, peneira vibratória, dutos de despoeiramento, silo e tromba telescópica.	Deflagração e explosão dos equipamentos e dutos podendo afetar uma ou mais pessoas gravemente e levar a perda de produção (caso se propague para o filtro de mangas).	5	4	A	Rever sistemas de proteção de explosão (painéis de alívio e supressão) e de prevenção de explosão previstos. Tomar como base as características da poeira do rejeito, conforme recomendado em acima, e com a norma NFPA 654 e NFPA 68.
1.04	Foram identificados locais ou partes do processo nas quais existe o perigo de fogo (poeira depositada ou estocagens)?	Os locais são: silo, ao longo dos transportadores de correia, nos pontos de carga e descarga do elevador e tromba telescópica.	Possível fogo em pó depositado ou deflagrações em caso de eventos secundários.	4	3	B	Prever sistema de supressão de incêndio com detecção para o silo, estudar meio de evitar vazamentos durante transporte por correia (ver design da correia) e propor procedimento de limpeza periódico em pontos com geração de poeira.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.05	Outros equipamentos podem ser afetados em caso de explosão (explosão secundária interna ou externa)?	Sim, pode haver propagação de deflagração do elevador para sistema de despoeiramento e filtro de mangas e para a peneira. Da peneira pode propagar fogo para o silo e do silo para a descarga. A peneira pode enviar material em brasa para os transportadores de retorno da fração retida para os silos de alimentação dos moinhos.	Fogo e explosões secundárias no duto de despoeiramento, no filtro de mangas, no silo e descarga de material em brasa e/ou em chamas. Fogo e explosão dos silos de alimentação dos moinhos.	5	4	A	Implantar sistemas de isolamento após o elevador, após peneira, no despoeiramento para filtro. Prever sistema de isolamento na descarga do silo. Propor sistema de prevenção para correias (Detectores de temperatura). Os silos de carvão já estão protegidos com painéis e supressão com CO ₂ .

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.06	Qualquer parte ou componente do sistema de transporte pneumático é a prova de vazamentos de poeira (selado)?	Não se aplica nesta situação.					
1.07	Existem partes ou etapas do processamento capazes de gerar acumulação de pó com espessura > 0,8 mm, em áreas adjacentes aos equipamentos?	Sim, ao longo das correias e nos pontos de carga e descarga do elevador e descarga do silo.	Possível incêndio ou deflagração em evento secundário.	4	3	B	Idem 1.04
1.08	Essas partes do processo são acessíveis para limpeza e evitar acumulação de poeiras?	Verificar no projeto de detalhamento	Caso o acesso for ruim e impossibilitar a limpeza, pode acumular camadas maiores de 0,8 mm (auto aquecimento e eventos secundários).	3	3	C	Assegurar análise de acessos para limpeza ao logo das correias, pontos de carga e descarga no projeto detalhado. No caso do elevador, estudar possibilidade de usar piso em grade nos acessos (verificar gradeamento que minimize acúmulo de pó).

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
1.09	Alguma parte do processamento ou equipamentos está localizada em espaço fechado ou semifechado?	Todo o manuseio proposto no projeto será conduzido em área aberta.					
1.10	Caso exista processamento em áreas fechadas ou semifechadas, é previsto a construção de barreiras contra explosão e fogo?	Ver acima.					
1.11	Existem pontos com possibilidade de acumulação de pó combustível em superfícies aquecidas?	Motores e mancais do elevador e peneira. Instalações elétricas desses dispositivos.	Ignição da poeira e formação de brasa e fogo.	4	2	C	Verificar no projeto detalhado o posicionamento das partes aquecidas. Proteger instalações elétricas – ver classificação de área.
1.12	Há estudo de classificação de área (NFPA 499 ou ATEX)?	Não	Ignição de poeira gerando deflagração e explosão ou incêndio.	5	4	A	Realizar estudo de classificação antes da aquisição de equipamentos elétricos.
1.13	Há proteção contra descarga atmosférica?	Sim					
1.14	Nos locais onde existe perigo de explosão foi previsto sistema de isolamento para prevenir propagação da deflagração?	Não	Ver 1.05	5	4	A	Ver 1.05

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
2.00 – Hoppers e silos							
2.01	Os silos e hoppers são de materiais não combustíveis?	Sim - metálicos					
2.02	O interior dos silos e hoppers permitem a limpeza e minimizam acumulação de pó?	Sim					
2.03	São previstas portas para acesso?	Sim					
2.04	As portas são aterradas e equipotencializadas com o silo / hopper?	Não	Descarga eletrostática e possível ignição de poeira com posterior explosão.	3	4	B	Incluir os requisitos de aterramento e equipotencialização para portas de acesso nos equipamentos no projeto de detalhamento e especificação de compra.
2.05	As portas são projetadas para impedir vazamento de poeira?	Sem dados para responder	Caso houver vazamento pode gerar pó acumulado com possibilidade de ignição e fogo.	4	2	C	Colocar como premissa do projeto e item na especificação dos equipamentos com portas de acesso (silo, elevador).
2.06	É previsto quebra vácuo em caso de venting de uma explosão?	Não	Deformação do silo ou filtro. Possível colapso.	3	1	D	Estudar a necessidade de colocar válvula quebra vácuo nos filtros e silos.
3.00 – Sistemas de transferência de material							
3.01	O material transportado é corrosivo?	Não					

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
3.02	O sistema de despoeiramento possui volume e velocidade suficiente para manter os dutos livres de depósitos de pó combustível?	O sistema adicional ainda não foi calculado.	Caso aconteça deposição, podem ser criadas as condições para eventos secundários de deflagração nos dutos.	4	2	C	Assegurar no cálculo da extensão do sistema volume e velocidade suficiente para impedir deposição de pó.
3.03	O sistema de despoeiramento é conectado a outro sistema de transporte pneumático de material combustível?	Não					
3.04	Caso existam mudanças no tamanho de dutos, eles devem ser projetados para prevenir acumulação com uso conexão suavizada com ângulo máximo de 30°.	Ver item 3.02	Ver item 3.02	4	2	C	Assegurar que o projeto da extensão do sistema atual de despoeiramento verifique o ângulo de 30° na mudança de ramais das tubulações.
3.05	Transportadores de correia possuem dispositivo para detectar sobrecarga?	Sem dados disponíveis para análise.	Com sobrecarga pode ocorrer transbordamento de material e/ou ignição por superaquecimento de partes móveis com conseqüente fogo / incêndio.	4	2	C	Considerar o dispositivo para controle de sobrecarga (ver automação) no detalhamento do projeto e especificação de equipamentos.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.00 - Elevador de canecos / caçambas							
4.01	Painéis de alívio de explosão ou vent de deflagração colocados com distanciamento de no máximo 6,1 m?	Sim					
4.02	Painéis de alívio de explosão colocados em dois lados do elevador (opostos na mesma altura)?	Sim					
4.03	O primeiro painel está a mais de 12 ft do piso do pé do elevador?	Sim					
4.04	Outros painéis, ao longo do elevador, estão a mais de 12 ft de plataformas ou passarelas?	Verificar se pode ter painel na altura do acesso a peneira vibratória	Abertura do painel com venting da explosão no acesso a peneira. Possível fatalidade se houver pessoa na peneira.	4	4	A	Assegurar no projeto detalhado, posicionamento da peneira em local livre da zona de abertura do painel ou verificar o uso de defletor.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.05	Há um painel na cabeça do elevador?	Não	Em caso de explosão na cabeça do elevador, na descarga, pode-se propagar fogo para o sistema de despoeiramento e peneira. Pode atingir pessoa realizando inspeção caso ocorra ruptura do equipamento.	4	4	A	Verificar com fornecedor de proteções de explosão, opções de proteções para cabeça do elevador (painéis com defletores, supressão ou combinação). Analisar posicionamento da proteção para evitar projeções sobre pessoas.
4.06	O painel da cabeça do elevador está colocado no topo em local com direção de explosão que não encontre passarelas e acessos?	Ver item 4.05.					
4.07	Se o painel que estiver na cabeça do elevador não estiver no topo e sim na lateral, ele possui defletor?	Ver item 4.05.					
4.08	O primeiro painel no pé do elevador possui defletor?	Sim					

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.09	A área do painel (vent de alívio de explosão) possui 2/3 da área lateral do módulo em que está instalado (casing)?	Sim					
4.10	No caso de necessidade de instalar um painel por casing, ele possui ¾ da área lateral do módulo (casing)?	Não aplicável					
4.11	O pé do elevador possui abertura para limpeza e inspeção de alinhamento de polia e cinta?	Sim					
4.12	A cabeça do elevador possui abertura para limpeza e inspeção de alinhamento entre polias e cinta e saída de material?	Sim					
4.13	Há algum ponto com ângulo menor que 45° no elevador?	Não					

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.14	As polias possuem mecanismo para minimizar escorregamento da cinta?	Sem informações disponíveis na análise.	Caso ocorra escorregamento, o atrito entre cinta e polia gera mais calor sendo uma fonte potencial de ignição da poeira em suspensão no interior do elevador.	4	3	B	Prever no detalhamento e especificação do elevador mecanismo para evitar escorregamento. Estudar junto ao fornecedor do equipamento opções disponíveis.
4.15	A cinta é fabricada com material resistente ao óleo e ao fogo?	Sem informações disponíveis.	Caso a cinta incendeie por atrito ou outro motivo se torna uma fonte de ignição dentro do elevador. Explosão da nuvem suspensa de poeira dentro do elevador.	4	3	B	Verificar com fornecedor opções de cinta e alternativas como correntes. Alternativas devem diminuir risco de explosão.
4.16	A resistividade de cinta e polias excede 100 megohms?	Sem informações disponíveis.	Caso a resistividade exceder o valor de 100 Mohms pode ocorrer carregamento eletrostático e posterior descarga contra a carcaça do elevador ou outras partes condutoras. Explosão da nuvem suspensa de poeira dentro do elevador.	4	3	B	Verificar com fornecedor opções de cinta e alternativas como correntes. Alternativas devem diminuir risco de explosão.

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.17	Há monitoramento de temperatura e vibração de mancais?	Não	Mancais, rolamentos e outros pontos de apoio aquecidos podem se tornar fontes de ignição com posterior explosão dentro do elevador.	3	3	C	Prever em procedimento de manutenção (procedimento deve ser feito com base em informações do fornecedor do equipamento e estar pronto com pessoal treinado antes da partida do sistema).
4.18	Há monitoramento de escorregamento ou desalinhamento de cinta e polias?	Não ver 4.14					
4.19	O elevador está aterrado?	Sim, previsto.					
4.20	Existe descontinuidade elétrica no corpo do elevador?	Sem informações disponíveis	Interromper fluxo elétrico para terra com formação de faísca / centelhamento para descarregar	4	3	B	Verificar com fornecedor, características construtivas e meios de manter o fluxo elétrico, quando existirem partes isoladas. Colocar como item de especificação do elevador.
4.21	A velocidade da cinta é menor ou igual a 1,15 m/s?	Sim, previsto.					
4.22	Existem revestimentos de partes do elevador com material combustível como resinas, borrachas, outras?	Não					

No	Questão	Resposta	Consequências	F	C	R	Recomendações
4.23	O elevador é selado, isto é, a prova de vazamentos pela estrutura?	Sem informações disponíveis.	Formação de acúmulos de pó ao redor do elevador e sobre outros equipamentos. Potencial ignição e formação de brasa / fogo.	3	2	D	Verificar com fornecedores informações sobre a estanqueidade.
4.24	Existe mecanismo para cortar a força dos motores quando a velocidade cair abaixo de 80% da velocidade normal de operação?						
4.25	Os mancais estão localizados externamente ao elevador?	Sem informação disponível.	Ver item 4.17				
4.26	O ponto de descarga do elevador (silo, bin outro) possui dispositivo para impedir transbordamento (shutdown ou alarme de nível alto)?	Não aplicável.					

APÊNDICE B

WHAT - IF

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010					Folha
Instalação / processo: Moagem de Canhão		Sistema	Recuperação de rejeito de canhão				
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N. HCL-X4037-204		Subsistema (nd-01)	Saída de rejeito dos moinhos até entrada do pé do elevador				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng. Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado, Gerente manutenção, Gerente de produção, Técnico de segurança							
No.	What If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	F	C	R	Recomendações
1.01	W-I um dos transportadores de correia quebrar?	Para ou diminui a alimentação no elevador. Formação de pilha de rejeito na saída do moinho de canhão. Pode obstruir a saída de rejeito do moinho.	Alarme no painel para a parada do transportador. Instalar válvula duas vias na saída de rejeitos.	5	1	C	Colocar os transportadores no programa de manutenção preventiva da fábrica. Seguir as orientações do fabricante quanto a manutenção.
1.02	W-I o rejeito estiver com temperatura elevada com partículas em brasa?	Pode ocorrer ignição na entrada do elevador e explosão com danos a estrutura do elevador e hopper. Potencial fatalidade ou lesão grave se houver pessoas no entorno (inspeção / operação).	Painéis de explosão.	3	3	C	Garantir que a posição dos painéis minimize os danos em caso de acionamento. Prever uso de defletoras.
1.03	W-I a quantidade de rejeito produzida for acima da capacidade das correias transportadoras?	Possível sobrecarga na correia e embuxamento do elevador. Derramamento lateral de rejeito.		3	1	D	Instalar dispositivo de parada por sobrecarga no transportador.
1.04	W-I o sentido do transportador for invertido?	Formação de pilha de rejeito na saída do moinho.		2	1	D	Prever procedimento de revisão de segurança de pré-parada com item de sentido dos transportadores.
1.05	W-I se o rejeito conter muitos finos (pé de canhão)?	Perda de finos se houver vento durante transporte, formação de atmosfera explosiva no elevador. Aumento da força de explosão. Potencial perdas materiais no elevador e lesões graves caso houver pessoas no entorno do elevador.	Instalação de painéis de alívio de explosão.	4	3	B	Verificar com projetista e fornecedora dos painéis se os painéis projetados suportam um aumento da força da deflagração com uma concentração maior de finos no elevador. Verificar a possibilidade de intertravar o elevador e transportadores com a parada do sistema de triagem de finos dos moinhos.
1.06	W-I ocorrer um trabalho a quente ao lado ou acima dos transportadores?	Pode ocorrer formação de brasa e fogo no material (rejeito). Material em brasa pode ser fonte de ignição para atmosfera explosiva no elevador.	Instalação de painéis de alívio de explosão.	4	2	C	Implantar permissão de trabalho a quente para áreas com rejeito de moagem.
1.07	W-I a cinta do transportador rasgar?	Vazamento de material para o piso com formação de pilha de rejeito.		4	1	D	Ver 1.01.
1.08	W-I a cinta desalinhar?	Pode ocorrer superaquecimento da cinta e incêndio.	Sistema de combate a incêndio.	3	2	D	Verificar se existem hidrantes e casa de mangueiras disponíveis para combater fogo nos transportadores.
1.09	W-I uma peça ou parte metálica do moinho estiver no rejeito?	Esta peça dentro do elevador pode se tornar uma fonte de ignição com potencial de explosão com perdas materiais e lesões graves nas pessoas do entorno.	Instalação de painéis de explosão - NFPA 51 e 68.	4	2	C	Verificar a possibilidade de instalar detector de metais antes do elevador. Gradeamento magnético.
1.10	W-I acabar a energia elétrica?	O transportador para. Cessa a alimentação do elevador. Formação de pilha de rejeito na saída do moinho (ver 1.01).	Ver 1.01.	5	1	C	Ver 1.01.
1.11	W-I o transportador não tiver proteção de máquinas?	Possível lesão incapacitante por contato com partes móveis.		5	3	A	Prever no projeto de detalhamento as proteções da máquina para os transportadores.
1.12	W-I precisar fazer amostragem do rejeito			1	1	D	Utilizar as válvulas de desvios 037-VV6 e 037-VV8.
1.13	W-I houver uma avalanche na saída do moinho?	Transbordo de material nas correias transportadoras.		4	1	D	Capacidade do sistema suficiente para suportar a avalanche de um moinho.

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010				Folha	
Instalação / processo: Moagem de Canhão		Sistema	Recuperação de rejeito do canhão				
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N. HCL-X4037-204		Subsistema (nd-02)	Elevador				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng. Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado, Gerente manutenção, Gerente de produção, Técnico de segurança							
No.	What-If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	F	C	R	Recomendações
2.01	W4 rasgar a correia (cinta) do elevador.	O elevador para. Material acumula no pé do elevador e derrama. O material se espalha por toda a carcaça formando suspensão de poeira podendo ignitar com deflagração.	Painel de alívio de explosão.	5	2	B	Prever na especificação do elevador a utilização de correia com alma de aço. Sensor de velocidade. Chave de nível no pé do elevador. Avaliar o intertravamento do moedor com o sistema de transporte (elevador e transportador). Estabelecer plano de inspeção e manutenção da correia do elevador com base em informações do fabricante.
2.02	Se um painel de alívio de explosão rasgar.	Projeção de particulado e material incandescente podendo atingir pessoas com lesões graves. Atenção com primeiro painel (6 m do piso) e painel no nível da peneira.	Painel de alívio de explosão.	4	3	B	Usar defletores nos painéis baixos (primeiros) e nos que apresentam riscos (peneira e acessos que apresentarem riscos às pessoas e outros equipamentos). Acessar as válvulas de explosão abaixo do nível 123 com plataforma móvel. Instalar barreiras físicas para restrição de acesso às válvulas acima do nível 123. Pintura e sinalização das áreas de risco (pintura horizontal e placas). Avaliar a instalação de grade na parte interna das válvulas de alívio de explosão. Treinamento dos operadores e equipes de manutenção informando e conscientizando quanto
2.03	W4 o rolamento do tambor de retorno quebrar e continuar rodando causando aquecimento.	O elevador para e cria-se uma fonte de ignição para suspensão de poeira com potencial deflagração.	Painéis de alívio de explosão.	5	2	B	Instalar os mancais de rolamento autocompensadores de rolos fora da caixa do elevador.

		What-If						
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010.					Folha	
Instalação / processo: Moagem de Canhão		Sistema:	Recuperação de rejeito de canhão					
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N. HCL-X4037-204		Subsistema (nd-02)	Elevador					
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng. Segurança do Trabalho		da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado.						
No.	What If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	E	C	R	Recomendações	
2.04	WH o elevador começar a patinar.	Escorregamento da cinta pode causar aquecimento e ignição da poeira em suspensão.	Painéis de alívio de explosão.	5	2	B	Avaliar a instalação de um sistema de giro lento no elevador. Sensor de velocidade (baixa) intertravado com os transportadores.	
2.05	WH mudar o mix para característica diferentes (maior % de voláteis).	Possível explosão com maior potência e com menor energia de ignição. Possível dano físico ao elevador.	Caracterizar o produto da moagem do mix quanto a mínima concentração explosiva, mínima energia de ignição, Kat e Pmax. Projeto desenvolvido para canhão mineral, coque esponja, moirinha de canhão.	4	3	B	Em caso de mudança do mix, fazer a Gestão de Mudanças e analisar o novo Mix (caracterizar e verificar se atende NFPA 68). Solicitar a validação do mix pela produção.	
2.06	WH a correia desalinhar?	Pontos de aquecimento do elevador com possível ignição e explosão.	Painel de alívio de explosão.	4	3	B	Sensor de desalinhamento (Regular o sensor de desalinhamento para desamar o elevador antes da correia encostar na carcaça). Rolo de acionamento e retorno abaulados. Considerar no plano de manutenção uma inspeção do revestimento do rolo de acionamento e retorno. Instalar sensor de temperatura tipo PT100 no pé do elevador fora da ação do rolo de retorno e caçambas (Faixa limite de atuação para desamar o elevador: 200 C).	
2.07	WH ocorrer aumento da temperatura interna do elevador acima de 2/3 da temperatura de ignição do mix?	Explosão e/ou incêndio	Painel de alívio de explosão na carcaça do elevador (11 painéis).	4	2	C	Fazer a caracterização granulométrica do rejeito abaixo de 2,5 mm (verificar os ultra-finos). Instalar sistema de aspersão de água dentro da carcaça do elevador na parte superior com válvula de 03 vias. Estabelecer o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.	

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010					Folha
Instalação / processo: Moagem de Cimento		Sistema	Recuperação de rejeito de cimento				
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N. HCL-X4037-204		Subsistema (nd-02)	Elevador				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng. Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado.							
No.	What-If (se?)	Consequências	Salvaguardas	E	C	R	Recomendações
2.07	W4 ocorrer aumento da temperatura interna do elevador acima de 2/3 da temperatura de ignição do mix?	Explosão e/ou incêndio	Panel de alívio de explosão na carcaça do elevador (11 painéis).	4	2	C	Fazer a caracterização granulométrica do rejeito abaixo de 2.5 mm (verificar os ultra-finos). Instalar sistema de aspersão de água dentro da carcaça do elevador na parte superior com válvula de 03 vias. Estabelecer o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível
2.08	W4 ocorrer um incêndio dentro do elevador?	Possível deflagração com explosão Explosão, perda das partes internas - Danificar as partes internas (correla, caçambas, carcaça etc..)	Paneis de alívio de explosão na carcaça do elevador (11 válvulas)	3	3	C	Instalar sistema de aspersão de água dentro da carcaça do elevador na parte superior com válvula de 03 vias. (verificar se o peso excedente da água não pode aviar a estrutura). Instaurar procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.
2.09	W4 gerar muita poeira no pé do elevador?	Possível explosão e/ou incêndio no pé do elevador. Projeção de material incandescente, podendo atingir pessoas	Paneis de explosão Válvula de alívio na carcaça do elevador (11 painéis).	4	2	C	Verificar proteção no pé do elevador (painel com defletor).
2.10	W4 o elevador explodir?	Ver 2.02.	Ver 2.02	4	2	C	Ver 2.02
2.11	W4 soltar uma caçamba da correla (cinta)?	A caçamba pode raspar nas paredes do elevador e gerar faiscamento, podendo ignitar a poeira em suspensão no interior do elevador.	Paneis de explosão Válvula de alívio na carcaça do elevador (11 painéis).	5	2	B	Verificar possibilidade de intertravamento do elevador e transportadores com desalinhamento de caçambas. Sensor de desalinhamento de caçamba (colocar dois sensores)

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010					Folha
Instalação / processo: Moagem de Carvão		Sistema	Recuperação de rejeito de carvão				
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N, HCL-X4037-204		Subsistema (nó-02)	Elevador				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado,							
No.	What If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	F	C	R	Recomendações
2.12	W-I houver necessidade de inspeção dos painéis de explosão?	Inspetor se atingido por material particulado e/ou incandescente.		3	4	B	Criar plano de inspeção somente com equipamento parado de acordo com orientações do fabricante. Definir ações caso seja encontrada alguma membrana danificada. Instaurar o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível. Manter um jogo de membranas para os painéis de alívio de explosão em estoque.
2.13	W-I houver uma descarga eletrostática no elevador	Possível ignição da poeira em suspensão com incêndio ou explosão.	Painéis de explosão Válvula de alívio na carcaça do elevador (11 painéis).	4	2	C	Aterramento da carcaça Utilizar Correia anti estática.
2.14	W-I houver uma descarga atmosférica no elevador	Possível ignição da poeira em suspensão com incêndio ou explosão.	Sistema SPDA da fábrica.	3	1	D	
2.15	W-I o elevador parar cheio e não conseguir partir de novamente?	Transbordo de material para limpeza manual da carcaça.	Acionamento dimensionado para funcionar com todas as caçambas cheias. Freio contra recuo no acionamento do elevador	4	1	D	Não executar nenhum trabalho a quente com o elevador em funcionamento.
2.16	W-I houver necessidade de um trabalho a quente no elevador?	Presença de uma fonte de ignição por cham ou calor com possível ignição da poeira suspensa seguido de explosão e incêndio.	Painéis de alívio de explosão.	4	2	C	Implantar permissão de trabalho a quente para áreas com rejeito de moagem. Proibir qualquer trabalho com o elevador em operação.

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010					Folha
Instalação / processo: Moagem de Carvão		Sistema	Recuperação de rejeito de carvão				
Docs Referencia: HCL-G4037-07 ver N, HCL-X4037-204		Subsistema (nº-02)	Elevador				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado,							
No.	What If (E - se ?)	Consequências	Salvaguardas	F	C	R	Recomendações
2.17	W-I abrir uma porta de inspeção com o elevador em funcionamento?	Projeção de material no inspetor.	Portas aparafusadas.	4	1	D	Instaurar o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.
2.18	W-I a caçamba for de plástico?	Desgaste muito rápido; Geração de carga estática com possível descarga para a carcaça. Evita ignição em caso de contato com a carcaça do elevador.	Caçamba metálica.	1	1	D	Especificar uso de caçambas metálicas no projeto de detalhamento do elevador.
2.19	W-I formar uma camada de pó no lado externo da carcaça do elevador?	Pode ocorrer uma auto combustão localizada.		4	1	D	Estabelecer rotina de inspeção e limpeza (housekeeping).
2.20	W-I o painel de explosão estiver colocado sem alguns parafusos.	Pode haver projeção do frame do painel em caso da ocorrência de explosão.		3	3	C	Incluir a inspeção na pre-partida da colocação dos painéis (todos). Verificar o torque para fixações dos parafusos. Inserir o torque no plano de manutenção. Treinamento e conscientização das equipes de produção e manutenção quanto aos riscos de não se colocar todos os parafusos.
2.21	W-I faltar ou tiver pouca iluminação na área do sistema de rejeito?	Dificuldade de circulação e inspeção na área com possíveis acidentes pessoais.		3	1	D	Projeto de iluminação de acordo com a NBR Avaliar a frequência de inspeção do sistema de iluminação Considerar ponto para ligar pendente de iluminação
2.23	W-I houver um travamento da válvula de duas vias na saída do elevador e o equipamento seguinte estiver parado?	Parada da unidade de recirculação.	Instalação da válvula de nível a montante da 037-VV5	1	1	D	
2.24	W-I furar a tubulação de descarga do elevador?	Vazamento de material e formação de pilha e depósito de pó com possível combustão e fogo.		3	2	D	Utilizar as plataformas do elevador e da válvula 037-VV5 para acesso para inspeção e manutenção. Avaliar a utilização de revestimento no chute.
2.25	W-I utilizar um equipamento que irradia energia no elevador, silo ou peneira?	Pode ocorrer aquecimento de uma camada de material e ignição com potencial explosão.	Painéis de explosão Válvula de alívio na carcaça do elevador (11 painéis).	4	2	C	Estabelecer procedimento para uso deste tipo de equipamento (sonda de ultrassom). Utilizar sistemática de permissão para trabalho a quente. Garantir que o equipamento estará parado e liberado para trabalhos a quente e outros que podem gerar aquecimento.
2.26	W-I houver necessidade de trocar a correia?	Parada do elevador e sistema de reaproveitamento de rejeitos. Acidentes pessoais e ignição de poeira em suspensão e deflagração no elevador parado.		3	3	C	Utilizar sistemática de permissão de trabalho. Limpar o equipamento eliminando ao máximo os resíduos de pó.
2.27	W-I houver necessidade de trocar uma parte do acionamento do elevador (motor, correia, rolo de acionamento etc.?)	Parada do elevador e sistema de reaproveitamento de rejeitos. Acidentes pessoais e ignição de poeira em suspensão e deflagração no elevador parado.		4	3	B	Utilizar sistemática de permissão de trabalho. Limpar o equipamento eliminando ao máximo os resíduos de pó.

		What-If					
Unidade - Fábrica de Cimento		Data 27/08/2010					Folha
Instalação / processo: Moagem de Carvão		Sistema	Recuperação de rejeito de carvão				
Docs Referência: HCL-G4037-07 ver N, HCL-X4037-204		Subsistema (nó-03)	Entrada da peneira vibratória, despoeiramento até a entrada do filtro e mangas 037 – FM 1 e saída da peneira para silo, passando pelo silo até a saída de material pela tromba telescópica.				
Participantes: Eng. Projetos da Fábrica, Eng. Projetos Corporativo, Eng Segurança do Trabalho da Fábrica, Projetista líder - contratado, Projetista contratado Gerente manutenção, Gerente de produção, Técnico de segurança							
No.	What If (E - se?)	Consequências	Salvaguardas	F	C	R	Recomendações
3.01	W-I Se houver um princípio de incêndio dentro do silo de rejeitos finos?	Aquecimento do silo seguido de incêndio e/ou explosão?	Painéis de alívio de explosão do silo.	4	3	B	Considerar nível máximo do silo 0,5 m abaixo das válvulas de alívio de explosão. Sistema de aspersão de água no topo do silo. Sensor para medição da temperatura no topo do silo. Transmissor de nível. Sonda de nível (alto e muito alto). Instaurar o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.
3.02	W-I houver um entupimento da peneira?	Transbordo de material na plataforma. Retorno de material para dentro do elevador	Válvula de desvio para by pass da peneira.	4	1	D	Chave de nível para chute de descarga antes da válvula 037-VV5 com uma extensão para proteção da sonda.
3.03	W-I formar ponte de material na descarga do silo de rejeitos finos?	Interrupção na descarga do silo. Enchimento do silo.	Utilizar a válvula de desvio 037-VV5 para by pass da peneira.	4	1	D	
3.04	Se soltar uma peça metálica do moinho ou elevador?	- Fonte de ignição - Danificar a correia do elevador - Danificar a peneira - Danificar as pendulas dos moinhos	Deck superior da peneira para eliminar materiais acima de 30 mm	4	2	C	Prever a instalação de extrator de metais na correias da saída da peneira 037-PN3. Avaliar a malha da tela do primeiro deck.
3.05	Se houver uma explosão no silo de rejeitos finos?	Projeção de particulado e material incandescente	Painéis de alívio de explosão na carcaça do silo. Medição de temperatura no topo do silo.	4	1	C	Instaurar o procedimento de restrição de acesso às áreas da moagem de combustível.
3.06	W-I houver uma sobre alimentação do silo de rejeitos finos?	Silo cheio com parada do sistema.		5	1	C	Intertravamento da sonda de nível muito alto para parar o sistema.
3.07	W-I a peneira parar de funcionar?	Acumulo de rejeito e embuchamento da peneira.		5	1	C	By pass da peneira e jogar direto para o silo de alimentação dos moinhos.
3.08	W-I a carga estiver acima do limite da peneira?	Acumulo de rejeito e embuchamento da peneira.	Sensor de nível na entrada da peneira.	5	1	C	Intertravar o sensor de nível para by-pass com silo.
3.09	W-I existir equipamentos na área que não estiver de acordo com a classificação de área?	Possível fonte de ignição de poeira depositada ou em suspensão com deflagração.	Painéis no silo e elevador.	3	3	C	Elaborar um estudo de classificação da área antes de especificar os equipamentos elétricos.