

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Lucas Buffon

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE UMA ÁREA CLASSIFICADA
À NORMA VIGENTE**

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE UMA ÁREA CLASSIFICADA À NORMA VIGENTE

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: (Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis
Loureiro)

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Lucas Buffon

ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE UMA ÁREA CLASSIFICADA À NORMA VIGENTE

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Eng. Luiz Marciano Rosenbach, BRASKEM S/A

Graduado pela PUCRS – Porto Alegre, Brasil

Prof^a. Dr^a. Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela UFSC– Florianópolis, Brasil

Porto Alegre, Dezembro de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãs pelo apoio e compreensão incondicional em todos os momentos.

À minha namorada pelo companheirismo, amizade e apoio durante a graduação.

Aos colegas pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

À empresa BRASKEM S/A pela oportunidade de estágio, onde pude me capacitar, com o auxílio de excelentes profissionais, para o mercado de trabalho.

Ao professor Luiz Tiarajú Loureiro, pela orientação, incentivo e apoio para a realização do trabalho.

RESUMO

Este projeto de diplomação visa sistematizar como é feita a classificação de uma área em que há a possibilidade de ocorrer uma atmosfera explosiva. São apresentadas as propriedades básicas das substâncias inflamáveis, critérios para a classificação de áreas assim como os diversos tipos de proteção para os equipamentos elétricos em uma área classificada. Em seguida é apresentado um estudo de caso em uma subestação. Os dados coletados para os exemplos e desenvolvimento do trabalho são respectivos a uma unidade da empresa BRASKEM S/A.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Área Classificada. Atmosfera Explosiva.

ABSTRACT

This graduation project aims to systematize how is the classification of an area where there is the possibility of a potentially explosive atmosphere. Are presented the basic properties of flammable substances, standards for the classification areas as well as the various types of protection for electrical equipment. Next, is presented a case study in a substation. The data collected for the examples and development of this document are from a unit of the company BRASKEM S/A.

Keywords: Electrical Engineering. Classified Area. Hazardous Area.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Motivação.....	12
1.2	Objetivos.....	13
1.3	Estrutura do trabalho.....	13
1.4	Considerações sobre a literatura de áreas classificadas.....	14
2	CONCEITOS BÁSICOS.....	16
2.1	Definições.....	16
2.1.1	Atmosfera Explosiva.....	16
2.1.2	Área Classificada.....	16
2.2	Propriedades Básicas das Substâncias Inflamáveis.....	17
2.2.1	Vaporização.....	17
2.2.2	Convecção, difusão e densidade relativa.....	18
2.2.3	Ponto de fulgor e ponto de combustão.....	19
2.2.4	Limites de inflamabilidade.....	20
2.2.5	Temperatura de autoignição.....	21
2.2.6	Energia mínima de ignição.....	21
2.3	Ventilação.....	23
2.4	Fontes de Ignição.....	24
2.5	Prevenção, proteção, controle e supressão de explosões.....	24
2.5.1	Sistemas para evitar explosões.....	25
2.5.1.1	Controle de atmosfera.....	25
2.5.1.2	Controle da ignição.....	26
2.5.2	Sistemas para reduzir os efeitos da explosão durante seu curso.....	27
2.5.2.1	Contenção.....	27
2.5.2.2	Alívio ou “Venting”.....	27
2.5.2.3	Supressão.....	28
2.5.2.4	Isolamento.....	28
2.5.3	Sistemas para minimizar as consequências de uma explosão.....	29
2.5.3.1	<i>Lay-out</i>	29
2.5.3.2	Sistema de combate ao incêndio.....	29
3	ÁREAS CLASSIFICADAS POR GASES, VAPORES, POEIRAS E FIBRAS.....	30
3.1	Conceituação conforme norma brasileira e internacional.....	30
3.1.1	Graus da fonte de risco.....	30
3.1.1.1	Zona “0”.....	31
3.1.1.2	Zona “1”.....	31
3.1.1.3	Zona “2”.....	31
3.1.2	Grupos de equipamentos.....	33
3.1.2.1	Grupo I.....	33
3.1.2.2	Grupo II.....	33
3.1.2.3	Grupo III.....	34
3.1.3	Classe de temperatura.....	34
3.2	Equipamentos elétricos para áreas classificadas.....	35
3.2.1	Nível de proteção dos equipamentos (EPL).....	36
3.2.2	Tipo de proteção dos equipamentos.....	37
3.2.2.1	Ex-i – Segurança Intrínseca.....	37
3.2.2.2	Ex-m – Encapsulados.....	37
3.2.2.3	Ex-p – Pressurizados.....	38
3.2.2.4	Ex-d – À prova de explosão.....	38

3.2.2.5	Ex-e – Segurança aumentada.....	38
3.2.2.6	Ex-o – Imersão em óleo.....	38
3.2.2.7	Ex-q – Imersão em areia.....	39
3.2.2.8	Ex-n – Não acendível	39
3.2.2.9	Ex-t – Proteção por invólucro.....	39
3.3	Exemplos de classificações de área	40
4	VENTILAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS	43
4.1	Ventilação natural.....	43
4.2	Ventilação artificial	44
4.3	Graus de ventilação	46
4.3.1	Ventilação alta (VA).....	46
4.3.2	Ventilação média (VM).....	47
4.3.3	Ventilação baixa (VB).....	47
4.4	Avaliação do grau de ventilação.....	47
4.4.1	Generalidades	47
4.4.2	Estimativa do volume hipotético (V_z).....	48
4.4.3	Estimativa do grau de ventilação.....	51
4.4.4	Ventilação alta (VA).....	51
4.4.5	Ventilação baixa (VB).....	52
4.4.6	Ventilação média (VM).....	52
4.5	Disponibilidade de ventilação	52
5.	ESTUDO DE CASO	55
5.1	Introdução.....	55
5.2	Objetivos.....	57
5.3	Classificação da área	59
5.4	Determinação do grau de ventilação	62
5.5	Determinação da disponibilidade da ventilação	68
6.	CONCLUSÕES	69
6.1	Alternativa 1	69
6.2	Alternativa 2	70
6.3	Alternativa 3	71
	REFERÊNCIAS	73

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Ensaio para determinar a energia de ativação.....	22
Figura 2 Energia mínima de ignição vs concentração em volume do hidrogênio e propano...	22
Figura 3 Triângulo do fogo.....	25
Figura 4 Curva de elevação da pressão durante uma explosão	28
Figura 5 Graduação do risco conforme a frequência de ocorrência	32
Figura 6 Exemplo de marcação de um equipamento Ex	40
Figura 7 Exemplo de delimitação de área classificada por poeira	42
Figura 8 Exemplo de delimitação de área classificada por gases.....	42
Figura 9 Distribuição das plantas industriais da Braskem no Brasil	55
Figura 10 Banco de baterias localizado na subestação do estudo do caso (SE-51)	57
Figura 11 Baterias usadas na SE-51	63
Figura 12 Duto de ar central do sistema de ventilação da subestação.....	65
Figura 13 Sucção de ar do ventilador	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ABPEX: Associação Brasileira para Prevenção de Explosões

COBEI: Comitê Brasileiro de Eletricidade e Iluminação

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IEC: International Electrotechnical Commission

LII: Limite Inferior de Inflamabilidade

LSI: Limite Superior de Inflamabilidade

CENELEC: Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica

MIC: Corrente Mínima de Ignição

MESG: Máximo Interstício Experimental Seguro

MIE: Mínima Energia de Ignição

EPL: Nível de Proteção dos Equipamentos

VA: Ventilação Alta

VM: Ventilação Média

VB: Ventilação Baixa

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

No Brasil a segurança está em um processo de evolução onde este quesito não é mais tratado como “custo”, mas sim como “investimento”. As normas de segurança do trabalho criadas nos últimos anos vieram para tornar o ambiente de trabalho mais seguro, garantindo que o trabalhador chegue a casa ao fim do dia nas mesmas condições que saiu pela manhã.

Em vários setores da economia brasileira, como o petroquímico, a indústria de grãos (soja, arroz, etc.), no setor de mineração, entre outros, há a possibilidade de ocorrência de explosões devido à possível existência conjunta de uma substância inflamável, oxigênio e uma fonte de ignição.

Surgiu, então, a necessidade de delimitar essas áreas, onde se usa equipamentos elétricos especiais, possibilitando a estes ramos da indústria produzir seus produtos garantindo segurança aos seus funcionários e suas instalações.

Nesse contexto entra o engenheiro eletricista, profissional com qualificação para efetuar a classificação das áreas, determinar métodos para a desclassificação de áreas, definir o tipo de equipamento adequado para determinada área classificada, entre outras inúmeras situações desta área multidisciplinar.

Portanto, a classificação de áreas é um assunto de suma importância, pois trata da segurança de instalações e principalmente de pessoas, e como a maioria dos cursos de engenharia elétrica do país não apresenta disciplina específica sobre o assunto, observa-se a escassez de profissionais qualificados na área.

Sendo assim, espera-se que este trabalho desperte o interesse dos estudantes e professores pelo assunto, já que a demanda pelo profissional com conhecimento em áreas

classificadas deve aumentar significativamente no país, graças aos investimentos previstos nos próximos anos no Brasil na indústria petrolífera com a descoberta do pré-sal.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho visa sintetizar como é feita a classificação de uma área em que existe a possibilidade de explosão. Deve ficar claro que o profissional habilitado deve realizar o trabalho buscando reduzir ao máximo a área classificada, através dos diversos tipos de controle de atmosfera explosiva, que serão apresentados no texto. Porém, quando se esgotam as alternativas para desclassificar uma área, deve-se então, criar uma área classificada com equipamentos elétricos especiais que também serão mencionados no texto.

Para alcançar os objetivos serão apresentados todos os conceitos básicos para o entendimento das técnicas de classificação de área, os métodos usuais de controle de atmosfera explosiva e os diversos tipos de equipamentos elétricos especiais presentes em áreas classificadas. O trabalho é finalizado com um estudo de caso em uma subestação elétrica, visando contemplar os conceitos apresentados durante o trabalho.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos pelo trabalho, fez-se uma divisão em 5 capítulos, incluindo a introdução, especificados a seguir.

O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos necessários relativos à classificação de áreas. São abordadas as propriedades das substâncias inflamáveis, ventilação, fontes de ignição de uma explosão e também são mencionados conceitos sobre explosões e gerenciamento dos riscos de uma explosão.

No capítulo 3 apresentam-se os critérios para a classificação de área, segundo as normas brasileiras, são explicadas as definições de zoneamento e também como é feita a demarcação das áreas classificadas.

No capítulo 4 são apresentadas as técnicas de ventilação de subestações, salas e prédios, e os métodos de cálculo que serão utilizados no estudo de caso na subestação.

No capítulo 5 é apresentada uma breve descrição da subestação em que será feito o estudo de caso e como se insere no contexto o *nobreak* da subestação, que é composto pelas baterias que podem gerar a área classificada que será estudada. São feitos os cálculos apresentados no capítulo 4 e caso necessário um estudo para o controle da atmosfera explosiva, através de ventilação artificial, será apresentado.

1.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A LITERATURA DE ÁREAS CLASSIFICADAS

Existem poucas publicações sobre os conceitos de atmosferas explosivas e áreas classificadas no Brasil. Não somente isso, buscar capacitação nessa área também é tarefa árdua, poucas empresas no país detêm o conhecimento e o repassam somente quando são contratadas para efetuar a classificação de uma área. Os profissionais que temos na área atualmente se capacitaram com a experiência adquirida com o passar dos anos.

No Brasil, na década de 80 foi constituída a Comissão Técnica CT-31 do COBEI/ABNT, órgão responsável pela elaboração das novas normas brasileiras para instalações elétricas em áreas classificadas. Até então a normalização para esses assuntos estava baseada em normas de origem americana. Por decisão da comunidade interessada, liderada pela Petrobrás, as novas normas passariam a estar baseadas em normas IEC (ABPEXa, 2010).

No ano de 2000 aconteceu um fato marcante na história dos assuntos relacionados a áreas classificadas, o INMETRO publicou uma Portaria fazendo obrigatória a certificação de equipamentos elétricos especiais em áreas classificadas, passando a ser entendidas como leis e ficando sujeitas às penalidades do Código Civil (ABPEXa, 2010).

Em 2004, foi publicada uma revisão da Norma Regulamentadora NR-10 do Ministério do Trabalho, norma que é responsável pela segurança dos trabalhadores que lidam com eletricidade. Esta NR-10 agora trata das áreas classificadas de maneira específica e obriga o usuário a tratar dessas áreas de acordo às normas que regulamentam a matéria (ABPEXa, 2010).

Portanto a literatura utilizada para a realização deste trabalho se resume as normas técnicas elaboradas pela ABNT, que foram baseadas nas normas IEC. Há também disponível um livro que é conhecido como a “bíblia” dos assuntos relacionados a áreas classificadas no Brasil. De autoria de Dácio de Miranda Jordão, o livro “Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo” se baseou da experiência dos profissionais da Petrobrás, pioneiros nesses assuntos, os quais tiveram presença marcante nas discussões sobre a normalização técnica (JORDÃO, 2002).

Finalizando, este trabalho visa apresentar a teoria relacionada a áreas classificadas de uma forma clara e concisa, em uma sequência cronológica que ajude o leitor a entender o estudo de caso sem necessitar de qualquer outra fonte bibliográfica além do que será apresentado neste trabalho.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Para se elaborar uma classificação de área é necessário que se conheça como se comporta uma substância inflamável. Isto requer o conhecimento de algumas propriedades fundamentais das substâncias inflamáveis. Em consequente, serão apresentadas as definições de área classificada e atmosfera explosiva, também será comentado como acontece uma explosão de fato, já que o principal objetivo da classificação de áreas é evitar que as explosões aconteçam. Comenta-se também sobre ventilação e as fontes de ignição capazes de iniciar uma deflagração.

Como o objetivo deste trabalho é adequar uma área localizada em uma indústria petroquímica, serão enfatizados os conceitos básicos relacionados a atmosferas explosivas geradas por gases e vapores, que estão presentes neste tipo de indústria. Cabe lembrar também que poeiras e fibras também podem gerar uma atmosfera explosiva, porém os parâmetros pertinentes a essas atmosferas não serão apresentados.

2.1 DEFINIÇÕES

Segundo ABPEXb (2011), temos as seguintes definições:

2.1.1 ATMOSFERA EXPLOSIVA

É definida como atmosfera explosiva a mistura com ar, de substâncias inflamáveis na forma de gases, vapores, névoas, poeiras ou fibras na qual após a ignição, a combustão se propaga através da mistura remanescente.

2.1.2 ÁREA CLASSIFICADA

É o local sujeito a “probabilidade” de formação ou existência de uma atmosfera explosiva.

2.2 PROPRIEDADES BÁSICAS DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS

2.2.1 VAPORIZAÇÃO

Uma atmosfera explosiva ocorre somente quando uma substância inflamável está presente no estado gasoso e se mistura com o ar em proporções adequadas. Se a substância inflamável ocorre não como um gás, mas como um líquido, ela deve mudar para o estado gasoso para poder formar uma mistura explosiva (JORDÃO, 2002).

Os líquidos podem ir ao estado gasoso através do processo físico de evaporação e vaporização. A pressão de vapor de um líquido é definida como o esforço das moléculas do líquido para ganhar o espaço acima de sua superfície. A pressão de vapor sempre aumenta com o aumento da temperatura e quando ela atinge o valor da pressão da atmosfera acima do líquido, o líquido entra em vaporização. A evaporação, também conhecida como vaporização lenta, acontece em todas as temperaturas e é explicada pela fuga de moléculas pela superfície do líquido (JORDÃO, 2002).

Surge então um importante coeficiente, o coeficiente de evaporação, uma característica que pode ser utilizada como fator de segurança, que indica o tempo necessário que um líquido leva para evaporar completamente sem deixar resíduo, expresso em relação ao tempo de evaporação do éter. O Quadro 1 apresenta o coeficiente de evaporação de algumas substâncias inflamáveis (JORDÃO, 2002).

Substância	Coefficiente de evaporação (éter=1)	Densidade relativa (ar=1)	Ponto de fulgor (°C)
Metano CH ₄	-	0,55	-
Benzeno C ₆ H ₆	3	2,7	-11
Éter etílico (C ₂ H ₅) ₂ O	1	2,55	-40
Álcool etílico C ₂ H ₅ OH	8,3	1,59	12
Dissulfeto de Carbono CS ₂	1,8	2,64	< -30
Hidrogênio H ₂	-	0,07	-
Acetileno C ₂ H ₂	-	0,91	-
Óleo Diesel	≈ 120	≈ 7	> 55

Quadro 1 Coeficiente de Evaporação, densidade relativa e ponto de fulgor de algumas substâncias inflamáveis.

Fonte: Jordão, 2002.

2.2.2 CONVECÇÃO, DIFUSÃO E DENSIDADE RELATIVA

A difusão é a propriedade que os gases e vapores possuem de se misturar devido ao movimento intrínseco de suas moléculas, já a convecção é o movimento do ar que resulta da existência de uma pressão diferencial ou uma diferença de temperatura. Essas duas propriedades tornam os gases e vapores capazes de se misturar (JORDÃO, 2002).

Nesse contexto, a densidade relativa é um fator importante. Tomando-se a densidade relativa do ar igual a 1, vê-se que poucos gases e vapores têm densidade relativa menor que 1, pode-se citar nessa classe: hidrogênio, gás de rua, metano, amônia, acetileno e eteno. O quadro 1 apresenta a densidade relativa de algumas substâncias inflamáveis em relação ao ar (JORDÃO, 2002).

Assim, quando a área for classificada devido à presença de gases com densidade relativa menor que 1, deve-se ter preocupação maior com as instalações elétricas nas partes altas das instalações (uma luminária, por exemplo), já que a substância inflamável tende a se deslocar para cima do ar. Pelo contrário, quando se trata de gases mais pesados que o ar, e em locais fechados, em que não haja uma forte convecção, os gases e vapores podem ocupar as

partes inferiores das instalações, tendo assim, uma preocupação maior com as instalações elétricas na parte inferior (uma tomada baixa, por exemplo) (JORDÃO, 2002).

2.2.3 PONTO DE FULGOR E PONTO DE COMBUSTÃO

O fato de haver uma mistura de vapor e ar acima da superfície do líquido por si só não significa que esta mistura seja inflamável. Apenas quando a temperatura ambiente é suficientemente alta, o líquido desenvolve uma grande quantidade de vapor por evaporação, que é capaz de formar uma mistura inflamável acima da superfície do líquido. Assim, o ponto de fulgor é definido como a menor temperatura na qual um líquido libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável (JORDÃO, 2002). No quadro 1 está representado o ponto de fulgor de algumas substâncias inflamáveis.

No ponto de fulgor, a quantidade de vapor não é suficiente para assegurar uma combustão contínua, apenas uma pequena quantidade de vapor pode ser inflamada na forma de uma chama rápida (“flash”). Essa chama se extingue, uma vez que a temperatura não é elevada o suficiente para manter a combustão. Assim, o ponto de combustão é definido como a menor temperatura na qual a mistura de vapor com o ar é inflamada por uma fonte de ignição e continua a queimar constantemente acima da superfície do líquido (JORDÃO, 2002).

Portanto para avaliar se um líquido irá gerar risco devemos comparar seu ponto de fulgor com a temperatura na qual o mesmo é armazenado, manipulado ou processado. Se o ponto de fulgor é mais alto que a temperatura de processo não há a formação de uma atmosfera explosiva, e conseqüentemente, não haverá classificação de área. Caso contrário, teremos uma atmosfera explosiva.

2.2.4 LIMITES DE INFLAMABILIDADE

Quando a mistura é pobre, isto é, com baixa concentração da substância inflamável, a mistura ainda não é inflamável. Como visto anteriormente, somente à temperatura correspondente à do ponto de fulgor a mistura se torna inflamável. A mínima concentração na qual a mistura se torna inflamável é chamada “Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)”. Se a concentração continua se elevando pelo acréscimo de temperatura, é atingido um grau de concentração em que a mistura possui alta porcentagem de gases e vapores de modo que a quantidade de oxigênio é tão baixa que uma eventual ignição não consegue se propagar pelo meio. Esta concentração é chamada de “Limite Superior de Inflamabilidade (LSI)”. Portanto, define-se como “Faixa de Inflamabilidade”, a faixa que corresponde entre o LII e o LSI (JORDÃO, 2002).

As substâncias que possuem altas faixas de inflamabilidade apresentam maior risco, quando comparadas com outras com faixas menores. No Quadro 2 apresentam-se exemplos de limites de inflamabilidade das substâncias mais comuns.

Substância	Limites de Inflamabilidade			
	Inferior (% vol.)	Superior (% vol.)	Inferior (g/m ³)	Superior (g/m ³)
Metano CH ₄	5	15	33	100
Benzeno C ₆ H ₆	1,2	8	39	270
Éter etílico (C ₂ H ₅) ₂ O	1,7	36	50	1.100
Álcool etílico C ₂ H ₅ OH	3,5	15	67	290
Dissulfeto de Carbono CS ₂	1	60	30	1.900
Hidrogênio H ₂	4	75,6	3,3	64
Acetileno C ₂ H ₂	1,5	82	16	880

Quadro 2 Coeficiente de Evaporação, densidade relativa e ponto de fulgor de algumas substâncias inflamáveis.

Fonte: Jordão, 2002.

2.2.5 TEMPERATURA DE AUTOIGNIÇÃO

Quando há uma mistura inflamável dentro da faixa de inflamabilidade, uma fonte de ignição pode deflagrar uma explosão. No entanto, a explosão pode acontecer sem a presença da fonte de ignição, basta para isso que a mistura inflamável entre em contato com uma superfície que apresente temperatura superior à temperatura de autoignição do produto (ABPEXb, 2011). No Quadro 3 mostram-se as temperaturas de autoignição de algumas substâncias típicas.

Produto	Temperatura de Autoignição
Ácido Acético	464 °C
Álcool Isopropílico	400 °C
Acetona	535 °C
Dissulfeto de Carbono	100 °C
Gasolina	280 °C
Pentano	285 °C
Querosene	210 °C
Xileno	210 °C
Hidrogênio	560 °C

Quadro 3 Temperatura de autoignição de algumas substâncias inflamáveis

Fonte: ABPEXb, 2011.

2.2.6 ENERGIA MÍNIMA DE IGNIÇÃO

A energia mínima de ignição é o ponto que requer menor energia para provocar a ignição. Neste ponto a pressão desenvolvida é máxima, ou seja, a explosão é maior. A energia necessária para iniciar a explosão depende da concentração da mistura (ABPEXb, 2011). Assim, a Figura 1 mostra como é feito o ensaio onde se determina a energia de ativação para uma determinada concentração de hidrogênio.

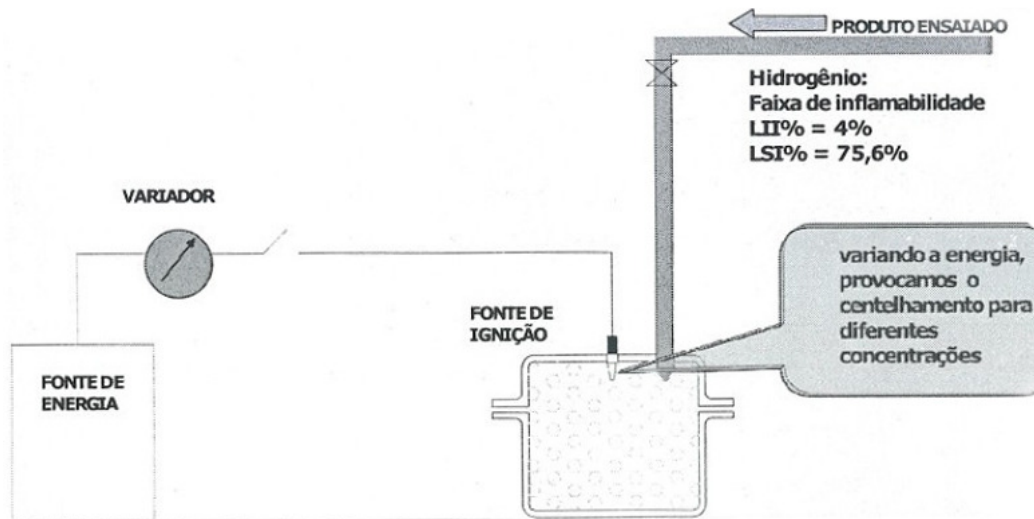


Figura 1 Ensaio para determinar a energia de ativação.

Fonte: ABPEXb, 2011

Ensaioando-se uma substância em todas as concentrações de sua faixa de inflamabilidade, obtém-se um gráfico de Energia de Ignição (mJ) por concentração em volume (%). O ponto mínimo do gráfico representa a energia mínima de ignição de uma substância inflamável. Na Figura 2 está representada este gráfico para o Hidrogênio e o Propano. Nota-se que as energias mínimas de ativação para essas substâncias são baixas, atingindo valores menores que 1 mJ.

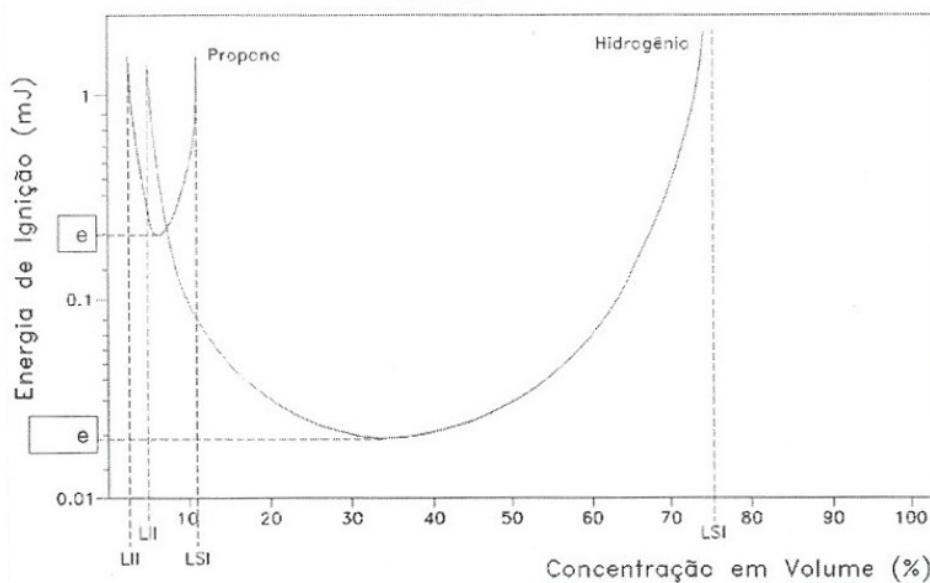


Figura 2 Energia mínima de ignição vs concentração em volume do hidrogênio e propano

Fonte: ABPEXb

Definidas todas estas propriedades, deve-se salientar que para gases inflamáveis (hidrogênio, acetileno, monóxido de carbono, gás sulfídrico, amônia, metano, etc.) as informações pertinentes são a faixa de explosividade, a densidade relativa, temperatura de autoignição e a energia mínima de ignição.

Para líquidos inflamáveis (álcool, gasolina, acetona, hexano, benzeno, etc.), deve-se ter o conhecimento da pressão de vapor, temperatura de ebulição, ponto de fulgor, faixa de explosividade, densidade relativa, temperatura de autoignição e energia mínima de ignição para classificar corretamente uma área.

2.3 VENTILAÇÃO

A ventilação é um dos meios capazes de minimizar ou evitar a formação de uma atmosfera inflamável. É essencial que esse tipo de proteção assegure que em qualquer ponto do ambiente considerado, como em qualquer tempo não haverá a formação de uma substância inflamável. Observa-se que é de fundamental importância uma boa avaliação das condições locais de instalação, e da quantidade máxima de gás ou vapor inflamável que pode ser liberado (JORDÃO, 2002).

A ventilação é uma das variáveis muitas vezes até difícil de avaliar. Quando a instalação é a céu aberto, ou seja, não há obstáculos que caracterizem um ambiente confinado, diz-se que a ventilação é do tipo adequado ou natural. Quando há barreiras à ventilação natural, diz-se que a ventilação é inadequada ou limitada. Há ainda a ventilação artificial, que pode ser geral ou localizada. (JORDÃO, 2002).

No estudo de caso que será apresentado no capítulo 5, a ventilação será diretamente responsável pela classificação de área, sendo assim no capítulo 4 será abordado este item com mais detalhes.

2.4 FONTES DE IGNIÇÃO

De acordo com ABPEXa (2010), nas áreas classificadas, é possível encontrar diferentes fontes de ignição capazes de iniciar uma deflagração, sendo as mais conhecidas as seguintes:

- De origem elétrica: fiações abertas, painéis, fusíveis, tomadas, contadoras, botoeiras, motores, luminárias, etc.
- De origem eletrônica: sensores, transmissores.
- De origem mecânica: esteiras, elevadores de canecas, moinhos, separadores.
- De origem eletrostática: por fricção, rolamento, por transporte e transferência de líquidos inflamáveis.

Ainda, existem no meio industrial, equipamentos geradores de temperatura, de chamas, descargas atmosféricas, ondas de RF e eletromagnéticas que também possuem energia suficiente para iniciar uma explosão.

2.5 PREVENÇÃO, PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPRESSÃO DE EXPLOSÕES

Explosão é um evento normalmente abordado quando procede-se na análise de perigo e risco em plantas industriais. As condições que favorecem este evento podem fazer parte da operação normal do processo em questão, ou então, surgirem como decorrência de situações anormais. Assim sendo, quando são encontrados, simultaneamente, o combustível (gases, vapores, névoas, poeiras ou fibras), o comburente (ar ambiente) e uma fonte de ignição (faíscas, fagulhas, superfícies aquecidas ou chamas) ocorre a explosão (PASCON, 2011). Na Figura 3 mostra-se o triângulo do fogo, sintetizando o que foi explicado acima.

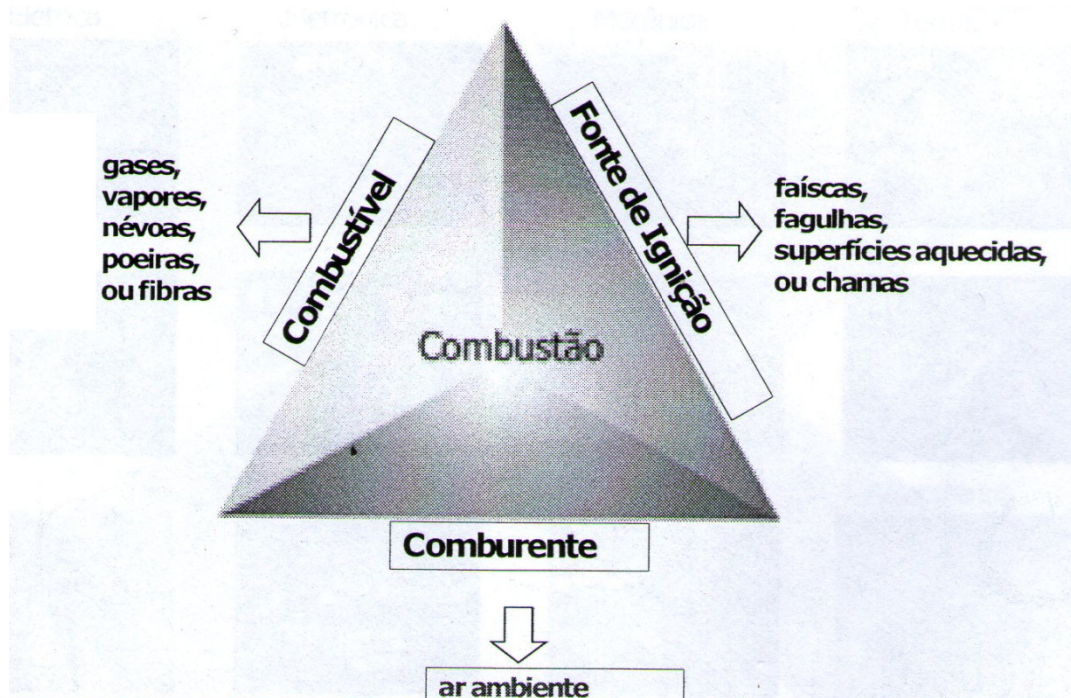


Figura 3 Triângulo do fogo

Fonte: ABPEXb

A decisão pelo sistema de proteção mais apropriado deverá estar baseada em critérios lógicos e admissíveis, de acordo com as possibilidades, mas sobretudo considerando as possíveis consequências das explosões.

2.5.1 SISTEMAS PARA EVITAR EXPLOSÕES

2.5.1.1 CONTROLE DE ATMOSFERA

O controle de atmosfera consiste na aplicação de técnicas que permitam reduzir a possibilidade de formação/presença de qualquer um dos componentes da mistura explosiva, ou na adição de outros componentes controlando as fontes de risco identificadas. Controle de atmosfera envolve, por exemplo:

- Substituição do produto inflamável;
- Redução da quantidade de inflamável;
- Diminuição da temperatura do processo;

- Impedimento ou minimização de liberações;
- Inertização;
- Prevenção da formação de uma atmosfera explosiva.

O controle da atmosfera resulta numa redução das áreas classificadas e traz como consequência otimização de investimentos em instalações elétricas, otimização da manutenção, otimização dos valores de seguro e melhora nas condições de saúde do trabalhador e meio ambiente.

2.5.1.2 CONTROLE DA IGNIÇÃO

Uma vez que os princípios de controle de atmosfera tenham sido aplicados, as áreas classificadas remanescentes devem ser tratadas com métodos de controle que impeçam que equipamentos ou serviços nestas área possam gerar fontes de ignição. De acordo com PASCON (2011), as medidas de energia mínima de ignição e temperatura mínima de ignição são parâmetros que devem ser conhecidos para que a exclusão seja feita de forma criteriosa até onde seja possível.

Nesse contexto surge o conceito de segurança intrínseca. A essência de um projeto intrinsecamente seguro é evitar ou remover, ao invés de adicionar equipamentos, itens ou instalações de proteção. Quanto menos a segurança for dependente de equipamentos, sistema e procedimentos, mas intrinsecamente seguro é a planta ou o processo (PASCON, 2011).

Um circuito intrinsecamente seguro, é definido pela CENELEC como: “Um circuito no qual nenhuma centelha e nenhum efeito térmico produzido nas condições de teste prescritas neste padrão (o qual inclui operação normal e as condições de falha especificadas) é capaz de causar ignição de uma determinada atmosfera explosiva”. A segurança está garantida mesmo na presença de falhas (PASCON, 2011).

Assim, é normal em plantas industriais o uso de barreiras de segurança intrínseca, que são colocadas fora das áreas classificadas. O acionamento dos equipamentos elétricos é, então, intrinsecamente seguro, ou seja, não tem energia suficiente para causar a ignição. Também existem outros exemplos de métodos de evitar a ignição de uma atmosfera explosiva:

- Equipamento elétrico apropriado (fixo ou portátil);
- Aterramento e equipotencialização evitando eletricidade estática;
- Permissões de serviço à quente;
- Uso de vestimenta apropriada;
- Acesso restrito a pessoal treinado;
- Sinalização em campo.

2.5.2 SISTEMAS PARA REDUZIR OS EFEITOS DA EXPLOSÃO DURANTE SEU CURSO

2.5.2.1 CONTENÇÃO

Esta técnica de proteção consiste em projetar o invólucro para suportar a pressão de uma explosão confinada. O invólucro pode ser projetado para suportar a pressão de uma explosão confinada várias vezes sem deformação permanente, por outro lado, pode ser projetada para resistir golpes de pressão resultante de explosões (PASCOM, 2011).

Nesta categoria de proteção estão incluídos os equipamentos elétricos a prova de explosão, os quais são projetados para resistir a uma explosão interna sem sofrer danos (PASCOM, 2011).

2.5.2.2 ALÍVIO OU “VENTING”

Consiste em interromper o curso de elevação de pressão durante a explosão, escoando os gases de combustão já formados e a parcela da mistura inflamável ainda não queimada,

mas que está sendo comprimida, para o exterior do equipamento onde ocorreu a explosão através de uma abertura suficientemente grande (PASCOM, 2011).

A Figura 4 mostra a curva de elevação de pressão durante uma explosão de uma explosão ordinária e uma explosão aliviada. Nota-se que a pressão que a explosão aliviada atinge, em geral, menos da metade da pressão de uma explosão confinada.

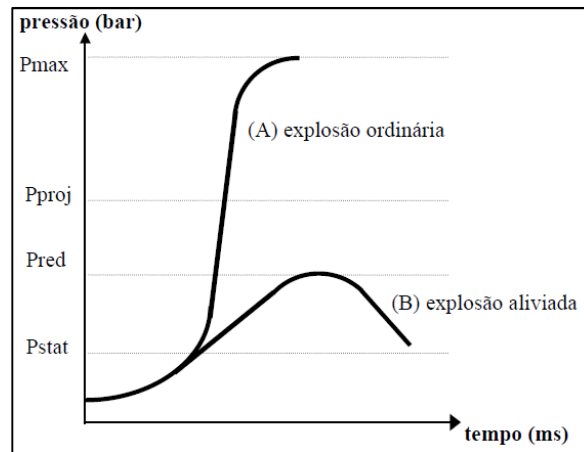


Figura 4 Curva de elevação da pressão durante uma explosão

Fonte: Pascom

2.5.2.3 SUPRESSÃO

Uma explosão não ocorre instantaneamente, seu curso demora um intervalo de 30 a 100 ms. A supressão consiste em detectar a explosão imediatamente após sua ignição e descarregar um material extintor na bola de fogo em expansão para resfriar a chama antes que pressões destrutivas se desenvolvam. A supressão é uma alternativa favorável quando produtos extremamente tóxicos estão envolvidos, proteção ambiental é imperativa e a adoção de contenção se mostra muito onerosa (PASCOM, 2011).

2.5.2.4 ISOLAMENTO

Quando possível, as explosões devem ficar isoladas das demais partes das instalações. Assim sendo, não haverá propagação da explosão para as outras partes das instalações. O

isolamento deve ser analisado sempre que estiverem sendo considerados os demais sistemas de proteção, caso contrário as instalações adjacentes não estarão protegidas. É prática em plantas industriais adotar intertravamentos de forma que se um invólucro sofrer uma explosão e romper, todos os equipamentos conectados são desligados (PASCUM, 2011).

2.5.3 SISTEMAS PARA MINIMIZAR AS CONSEQUÊNCIAS DE UMA EXPLOSÃO

2.5.3.1 LAY-OUT

De acordo PASCUM (2011), o *lay-out* de uma planta deve ser projetado de modo a evitar um “efeito dominó” iniciado por uma explosão e que pode destruir as plantas industriais arredores. O projeto visa basicamente 3 objetivos:

- Garantir que uma planta não cause perigo em uma outra planta, equipamentos e pessoas como decorrência de um posicionamento muito próximo;
- As plantas individuais devem estar distanciadas umas das outras de modo a evitar o “efeito dominó”. Devem ser levados em conta: explosão interna, fogo, emissão de material inflamável ou material tóxico;
- Propiciar acesso adequado a todos os locais, de forma que operações de resgate e combate à incêndio não tenham nenhum tipo de restrição.

2.5.3.2 SISTEMA DE COMBATE AO INCÊNDIO

Mesmo tomadas todas as medidas citadas acima para prevenção, proteção, controle e supressão de explosões, deve-se projetar também um sistema de incêndio, já que em muitos casos, uma das consequências de uma explosão é o fogo. Além disso, para o controle de danos de uma explosão recomenda-se reduzir ao máximo o número de pessoas expostas a uma possível explosão e fornecimento de equipamento de proteção individual adequado para resgate e salvamento (PASCUM, 2011).

3 ÁREAS CLASSIFICADAS POR GASES, VAPORES, POEIRAS E FIBRAS

3.1 CONCEITUAÇÃO CONFORME NORMA BRASILEIRA E INTERNACIONAL

A classificação de áreas é um método de análise e classificação do ambiente onde uma atmosfera explosiva de gás possa ocorrer, de modo a facilitar a adequada seleção e instalação de equipamentos a serem utilizados com segurança em tais ambientes. A classificação também leva em consideração as características de ignição dos gases ou vapores, tais como energia de ignição e a temperatura de ignição (ABNTb, 2009).

Na maioria das situações práticas, é difícil assegurar que uma atmosfera explosiva de gás irá ocorrer. Também é difícil de assegurar que um equipamento nunca se constitua de fonte de ignição. Sendo assim, onde existe uma alta probabilidade de ocorrer uma atmosfera explosiva, a confiabilidade é obtida usando-se equipamentos que possuam baixa probabilidade de se tornarem fontes de ignição. Por outro lado, onde houver uma baixa probabilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva, equipamentos construídos com requisitos menos rigorosos podem ser utilizados (ABNTb, 2009).

O primeiro passo é avaliar a probabilidade da frequência e duração de uma liberação (bem como o grau de risco), a taxa de liberação, concentração, velocidade, ventilação e outros fatores que afetam o tipo e/ou extensão da área classificada (ABNTb, 2009).

3.1.1 GRAUS DA FONTE DE RISCO

Admitindo-se que o equipamento de processo é uma fonte potencial de risco, é necessário determinar o grau dessa fonte de risco, em função da frequência e duração da liberação. Assim sendo, cada fonte de risco deverá ser classificada em conformidade com o seu grau, podendo ser contínuo, primário ou secundário.

A determinação do grau de risco por zonas, depende do grau da fonte de risco e da ventilação presente no local.

3.1.1.1 ZONA “0”

É uma área na qual uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa está continuamente presente ou por longos períodos ou frequentemente. Representa uma fonte de risco contínuo. Segundo ABNTb (2009), é considerada uma zona 0 um local onde há a presença de mistura inflamável em 1000 horas ou mais por ano, que corresponde a aproximadamente 10% do total de horas em um ano.

3.1.1.2 ZONA “1”

É uma área na qual uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa pode ocorrer ocasionalmente em condições normais de operação. Representa uma fonte de risco primário. Segundo ABNTb (2009), tem-se uma zona 1 quando há a presença de mistura inflamável em um local cerca de 10 a 1000 horas por ano, o equivalente de 0,1% a 10% do total de horas em um ano.

3.1.1.3 ZONA “2”

É uma área na qual uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa não é provável de ocorrer em condições normais de operação, mas se ocorrer irá persistir somente por um curto período. Segundo ABNTb (2009), uma zona 2 existe se existir uma atmosfera explosiva cerca de 1 a 10 horas por ano, que equivale a 0,01% a 0,1% do total de horas em um ano.

Quando a atmosfera explosiva está presente em menos do que 1 hora por ano, a área é considerada não classificada.

A Figura 5 mostra exemplos de Zona 0, Zona 1 e Zona 2 encontrados nas indústrias.

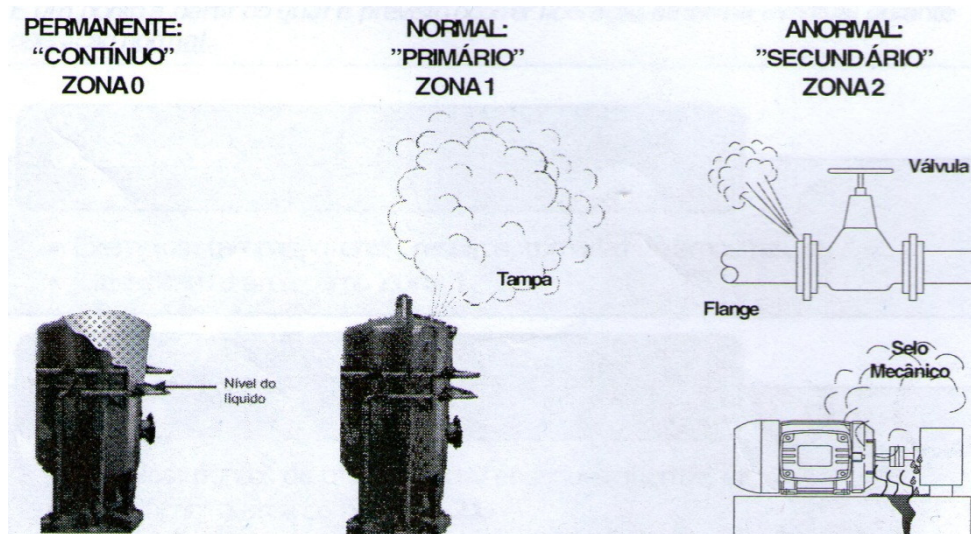


Figura 5 Graduação do risco conforme a frequência de ocorrência

Fonte: ABPEXb

Para atmosfera explosiva criada por poeiras e fibras a separação em zonas segue o mesmo critério, apenas a nomenclatura muda, que é respectivamente definida como Zona 20, Zona 21 e Zona 22. O Quadro 4 abaixo resume estes conceitos.

Descrição	Fonte de risco	Atmosfera explosiva	
		Gases e vapores	Poeiras e fibras
Local onde a formação de uma atmosfera explosiva é contínua ou existe por longos períodos	Contínua	Zona "0"	Zona "20"
Local onde a formação de uma atmosfera explosiva é provável de acontecer em condições normais de operação do equipamento de processo	Primária	Zona "1"	Zona "21"
Local onde a formação de uma atmosfera explosiva é pouco provável de acontecer e se acontecer é por curtos períodos estando ainda associada à operação anormal do equipamento de processo	Secundária	Zona "2"	Zona "22"

Quadro 4 Graduação do risco – conceituação

Fonte: ABPEXb

3.1.2 GRUPOS DE EQUIPAMENTOS

A norma brasileira classifica os ambientes em grupos referidos aos equipamentos elétricos. De acordo com ABNTa (2008), os equipamentos elétricos para atmosferas explosivas são divididos em três grupos:

3.1.2.1 GRUPO I

Equipamento elétrico do Grupo I é destinado para utilização em minas de carvão suscetíveis ao gás metano (conhecido como grisú).

3.1.2.2 GRUPO II

Equipamento elétrico do Grupo II é destinado para utilização em locais com uma atmosfera explosiva de gás que não minas suscetíveis ao grisú. São produtos encontrados em indústrias de superfície (químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc.).

Dentro deste grupo há uma subdivisão de acordo com a natureza da atmosfera explosiva de gás para o qual é destinado. Esta subdivisão é baseada no máximo interstício experimental seguro (MESG) ou na proporção de corrente mínima de ignição (MIC).

MIC se refere à corrente elétrica mínima que é capaz de inflamar uma determinada substância e o MESG se refere ao interstício máximo que pode ocorrer num invólucro sem que haja propagação para o meio externo, de uma eventual explosão que aconteça em seu interior (JORDÃO, 2003). Assim sendo, têm-se três subdivisões do grupo II:

- Grupo IIA: são produtos pertencentes à família do propano;
- Grupo IIB: são produtos pertencentes à família do etileno;
- Grupo IIC: são produtos pertencentes à família do hidrogênio, incluindo-se o acetileno.

3.1.2.3 GRUPO III

O equipamento elétrico do grupo III é utilizado em locais com uma atmosfera explosiva de poeiras que não minas suscetíveis a grisú. Novamente, de acordo com a natureza da atmosfera explosiva de poeira, temos a seguinte subdivisão:

- Grupo IIIA: fibras combustíveis;
- Grupo IIIB: poeiras não condutoras;
- Grupo IIIC: poeiras condutoras.

O equipamento elétrico marcado como IIC e IIIC é adequado respectivamente para aplicações que requerem equipamento IIB/IIA e IIIB/IIIA. Da mesma maneira equipamento elétrico marcado como IIB pode ser usado onde requer equipamento IIA. O contrário não é verdadeiro. O Quadro 5 mostra o que foi apresentado neste item resumidamente, incluindo as faixas de transição de acordo com a mínima energia de ignição (MIE).

Grupo	Descrição	MIE (mJ)
I	Grisú (mistura de gases com predominância de metano encontrada em minas subterrâneas)	0,52
IIA	Propano, Butano, Gasolina, Acetona, Hexano, Gás natural, Benzeno, etc	$\geq 0,20$
IIIB	Eteno, Etanol, Formaldeído, Monóxido de carbono, Gás sulfídrico, etc.	$< 0,20$
IIC	Acetileno, Hidrogênio e Dissulfeto de carbono	$< 0,04$
IIIA	Fibras: Rayon, Algodão, Sisal, Juta, Fibras de madeira, etc.	$> 0,10$
IIIB	Poeiras não condutivas: Açúcar, Farinha de trigo, Celulose, Polietileno, Propileno, etc.	
IIIC	Poeiras condutivas: Alumínio, Ferro - manganês, Carvão, Coque, Grafite, etc.	

Quadro 5 Graduação do risco – grupo de explosividade

Fonte: ABPEXb

3.1.3 CLASSE DE TEMPERATURA

Se objetos tais como chapas aquecidas, acessórios de iluminação, invólucros, cabos aquecidos forem levados ao contato com uma determinada atmosfera inflamável cuja

temperatura de autoignição é menor que a temperatura de superfície dos mesmos, ocorrerá ignição. Conhecendo a temperatura de autoignição dos produtos inflamáveis do setor onde o equipamento deverá trabalhar, pode-se escolher a classe de temperatura apropriada, que deverá ser menor que a temperatura de autoignição dos produtos em questão.

De acordo com ABNTa (2008), o Quadro 6 mostra a divisão entre as classes de temperatura encontradas em plantas industriais.

Classe de temperatura	Máxima temperatura de superfície (°C)
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Quadro 6 Classificação da temperatura máxima de superfície para equipamentos elétricos do Grupo II

Fonte: ABNTa

Quando se trata de equipamentos elétricos do Grupo III, a máxima temperatura de superfície depende de vários fatores, e como o estudo de caso apresentado neste trabalho não apresenta atmosfera explosiva gerada por poeiras, não será abordado como a norma brasileira trata este assunto.

3.2 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PARA ÁREAS CLASSIFICADAS

Equipamentos elétricos não devem ser instalados em áreas classificadas pois podem causar a ignição de uma atmosfera explosiva. No entanto, nem sempre consegue-se retirar da área classificada todos os equipamentos elétricos. Neste caso, existem equipamentos elétricos especiais para serem usados nestes locais.

Para evitar a ignição por parte dos equipamentos, são usadas diversas técnicas construtivas para que se evite faíscas elétricas e temperaturas de superfície capazes de iniciar

uma explosão. Existem três principais métodos de proteção usados nos equipamentos elétricos:

- Confinamento da explosão: método que confina a explosão em um invólucro capaz de resistir a pressão desenvolvida durante a explosão;
- Segregação da faísca: método que visa separar fisicamente a atmosfera explosiva da fonte de ignição;
- Supressão: método que controla a fonte de ignição a não possuir energia suficiente para iniciar a explosão.

3.2.1 NÍVEL DE PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (EPL)

Segundo ABNTa (2008), todos os equipamentos elétricos especiais usados em áreas classificadas, devem ter obrigatoriamente a identificação de EPL, que consiste basicamente em duas letras, conforme segue:

A primeira letra, em maiúscula, se refere ao local da instalação do equipamento, sendo identificada como:

- M (Mining): para instalação em minas subterrâneas;
- G (Gases): para instalação onde a atmosfera explosiva possível de estar presente no local seja composta gases ou vapores inflamáveis;
- D (Dusts): para instalação onde a atmosfera explosiva possível de estar presente no local seja composta por poeiras combustíveis.

A segunda letra, em minúsculo, se refere ao nível de proteção proporcionado pelo equipamento, sendo identificado como:

- a: para nível de proteção muito alto, ou seja, dois meios independentes de proteção ou segurança, mesmo quando da ocorrência de duas falhas, independentemente uma da outra;

- b: para nível de proteção alto, ou seja, adequado para operação normal e com distúrbios de ocorrência frequente ou equipamento onde falhas são normalmente levadas em consideração;
- c: para nível de proteção elevado, ou seja, adequado para operação normal.

Portanto, levando em consideração o zoneamento para a determinação do EPL dos equipamentos elétricos especiais, tem-se o seguinte:

- Em zonas 0 deve-se instalar apenas EPL Ga;
- Em zonas 1 pode-se instalar EPL Ga ou Gb;
- Em zonas 2 pode-se instalar EPL Ga, Gb ou Gc.

3.2.2 TIPO DE PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para cada tipo de proteção capaz de evitar a ignição de uma atmosfera inflamável é atribuída uma simbologia. Esta simbologia se refere exclusivamente a equipamentos que operam em áreas classificadas. A simbologia adotada é a seguinte: A sigla Ex, seguida de uma letra minúscula, com significado particular para cada tipo considerado. A seguir é feita a descrição dos tipos de proteção comumente encontrados nas plantas industriais.

3.2.2.1 EX-I – SEGURANÇA INTRÍNSECA

Tipo de proteção baseada na restrição de energia elétrica envolvendo equipamentos e fiação de interconexão expostos a uma atmosfera explosiva, a um nível abaixo daquele capaz de causar ignição, tanto por centelhas como por efeitos de aquecimento. Pode ser usada em todas as zonas e como visto anteriormente, seu princípio de proteção é a supressão.

3.2.2.2 EX-M – ENCAPSULADOS

Tipo de proteção onde partes que sejam capazes de ignitar uma atmosfera explosiva, seja por centelhamento ou aquecimento, são encapsulados em um composto de tal forma que

a atmosfera explosiva não possa ser ignitada sob condições de operação. Pode ser usado em todas as zonas e o método de proteção é a segregação.

3.2.2.3 EX-P – PRESSURIZADOS

Técnica de prevenção contra o ingresso de atmosfera externa no interior de um invólucro, através de manutenção de um gás de proteção interno, a uma pressão acima da atmosfera externa. Este tipo de proteção pode ser usado em zona 1 e zona 2. Seu método de proteção é a segregação.

3.2.2.4 EX-D – À PROVA DE EXPLOSÃO

Tipo de proteção na qual as partes que podem ignitar uma atmosfera explosiva são instalados dentro de um invólucro que pode suportar a pressão desenvolvida durante uma explosão interna de uma mistura explosiva e que evita a transmissão da explosão para a atmosfera explosiva ao redor do invólucro. Pode ser utilizado em zona 1 e seu método de proteção é o confinamento.

3.2.2.5 EX-E – SEGURANÇA AUMENTADA

Tipo de proteção aplicada aos equipamentos elétricos nos quais medidas adicionais são aplicadas, de forma a oferecer um aumento de segurança contra a possibilidade de temperaturas excessivas e da ocorrência de arcos ou centelhas em regime normal ou sob condições anormais especificadas. É utilizado em zona 1 e sua técnica de proteção é a supressão.

3.2.2.6 EX-O – IMERSÃO EM ÓLEO

Tipo de proteção na qual o equipamento ou partes elétricas são imersas em um líquido de proteção de tal forma que uma atmosfera explosiva que possa estar acima do líquido ou do

lado externo do invólucro não possa ser ignitada. É utilizado em zona 1 e sua técnica de proteção é a segregação.

3.2.2.7 EX-Q – IMERSÃO EM AREIA

Tipo de proteção na qual partes capazes de ignitar uma atmosfera explosiva são fixados em posições e completamente circundados por um material de enchimento para evitar a ignição de uma atmosfera explosiva externa. É usado em zona 1 e o tipo de proteção é a segregação.

3.2.2.8 EX-N – NÃO ACENDÍVEL

Tipo de proteção aplicada a equipamentos elétricos que, em operação normal e em certas condições anormais especificadas, não sejam capazes de ignitar uma atmosfera explosiva ambiente. É utilizado somente em zona 2 e a técnica de proteção é a supressão.

3.2.2.9 EX-T – PROTEÇÃO POR INVÓLUCRO

Tipo de proteção onde todos os equipamentos elétricos são protegidos por um invólucro para evitar a ignição de uma camada ou nuvem de poeira. É usado nas zonas 20, 21 e 22.

A Figura 6 apresenta um exemplo de marcação de um equipamento elétrico para área classificada sintetizando todo o conteúdo deste item.

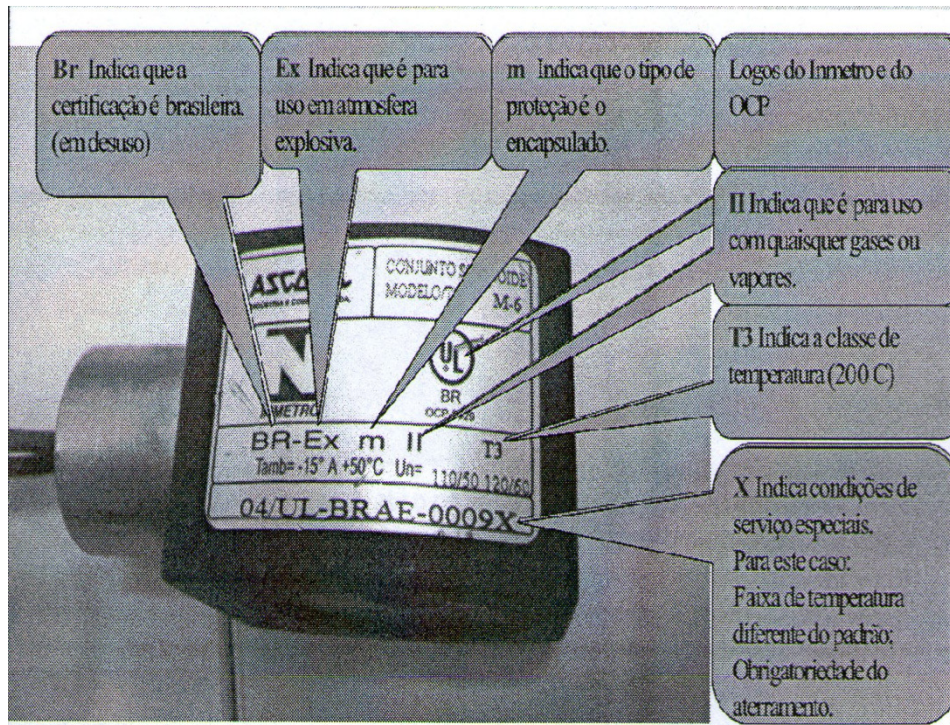


Figura 6 Exemplo de marcação de um equipamento Ex

Fonte: ABPEXb

3.3 EXEMPLOS DE CLASSIFICAÇÕES DE ÁREA

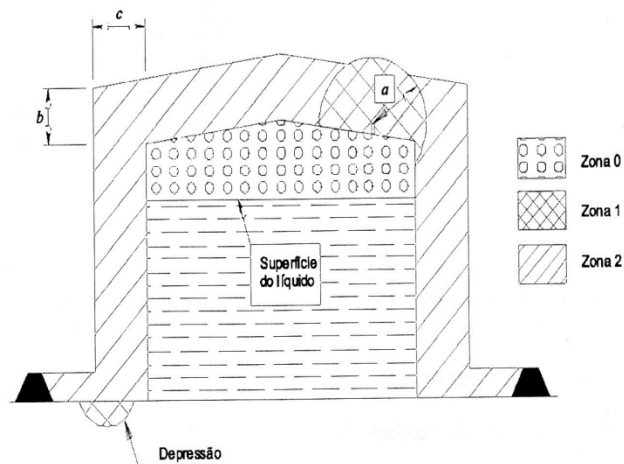
Conforme mencionado acima, os elementos básicos para se definir as áreas classificadas consistem na identificação das fontes de risco e na determinação do grau destas fontes. Em particular, as áreas de zona 0 e zona 1 necessitam ser minimizadas em quantidade e extensão, seja por projeto ou por procedimentos operacionais adequados. Em outras palavras, plantas e instalações devem possuir principalmente áreas de zona 2 ou áreas não classificadas (ABNTb, 2009).

Sendo assim, são considerações prioritárias do profissional qualificado limitar as fontes de risco, seja pela escolha de equipamentos de processo corretos, projeto ou procedimentos especiais que minimizem a quantidade e a extensão das áreas classificadas. Quando é inevitável a criação de uma área classificada, o profissional deve ser capacitado para escolher o equipamento elétrico especial adequado para determinada área classificada.

De acordo com ABNTb (2009), a extensão de uma zona classificada depende da distância estimada ou calculada sobre a qual uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis exista antes que esta possa dispersar no ar para uma concentração abaixo do seu limite inferior de explosividade, com um fator apropriado de segurança. A extensão da zona é principalmente afetada pelos seguintes parâmetros físicos e químicos:

- Taxas de liberação de gás ou vapor: quanto maior for a taxa de liberação do material inflamável, maior será a extensão da área classificada;
- Limite inferior de inflamabilidade (LII): para um dado volume liberado, quanto menor o LII, maior é a extensão da zona;
- Ventilação: com o aumento da ventilação, a extensão da zona é normalmente reduzida. Obstáculos que possam impedir a ventilação podem aumentar a extensão da zona. Por outro lado, alguns obstáculos, por exemplo, diques, paredes ou tetos, podem limitar a extensão da zona.
- Densidade relativa do gás ou vapor liberado: Se um gás ou vapor for significativamente mais leve que o ar, este tende a subir. Se for significativamente mais pesado, este tende a se acumular no nível do solo. A extensão horizontal da zona no nível do solo aumentará com o aumento de densidade relativa e a extensão vertical na área acima da fonte de risco aumentará com o a redução da densidade relativa.

Em um desenho de classificação de área, discrimina-se cada área de acordo com as diretrizes apresentadas neste capítulo, e ele serve de base para a escolha dos equipamentos elétricos que serão instalados na área. As Figuras 7 e 8 apresentam exemplos de como é um desenho da classificação de uma área.

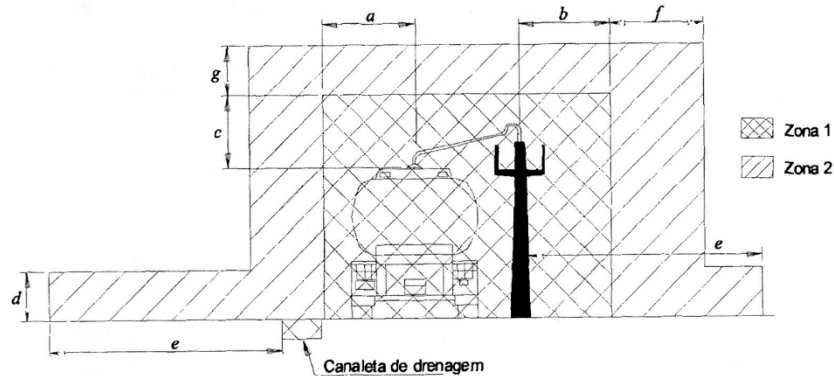


Levando em consideração os parâmetros relevantes, os dados apresentados a seguir são valores típicos que seriam estimados para este exemplo:

- $a = 3$ m a partir do respiro ("vent");
- $b = 3$ m acima do teto;
- $c = 3$ m horizontalmente do tanque.

Figura 7 Exemplo de delimitação de área classificada por poeira

Fonte: ABNTb



Levando em consideração os parâmetros relevantes, os dados apresentados a seguir são valores típicos que seriam obtidos para este exemplo.

- $a = 1,5$ m horizontalmente da fonte de risco;
- $b = 1,5$ m horizontalmente da junta de articulação flexível;
- $c = 1,5$ m acima da fonte de risco;
- $d = 1$ m acima do nível do solo;
- $e = 4,5$ m horizontalmente da canaleta de drenagem;
- $f = 1,5$ m horizontalmente da zona 1;
- $g = 1,0$ m acima da zona 1.

Figura 8 Exemplo de delimitação de área classificada por gases

Fonte: ABNTb

4 VENTILAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Gás ou vapor liberado na atmosfera pode ser diluído por dispersão ou difusão no ar até que sua concentração esteja abaixo do limite inferior de explosividade. A difusão ocorre devido a diferença de concentrações entre os gases na atmosfera e é regida pelas leis de transferência de massa. A ventilação será a responsável pela dispersão, aumentando a rapidez da diluição de gás inflamável na atmosfera. Taxas adequadas de ventilação também podem evitar a persistência de uma atmosfera explosiva de gás e, desta forma, influenciar o tipo de zona (ABNTb, 2009).

A ventilação pode ser obtida pelo movimento do ar devido ao vento e/ou pelos gradientes de temperatura ou por meios artificiais, tais como ventiladores. Assim sendo, duas formas principais de ventilação são reconhecidas: ventilação natural e ventilação artificial, esta última, ainda pode ser geral ou local (ABNTb, 2009).

4.1 VENTILAÇÃO NATURAL

Este é um tipo de ventilação que é obtido pelo movimento do ar causado pelo vento e/ou por gradientes de temperatura. Em ambientes externos, a ventilação natural, na maioria das vezes, é suficiente para assegurar a dispersão de uma eventual atmosfera explosiva de gás que possa surgir na área. Em ambientes abertos, a velocidade do ar usualmente é maior do que 2 m/s e raramente abaixo de 0,5 m/s (JORDÃO, 2002) (ABNTb, 2009).

A ventilação natural também pode ser efetiva em alguns casos de ambientes internos. Em prédios situados acima do solo sem nenhuma abertura especial para a entrada e saída de ar, no mínimo há uma troca de ar por hora, isto é, o ar nesses ambientes é trocado uma vez a cada hora influenciado apenas pelas correntes de convecção. Para ambientes tipo porão (abaixo do solo), apenas 0,4 trocas de ar por hora é esperada nesses locais, uma vez que há menor convecção. Se forem instaladas aberturas para a entrada e saída do ar, esses valores

podem ser aumentados para cerca de o dobro. Se ocorrer menos de uma troca de ar por hora, o ambiente é considerado não ventilado (JORDÃO, 2002) (ABNTb, 2009).

De acordo com ABNTb (2009), pode-se citar como exemplos de ventilação natural:

- Situações de ambientes externos, típicos de indústria química e de petróleo, como, por exemplo, estruturas abertas, suportes de tubulações, pátios de bombas e similares;
- Uma edificação aberta, considerando a densidade relativa dos gases e/ou vapores envolvidos, que tenha aberturas nas paredes e/ou no teto, de tal forma dimensionadas e localizadas que a ventilação no interior da edificação, para o objetivo de classificação de áreas, possa ser considerada como equivalente à situação de ambientes externos;
- Uma edificação que não seja aberta, mas que possua ventilação natural (geralmente menor do que uma edificação aberta), provida de aberturas permanentes, construídas com o objetivo de ventilação.

4.2 VENTILAÇÃO ARTIFICIAL

Em comparação com a ventilação natural, a ventilação artificial torna possível empregar grandes quantidades de ar e, com maior objetividade, promover uma circulação de ar. Entretanto é importante assegurar que os dispositivos responsáveis pela ventilação artificial, tais como: ventiladores, dutos, difusores e aberturas não se tornem inoperantes. A perda da ventilação deve ser evitada a qualquer custo, principalmente enquanto perdurar o risco de uma formação de atmosfera inflamável (JORDÃO, 2002).

A ventilação artificial é principalmente aplicada em ambientes internos, entretanto esta também pode ser aplicada em ambientes externos, de modo a compensar a ventilação natural restrita ou impendida, provocada pela presença de obstáculos (ABNTb, 2009).

A ventilação artificial de uma área pode ser do tipo geral ou local e, para ambos os casos, podem ser apropriados diferentes graus de movimentação e de renovação de ar. Conforme ABNTb (2009), com a utilização de ventilação artificial é possível a obtenção de:

- Redução do tipo e/ou extensão das zonas;
- Diminuição do tempo de persistência de uma atmosfera explosiva de gás;
- Prevenção da formação de uma atmosfera explosiva de gás.

Novamente conforme ABNTb (2009), atendendo a considerações de projeto, um sistema de ventilação artificial para a proteção contra explosão necessita atender aos seguintes requisitos:

- Sua efetividade necessita ser controlada e monitorada;
- Deve-se levar em consideração a classificação de áreas no interior do sistema de exaustão, imediatamente no lado externo do seu ponto de descarga e outras aberturas deste sistema de exaustão;
- Para ventilação de uma área classificada, o ar necessita ser normalmente captado de uma área não classificada;

Conforme a mesma citada, deve-se notar a influência dos seguintes fatores na qualidade de um sistema de ventilação artificial:

- Os gases e vapores inflamáveis geralmente possuem densidades diferentes da densidade do ar, desta forma estes tendem a se acumular próximo ao teto ou piso em uma área fechada, onde o movimento do ar é geralmente reduzido
- Mudanças de densidade do gás com a temperatura;
- Barreiras e obstáculos podem causar a redução ou até mesmo impedir movimento do ar, isto é, podem causar a não ventilação em certas partes da área;
- Turbulência e padrões de circulação de ar.

A ABNTb (2009), ainda apresenta como exemplos de ventilação artificial geral:

- Uma edificação dotada de ventiladores nas paredes e/ou teto, com o objetivo de melhorar a ventilação geral da edificação;
- Uma situação de ambiente aberto, provido com ventiladores adequadamente localizados, com o objetivo de melhorar a ventilação geral da área.

A mesma citada apresenta como exemplos de ventilação artificial localizada:

- Um sistema de exaustão de ar/vapor aplicado a um equipamento de processo que continuamente ou periodicamente libera vapor inflamável;
- Um sistema de ventilação ou exaustão forçada aplicado a uma área específica, pequena e com ventilação local, onde é previsto que uma atmosfera explosiva de gás possa ocorrer em caso de ausência deste sistema de ventilação.

4.3 GRAUS DE VENTILAÇÃO

A efetividade da ventilação em controlar a dispersão e a persistência da atmosfera explosiva de gás depende do grau e da disponibilidade da ventilação e do projeto do sistema. Por exemplo, a ventilação pode não ser suficiente para evitar a formação de uma atmosfera explosiva de gás, mas pode ser suficiente para evitar a sua persistência (ABNTb, 2009).

Conforme ABNTb (2009), são reconhecidos os três graus de ventilação a seguir:

4.3.1 VENTILAÇÃO ALTA (VA)

Pode reduzir a concentração no local da fonte de risco virtualmente instantaneamente, resultando em uma concentração abaixo do limite inferior de explosividade. Resulta em uma extensão de zona desprezível. Entretanto, onde a disponibilidade de ventilação não é boa, outro tipo de zona pode ocorrer ao redor da extensão de zona desprezível (ABNTb, 2009).

4.3.2 VENTILAÇÃO MÉDIA (VM)

Pode controlar a concentração, resultando em uma situação estável de extensão da zona, enquanto estiver ocorrendo a liberação e onde a atmosfera explosiva de gás não persiste desnecessariamente após ter cessado o vazamento (ABNTb, 2009).

4.3.3 VENTILAÇÃO BAIXA (VB)

Não pode controlar a concentração enquanto ocorre o vazamento e/ou não pode evitar a permanência indevida de uma atmosfera explosiva de gás, após ter cessado o vazamento.

4.4 AVALIAÇÃO DO GRAU DE VENTILAÇÃO

4.4.1 GENERALIDADES

A extensão de uma nuvem de gás ou vapor inflamável e o tempo pelo qual esta persiste após ter cessado o vazamento podem ser controlados por meio da ventilação. O método para a avaliação do grau de ventilação requerido para controlar a extensão e o tempo de persistência de uma atmosfera explosiva de gás descrito na norma brasileira ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009 e será descrito a seguir (ABNT, 2009).

É conveniente observar que este método está sujeito às limitações descritas e desta forma apresenta resultados somente aproximados. É necessário que a utilização de fatores de segurança assegure que os resultados obtidos estão a favor da segurança (ABNTb, 2009).

A avaliação do grau de ventilação requer primeiramente o conhecimento da taxa máxima de liberação do gás ou vapor no local da fonte de risco, seja pela experiência, por meio de cálculos adequados, hipóteses confiáveis ou disponibilidade de dados de fabricantes (ABNTb, 2009).

4.4.2 ESTIMATIVA DO VOLUME HIPOTÉTICO (V_Z)

O volume hipotético V_Z representa o volume no qual a concentração média do gás ou vapor inflamável é tipicamente 0,25 ou 0,5 vez o LII, dependendo do valor do fator de segurança k . Isto significa que nas extremidades do volume hipotético estimado, a concentração do gás ou vapor estaria significativamente abaixo do LII, ou seja, o volume no qual a concentração está acima do LII seria menor do que V_Z (ABNTb, 2009).

Deve-se salientar que os cálculos de V_Z são destinados somente para auxiliar na avaliação do grau de ventilação. O volume hipotético de risco não é diretamente relacionado com a extensão da área classificada. As dimensões de uma área classificada, a partir de uma determinada fonte de risco, são geralmente algumas ou até mesmo muitas vezes maiores do que o volume hipotético V_Z (ABNTb, 2009).

Segundo ABNTb (2009), para determinar o volume hipotético é necessário, primeiramente, estabelecer a taxa de vazão mínima da ventilação teórica de ar para diluir uma determinada quantidade de material inflamável, para uma concentração requerida abaixo do limite inferior de inflamabilidade. Isto pode ser calculado através da seguinte equação:

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{k \times LII_m} \times \frac{T}{293} \quad (1)$$

onde

$(dV/dt)_{min}$ é a taxa mínima de vazão volumétrica de ar (volume por tempo, m^3/s);

$(dG/dt)_{max}$ é a taxa máxima de liberação na fonte de risco (massa por tempo, kg/s);

LII_m é o limite inferior de inflamabilidade (massa por volume, kg/m^3);

K é o fator de segurança aplicado ao LII_m ; tipicamente:

$k = 0,25$ (para fontes de risco de graus contínuo e primário)

$k = 0,5$ (para fontes de risco de grau secundário)

T é a temperatura ambiente (em Kelvin, K).

A relação entre o valor calculado $(dV/dt)_{min}$ e a taxa real de ventilação dentro do volume considerado (V_O) nas proximidades da fonte de risco pode ser expressa com um volume (V_K).

$$V_K = \frac{(dV/dt)_{min}}{C} \quad (2)$$

onde

C é o número de renovações de ar por unidade de tempo (s^{-1}) e é proveniente de

$$C = \frac{dV_O/dt}{V_O} \quad (3)$$

onde

dV_O/dt é a taxa total de vazão de ar através do volume sob consideração, e

V_O é o volume total (no interior da planta definida) servido pela ventilação nas redondezas da liberação que estiver sendo considerada.

Conforme ABNTb (2009) a Equação (3) é válida para uma mistura homogênea e instantânea no local da fonte de risco apresentando condições ideais de vazão de ar. Na prática, esta situação ideal geralmente não é encontrada, por exemplo, devido a possíveis obstruções da vazão do ar, resultando em partes da área pouco ventiladas. Desta forma, a troca efetiva de ar no local da fonte de risco é menor do que a dada por C na Equação (3), levando a um aumento do volume (V_Z). Através da introdução de um fator de correção (qualidade) adicional f na Equação (2), obtém-se

$$V_Z = f \times V_K = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C} \quad (4)$$

onde

f é a eficiência da ventilação em termos de sua efetividade de diluir a atmosfera explosiva de gás, com f variando de $f = 1$ (situação ideal) até tipicamente $f = 5$ (vazão de ar impedida).

De acordo com ABNTb (2009), o tempo t requerido para uma concentração média cair de um valor inicial X_0 até LII vezes k , depois que a liberação tenha cessado, pode ser estimado através de:

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LII \times k}{X_0} \quad (5)$$

onde

X_0 é a concentração inicial de uma substância inflamável medida na mesma unidade que o LII, ou seja, em % em volume ou kg/m³;

C é o número de trocas de ar por unidade de tempo;

t é expresso na mesma unidade de tempo que C , ou seja, se C foro número de trocas de ar por segundo, então o tempo t é dado em segundos;

f é um fator para permitir a vazão de ar impedido e tem o mesmo valor numérico quando utilizado na determinação de V_Z (ver Equação (4));

\ln é o logaritmo natural, e

k é o fator de segurança relacionado com o LII e tem o mesmo valor numérico quando utilizado na determinação de $(dV/dt)_{min}$ (ver Equação (1)).

O valor numérico de t obtido pela Equação (5), por si mesmo, não constitui um meio quantitativo para a decisão sobre o tipo de zona. Este valor oferece uma informação adicional que deve ser comparada com a escala de tempo do processo e situação em particular (ABNTb, 2009).

4.4.3 ESTIMATIVA DO GRAU DE VENTILAÇÃO

Estimativas iniciais sugeririam que uma fonte de risco de grau contínuo normalmente leva à ocorrência de uma zona 0, assim como uma fonte de risco de grau primário à uma zona 1 e uma fonte de risco de grau secundário à uma zona 2, porém isto não é sempre o caso, em função do efeito da ventilação (ABNTb, 2009).

Em alguns casos, o grau e o nível de disponibilidade de ventilação podem ser tão altos que, na prática, não existe área classificada. Por outro lado, o grau de ventilação pode ser tão baixo que a zona resultante possua um tipo de zona de maior risco. O volume V_Z pode ser utilizado para oferecer um meio para a determinação do grau de ventilação como alto, médio ou baixo para cada grau de liberação da fonte de risco (ABNTb, 2009).

4.4.4 VENTILAÇÃO ALTA (VA)

A ventilação pode ser considerada alta (VA) somente quando uma avaliação de risco mostrar que é desprezível a extensão do prejuízo potencial devido ao aumento súbito da temperatura e/ou pressão, como resultado da ignição de uma atmosfera explosiva de gás de volume igual a V_Z (ABNTb, 2009).

Conforme ABNTb (2009), as condições acima são aplicadas normalmente quando V_Z é menor que $0,1 \text{ m}^3$ ou menor que 1% de V_O , o que for menor. Na prática, a ventilação alta pode geralmente ser aplicada somente a um local onde um sistema artificial de ventilação circunda uma fonte de risco para pequenas áreas fechadas ou no caso de taxas de liberação muito pequenas.

4.4.5 VENTILAÇÃO BAIXA (VB)

A ventilação necessita ser considerada como baixa (VB) se V_Z exceder V_O . Ventilação baixa não ocorre, geralmente, em situações de ambientes abertos, exceto quando existirem restrições para o fluxo de ar, como, por exemplo, em depressões (ABNTb, 2009).

4.4.6 VENTILAÇÃO MÉDIA (VM)

Se a ventilação não for alta (VA) nem baixa (VB), então esta deve ser considerada como média (VM). Normalmente V_Z é menor ou igual a V_O . A ventilação considerada como média necessita ser capaz de controlar a dispersão da liberação do vapor ou gás inflamável. O tempo necessário para dispersar uma atmosfera explosiva de gás influencia o tipo da zona e o volume V_Z comparado ao volume V_O irá influenciar a extensão da área classificada (ABNTb, 2009).

4.5 DISPONIBILIDADE DE VENTILAÇÃO

A disponibilidade da ventilação tem influência sobre a presença ou formação de uma atmosfera explosiva de gás. Desta forma, a disponibilidade (bem como o grau) da ventilação necessita ser levada em consideração quando da determinação do tipo da zona (ABNTb, 2009).

De acordo com ABNTb (2009), três níveis de disponibilidade de ventilação necessitam ser considerados:

- Boa: ventilação está presente praticamente de modo contínuo;
- Satisfatória: espera-se que ventilação esteja presente sob condições normais de operação. Descontinuidades são admitidas desde que estas ocorram esporadicamente e por curtos períodos;

- Pobre: ventilação que não atende ao padrão de ventilação satisfatória ou boa, mas não se espera que descontinuidades ocorram por longos períodos.

Uma ventilação que nem sequer atenda ao requisito de disponibilidade pobre não deve ser considerada contribuinte de ventilação de área (ABNTb, 2009).

Para ambientes abertos, a avaliação da ventilação deve normalmente ser baseada na velocidade mínima assumida do vento de 0,5 m/s, o qual estará presente praticamente de modo contínuo. Neste caso, a disponibilidade da ventilação pode ser considerada boa (ABNTb, 2009).

Na avaliação da disponibilidade da ventilação artificial, a confiabilidade dos equipamentos e a disponibilidade destes, por exemplo, sopradores reservas (em “*stand-by*”), necessitam ser consideradas. Uma disponibilidade boa irá requerer normalmente, sob condição de falha, a partida automática dos sopradores reservas. Entretanto, se medidas forem tomadas para evitar a liberação de material inflamável quando a ventilação falhar (por exemplo, através da parada automática do processo), a classificação especificada com a ventilação artificial operando não necessita ser modificada, isto é, a disponibilidade pode ser assumida como sendo boa.

O efeito da ventilação sobre os tipos de zonas pode ser resumido no Quadro 7

Ventilação							
Grau da fonte de risco	Grau						
	Alto			Médio			Baixo
	Disponibilidade						
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, satisfatória ou pobre
Contínuo	(Zona 0 ED) Não classificada ^a	(Zona 0 ED) Zona 2 ^a	(Zona 0 ED) Zona 1 ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primário	(Zona 1 ED) Não classificada ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 ou zona 0 ^c
Secundário ^b	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e mesmo Zona 0 ^c
Nota 1 "+" significa "envolvida por". Nota 2 "ED" significa "extensão desprezível".							
^a Zona 0 ED, 1 ED ou 2 ED indica uma zona teórica que seria de extensão desprezível sob condições normais ^b A zona 2 criada por uma fonte de risco de grau secundário pode exceder aquelas atribuídas à fonte de risco de grau primário ou contínuo; neste caso, a maior distância necessita ser considerada. ^c Será zona 0 se a ventilação for tão fraca e a liberação for tal que na prática uma atmosfera explosiva de gás exista praticamente de modo contínuo (ou seja: aproxima-se à condição de "não ventilado").							

Quadro 7 Influência da ventilação independente no tipo de zona

Fonte: ABNTb

5. ESTUDO DE CASO

5.1 INTRODUÇÃO

Os dados do estudo de caso que será apresentado a seguir são respectivos a empresa Braskem S.A. A Braskem atua no setor de resinas termoplásticas, sendo que o polietileno e o polipropileno são as duas principais resinas da empresa. Atualmente ela é a 5ª maior petroquímica do mundo e a maior das Américas, produzindo mais de 10 milhões de toneladas de resinas por ano.

A Braskem tem plantas industriais no Brasil e nos EUA, e projetos de novas plantas em outros diversos países da América, entretanto a grande maioria delas estão presente no Brasil. A Figura 9 mostra todas as plantas industriais da Braskem e sua localização.

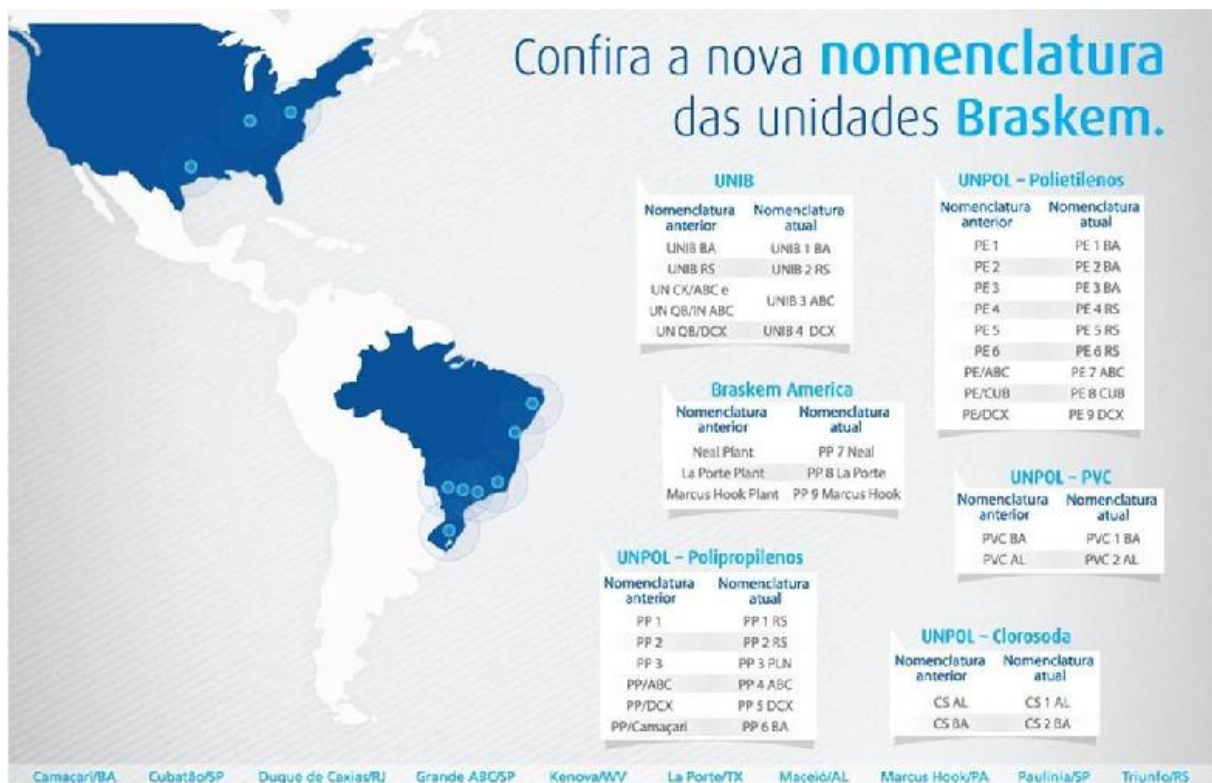


Figura 9 Distribuição das plantas industriais da Braskem no Brasil

Fonte: BRASKEM

No município de Triunfo, no estado do Rio Grande do Sul, há uma planta de insumos básicos (UNIB-RS) que recebe o nafta advindo da Petrobrás e produz a matéria-prima para as

plantas de polipropileno e polietileno. Existem também duas unidades fabris produtoras de polipropileno, que são nomeadas como PP1-RS e PP2-RS e 3 unidades fabris produtoras de polietileno, chamadas de PE4-RS, PE5-RS e PE6-RS. O estudo de caso deste trabalho foi realizado na unidade PE4-RS.

A unidade respectiva ao estudo de caso, a unidade Polietileno 4 – RS (PE4-RS) é composta por 3 plantas industriais, denominadas de Planta Autoclave, Planta Tubular e Planta Spherilene. É nesta última planta industrial que será realizado o estudo de caso deste trabalho.

O alvo do estudo de caso será a subestação da planta Spherilene. O polo petroquímico de Triunfo recebe energia elétrica no nível de tensão de 230 kV, e em uma subestação localizada dentro do polo a tensão é rebaixada a 34,5 kV. A energia então é direcionada através de barramentos para as subestações principais de cada planta. A subestação principal da unidade PE4 alimenta a subestação que contém os painéis elétricos que alimentam a planta Spherilene, nomeada de SE-51, local do estudo de caso.

A subestação da planta Spherilene (SE-51) é responsável pela alimentação de toda a planta Spherilene da unidade PE4-RS, em alta e baixa tensão e inclusive pela iluminação da planta. Na subestação possui instalado um *nobreak* do tipo on-line, ou seja, ele está diretamente ligado ao sistema de alimentação, e em caso de falta de energia, faz-se um chaveamento para que um banco de baterias passe a alimentar o *nobreak* da subestação. O banco de baterias tem autonomia de aproximadamente 1 hora, assim há tempo suficiente para efetuar, caso necessário, o *shutdown* da planta com segurança.

O banco de baterias se caracteriza como fonte de risco pois libera hidrogênio, gás de alta explosividade, na atmosfera nas seguintes situações:

- o banco de baterias fornece a energia necessária quando ocorre falta de energia, quando restabelece-se a energia, o banco de baterias é recarregado, e neste processo ocorre a liberação de hidrogênio;

- em operação normal, o banco de baterias liberam hidrogênio;
- em caso de falha do banco de baterias, por exemplo, quando ocorre curto-circuito interno das baterias, também há liberação de hidrogênio.

Por estes motivos, e considerando que o hidrogênio é um gás de alta explosividade, a subestação pode vir a ser uma área classificada, dependendo das condições de ventilação da sala onde está localizado o banco de baterias.

5.2 OBJETIVOS

Na Figura 10 ilustra-se o banco de baterias em questão, composto por 61 elementos, cada um deles com capacidade de 550 Ah, 2 V, que é acionado na falta de energia elétrica na subestação. Nota-se que as baterias não estão localizadas em uma sala específica, o que geralmente acontece em subestações. Nota-se também que o banco de baterias está localizado muito próximo dos painéis elétricos, que são fontes de ignição.



Figura 10 Banco de baterias localizado na subestação do estudo do caso (SE-51)

Fonte: BRASKEM

Portanto, nesta situação particular, há dois fatores que agravam sobremaneira esta classificação de área; Primeiramente tem-se o banco de baterias localizado junto aos painéis da subestação, e não em uma sala específica para este fim, gerando em caso de explosão, a perda equipamentos da subestação, o que acarretaria na parada da planta Spherilene da unidade PE4-RS. Se o banco de baterias estivesse localizado em uma sala específica, este dano poderia ser minimizado ou até mesmo limitado à sala de baterias.

Outro fator agravante são os painéis elétricos presente nas proximidades das baterias. Estes painéis contêm contadoras e relés que são chaveados constantemente, gerando arcos elétricos, e portanto são fontes de ignição. A proximidade dos painéis e do banco de baterias aumenta consideravelmente o risco de explosão no caso de uma presença de atmosfera explosiva.

Além de todos estes agravantes, deve-se ter em mente que, no caso de uma explosão, pode haver a ocorrência de acidentes fatais, caso haja pessoas trabalhando dentro da subestação.

Portanto, o objetivo deste estudo de caso é quantificar a vazão de hidrogênio liberada pelos bancos de baterias e avaliar se as condições de ventilação natural do local são capazes de manter a concentração do hidrogênio abaixo de 25% do LII, (valor de segurança estipulado em norma), e assim reduzir o risco da área avaliada, no caso, a subestação SE-51.

Se a ventilação presente no prédio da subestação não for suficiente para manter a concentração adequada de hidrogênio, propor-se-á alternativas a fim de adequar a subestação a norma de modo que ela seja considerada não-classificada.

Todos os cálculos, estimativas, fatores de segurança e aproximações são baseados nas normas ABNT/NBR e normas IEC mencionadas nas referências, normas que são aceitas pela seguradora que avalia o valor do seguro da empresa Braskem S.A..

5.3 CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA

Por razões de custo, operacionais e disponibilidade de acesso, o banco de baterias da subestação SE-51 foi instalado dentro do prédio da subestação, ao lado de painéis, ao contrário da situação comum, a instalação em uma sala específica e, deste modo, todo o prédio da subestação fica sujeito à influência do plano de classificação de áreas.

Isto implica em que somente equipamentos elétricos de construção adequada para uso nesse tipo de atmosfera podem ser aplicados, uma vez que os prédios seriam construídos em área provavelmente de Zona 2 e, caso não tenha um sistema de ventilação adequado, o ambiente interno se transformaria em Zona 1.

Como exemplo, vamos considerar que a subestação tivesse que ser construída com equipamentos à prova de explosão. Pelo fato de ser um local de alta densidade de dispositivos elétricos, é fácil imaginar que a instalação de invólucros à prova de explosão para todos os componentes poderia trazer sérios inconvenientes do ponto de vista de montagem, operação, manutenção e até mesmo segurança, em face das características particulares desse tipo de construção, das quais pode-se ressaltar:

- Carcaças mais pesadas (paredes mais robustas, dimensionadas para suportar pressões de explosão internas);
- Acesso aos componentes dificultado (tampa fixada ao corpo por rosca ou por parafusos, estes geralmente em grande número);
- Impossibilidade de utilização de painéis com gavetas extraíveis (os invólucros somente podem ser abertos com o equipamento desernezigado);
- Maior custo de aquisição, instalação e manutenção.

Por outro lado, a aplicação de equipamentos de forma construtiva não especial, do tipo uso-geral, possibilita usufruir-se principalmente das seguintes vantagens:

- Menor custo de aquisição, instalação e manutenção;

- Fácil acesso às partes internas;
- Possibilidade de intercambiabilidade de componentes;
- Permite a construção de painéis com gavetas extraíveis (manutenção de componentes possível sem que seja necessário desernegizar o conjunto);
- Facilidade de se executar interligações e intretamentos

Porém, para que isto seja possível, é necessário que o ambiente interno seja transformado numa área não classificada, onde não há nenhuma restrição quanto ao tipo de equipamento a ser empregado.

A prática mais comum para se conseguir esse objetivo é dotar o prédio com um sistema de ventilação, de tal modo projetado que os gases e vapores inflamáveis, eventualmente existentes no ambiente considerado, fiquem em concentração inferior ao limite de inflamabilidade, com o devido fator de segurança previsto em norma.

Sabe-se, a partir de dados do fabricante do banco de baterias, que em condição normal de funcionamento, as baterias liberam uma quantidade desprezível de hidrogênio, entretanto, em condições de carregamento e falha (curto-circuito interno), as baterias liberam hidrogênio em quantidade suficiente para formar uma atmosfera explosiva. Posto isso, e sabendo-se que o carregamento das baterias é uma operação normal de funcionamento e ocorre ocasionalmente, o grau da fonte de risco nesse caso é primário, classificando o prédio como Zona 1.

No Quadro 8 identifica-se as propriedades relevantes do hidrogênio, substância inflamável presente no prédio de subestação, importantes na classificação de área.

Substância	Densidade de Vapor (AR=1)	Limites de Inflamabilidade				Temperatura de Ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo
		(% em volume)		(massa específica (g/m ³))				
		Inferior	Superior	Inferior	Superior			
Hidrogênio	0,07	4	75,6	3,3	64	560	T1	IIC

Quadro 8 Principais propriedades do hidrogênio

A partir do Quadro 8, nota-se que a densidade de vapor do hidrogênio, que é muito menor que a do ar, faz com que o hidrogênio se acumule em bolsões no teto da subestação, sendo assim, haverá maior preocupação com as instalações elétricas na parte superior da estrutura do prédio da subestação.

Também pode-se observar que a faixa de explosividade do hidrogênio é ampla, o que aumenta o risco de explosão, nota-se também que o LII é bastante baixo, ou seja, a pequena concentração de 4% em volume de hidrogênio na atmosfera já é capaz de gerar uma atmosfera explosiva.

A temperatura de autoignição do hidrogênio é bastante alta (560 °C), o que faz com que os equipamentos elétricos que podem ser instalados nessa área sejam classificados como T1; este é um ponto favorável já que em condições normais de operação, nenhum componente interno da subestação é capaz atingir esta temperatura.

A energia mínima de ignição do hidrogênio é uma das mais baixas dentre todas as substâncias inflamáveis comuns. Isso faz com que o hidrogênio, em relação a classificação do ambiente referente aos equipamentos elétricos que podem ser instalados, pertença ao grupo IIC, isto é, ao grupo que necessita menor energia de ignição para iniciar uma explosão, portanto, o hidrogênio pertence ao grupo de maior risco.

Portanto o prédio da subestação teria uma classificação de área do tipo: Zona 1 – Grupo IIC – T1. Entretanto, nesta classificação não foi considerado o grau da ventilação da subestação, bem como a sua disponibilidade, que poderá ser responsável pela desclassificação da área.

5.4 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE VENTILAÇÃO

Conforme anteriormente mencionado neste texto, a ventilação pode ter dois efeitos em determinada classificação de área: pode aumentar o grau de risco devido ao baixo grau e/ou pobre disponibilidade de ventilação ou diminuir o grau de risco devido ao alto grau e/ou boa disponibilidade de ventilação.

Em sequência ao estudo de caso, será determinado o grau de ventilação da subestação, em conformidade ao que é estabelecido em norma, que foi apresentado no capítulo 4 deste trabalho.

Para determinar o grau de ventilação é necessário conhecer a taxa máxima de liberação na fonte de risco, em kg/m^3 , no caso estudado aqui, precisa-se conhecer a taxa máxima de liberação de hidrogênio do banco de baterias. De acordo com o setor de projeto da fabricante do banco de baterias, em 3 situações ocorre liberação de hidrogênio.

Em condições normais de operação, baterias reguladas por válvulas liberam pequenas quantidades de hidrogênio. Quando as baterias estão sendo recarregadas, a máxima liberação de hidrogênio que pode ocorrer é de $1,27 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ por ampere por elemento a 25° C e pressão padrão do ambiente. Em condições de falha das baterias, por exemplo, um curto-circuito, ocorre a mesma liberação de hidrogênio que quando em carga extrema, porém, como as baterias estão em série, a bateria em curto logo abrirá e cessará o carregamento, impedindo a liberação. Temperaturas acima de 25° C resultam em um incremento da liberação de hidrogênio. Portanto para o cálculo da taxa máxima de liberação, considera-se a situação em que as baterias estão sendo recarregadas.

O modelo de bateria utilizado na subestação é fabricado pela empresa Fulguris Newpower, são baterias estacionárias reguladas por válvula, modelo FAVR, com capacidade de 550 Ah, e conforme mencionado, têm-se 61 baterias instaladas em série. A Figura 11 ilustra a bateria usada na SE-51, disponível no site da empresa.



Figura 11 Baterias usadas na SE-51

Fonte: FULGURIS

A norma IECa (2007), apresenta uma tabela de referência com a corrente de carga em flutuação e carga rápida pela capacidade em Ah para cada tipo de bateria. No Quadro 9 estão representados os valores de corrente de carga para o tipo de bateria em questão, reguladas por válvula.

	Baterias com células reguladas por válvulas
Corrente (flutuação) mA por Ah	1
Corrente (carga rápida) mA por Ah	8

Quadro 9 Corrente de carga para baterias com células reguladas por válvulas

Fonte: IECa

Assim sendo, considerando o pior caso, a corrente de carga em carga rápida e as informações do fabricante, pode-se estimar a taxa máxima de liberação da fonte de risco:

$$(dG/dt)_{max} = 1,27 \times 10^{-7} * 8 \times 10^{-3} * 550 * 61 = 3,4 \times 10^{-5} m^3/s$$

(6)

Para obter a taxa na unidade de kg/s, basta multiplicar a Equação (6) pela massa específica do gás hidrogênio, cujo valor é de 0,08235 kg/m³.

$$(dG/dt)_{max} = 3,4 \times 10^{-5} * 0,08235 = 2,8 \times 10^{-6} kg/s$$

(7)

Para o cálculo da taxa mínima de vazão volumétrica de ar $((dV/dt)_{min})$, dado pela Equação (1), necessita-se conhecer o limite inferior de explosividade, em kg/m^3 , dado na tabela 8, o fator de segurança k , igual a 0,25 (correspondente a fontes de risco de grau secundário); e a temperatura ambiente, em Kelvin. A temperatura ambiente será considerada como a de pior caso, o valor de aproximadamente $40^\circ C$ no verão, ou seja, 313 K.

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{k * LII} \times \frac{T}{293} = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{0,25 * 3,3 \times 10^{-3}} \times \frac{313}{293} = 3,62 \times 10^{-3} m^3/s$$

(8)

Conforme explicado no capítulo 4, a relação entre o valor calculado $(dV/dt)_{min}$ e a taxa real de ventilação do volume considerado V_O (volume interno da subestação), nas proximidades da fonte de risco pode ser expressa como um volume V_K , dado pela Equação (2). Para o cálculo de V_K , necessita-se conhecer o número de renovações de ar por unidade de tempo (C), em s^{-1} , dado pela Equação (3).

O prédio da subestação é dotado de ventilação artificial geral, conforme pode visualizado pela Figura 12. O duto de ar central possui 20 distribuidores de ar, cada um medindo 20x50 cm.



Figura 12 Duto de ar central do sistema de ventilação da subestação

Fonte: BRASKEM

Os 20 distribuidores estão separados por distâncias iguais, de modo a prover uma distribuição de ar uniforme na subestação. Para definir o número de renovações de ar do ambiente, precisa-se saber a vazão de ar deste sistema de ventilação, para isso efetuou-se a medição da velocidade do ar na sucção de ar do ventilador, em 6 pontos distintos e foi feita uma média dos valores encontrados. A Figura 13 mostra a sucção de ar do ventilador enquanto que o Quadro 10 apresenta os cálculos para estimar a vazão de ar de entrada do sistema de ventilação que por sua vez está sendo distribuída dentro da subestação pelos 20 distribuidores de ar. A área disponível para entrada de ar da sucção do ventilador pode ser aproximada por dois trapézios, como pode-se observar na Figura 13, que juntos totalizam aproximadamente $0,6 \text{ m}^2$ de área.



Figura 13 Sucção de ar do ventilador

Fonte: BRASKEM

Medidas	Velocidade (m/s)	Área (m ²)	Vazão de ar (m ³ /s)
1	12	0,6	8,3
2	14		
3	14,5		
4	15		
5	14,5		
6	13		
Média	13,83		
Vazão Total (m³/s)			8,3

Quadro 10 Cálculo de vazão total do distribuidor de ar da subestação

Com o valor da vazão total de ar e o volume da sala, que é de 2400 m³ (5x12x40 m), e considerando a Equação (3), pode-se calcular o número de renovações por unidade de tempo:

$$C = \frac{dV_o/dt}{V_o} = \frac{8,3}{2400} = 0,00346 \text{ s}^{-1} \text{ ou } 12,5 \text{ h}^{-1}$$

(9)

Então, conforme a Equação (2), o volume V_K é dado por:

$$V_K = \frac{(dV/dt)_{min}}{C} = \frac{3,62 \times 10^{-3}}{0,00346} = 1,05 \text{ m}^3 \quad (10)$$

Finalmente o volume hipotético V_Z é definido pela Equação (5), onde usa-se um fator de segurança de acordo com a eficiência da ventilação em termos de sua efetividade de diluir a atmosfera explosiva de gás, variando de $f = 1$ (situação ideal) até tipicamente $f = 5$ (vazão de ar impedida). Novamente, como fator de segurança, foi escolhido um valor conservador de $f = 5$, sendo assim:

$$V_Z = f * V_K = 5 * 1,05 = 5,25 \text{ m}^3 \quad (11)$$

A estimativa do tempo de persistência é dada pela Equação (5), e sabendo-se que a concentração inicial da substância inflamável é considerada como 100%, pois em algum ponto da atmosfera explosiva de gás, a concentração pode ser de 100% (em geral, somente nas vizinhanças muito próximas das fontes de risco), pode-se efetuar o cálculo:

$$t = -\frac{f}{C} * \ln \frac{LII * k}{X_o} = -\frac{5}{12,5} * \ln \frac{4 * 0,25}{100} = 1,85 \text{ horas} \quad (12)$$

Abaixo será feito um resumo do cálculo do grau de ventilação.

Características da fonte de risco:

- Material inflamável: gás hidrogênio;
- Massa específica do gás hidrogênio: 0,08235 Kg/m³;
- Fonte de risco: banco de baterias;
- Limite inferior de inflamabilidade: 3,3 g/m³ (4% em vol.);
- Grau da fonte de risco: risco primário;

- Fator de segurança, k : 0,25;
- Taxa de liberação, $(dG/dt)_{max}$: $2,8 \times 10^{-6}$ kg/s;

Características da ventilação:

- Ambiente fechado
- Número de trocas de ar, C : 12,5/h, (0,00346/s)
- Fator de qualidade, f : 5
- Temperatura ambiente, T : 40° C (313 K)
- Coeficiente de temperatura, $(T/293 \text{ K})$: 1,07
- Tamanho do ambiente, V_O : $5 \times 12 \times 40 = 2400 \text{ m}^3$

Taxa mínima da vazão volumétrica do ar:

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{k * LII} \times \frac{T}{293} = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{0,25 * 3,3 \times 10^{-3}} \times \frac{313}{293} = 3,62 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Avaliação do volume hipotético V_Z :

$$V_Z = f * V_K = 5 * 1,05 = 5,25 \text{ m}^3$$

Tempo de persistência:

$$t = -\frac{f}{C} * \ln \frac{LII * k}{X_o} = -\frac{5}{12,5} * \ln \frac{4 * 0,25}{100} = 1,85 \text{ horas}$$

5.5 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DA VENTILAÇÃO

Conforme apresentado no capítulo 4, há três níveis de disponibilidade de ventilação: boa, satisfatória e pobre. Sabendo-se que existe ventilação artificial geral na subestação, a disponibilidade de ventilação só pode ser considerada como boa se existirem equipamentos em *stand-by* caso haja parada dos equipamentos por falha.

No caso do sistema de ventilação da subestação, a disponibilidade da ventilação pode ser considerada como boa, pois existem dois motores disponíveis acoplados ao sistema de ventilação. Um deles está sempre em *stand-by* para o caso da falha do motor em operação.

6. CONCLUSÕES

O volume hipotético V_Z , embora seja significativamente menor que V_O , é maior do que $0,1 \text{ m}^3$. Sendo assim, o grau de ventilação pode ser considerado como médio em relação à fonte de risco e à área em consideração.

A disponibilidade de ventilação, conforme posto acima, pode ser considerada como boa, e de acordo com o Quadro 7 o prédio da subestação atende ao conceito de Zona 1. O tempo de persistência de 1,85 horas também está de acordo com o conceito de Zona 1.

Portanto, a ventilação presente na subestação não é suficiente para desclassificar a subestação, que dessa maneira, é uma área classificada, e por conseguinte, deveria ter equipamentos especiais para áreas classificadas. Como este não é o caso, a subestação necessita de algum tipo de controle, seja de atmosfera ou de ignição, para desclassificar o ambiente.

6.1 ALTERNATIVA 1

A subestação pode ser considerada como não-classificada caso um sistema de exaustão localizado seja instalado sobre as baterias, a fim de remover a atmosfera explosiva de gás hidrogênio.

Quanto ao sistema de ventilação artificial local, deve ser instalada exaustão mecânica, com sucção localizada o mais próximo e acima do banco de baterias, pois devido a sua baixa densidade em relação ao ar, o hidrogênio tende a subir para bolsões no teto. Além disso, aberturas para entrada de ar devem ser localizadas junto ao piso.

Os dutos de exaustão e ventilação que atendem a sala de baterias devem ser completamente independentes dos dutos que atendem qualquer outro compartimento, e estes devem ser metálicos e aterrados, para evitar fonte de ignição por eletricidade estática. A classificação do sistema de exaustão internamente é Zona 0 – IIC – T1, enquanto que após os

exaustores, ou seja, onde o ar será expelido, de acordo com valores usuais encontrados em situações semelhantes em ABNTb (2009): (1,5 m Zona 1 + 1,5 m Zona 2) – IIC – T1.

O motor elétrico do exaustor deve ser montado fora do fluxo, para prevenir que gás hidrogênio penetre no interior do motor. O exaustor também deve ser de material não centelhante.

Falha ou desligamento de ventilação forçada deve ser sinalizada e alarmada. Caso o alarme seja ativado, intertravamento elétrico deve interromper o carregamento das baterias. Para uma segurança adicional pode ser instalado sensor catalítico de gás hidrogênio nos dutos de exaustão de salas de baterias. A atuação do sensor indicado 25% do LII deve ser sinalizada e alarmada. Aqui novamente, intertravamento elétrico deve interromper o carregamento das baterias.

Foi feito contato com a empresa São Carlos, que oferece soluções para a Braskem em serviços de exaustão e ventilação, a fim de obter uma estimativa de custo para o sistema de exaustão descrito acima. O custo com equipamentos e mão-de-obra de instalação foi estimado em aproximadamente R\$ 7.000,00. Nesta estimativa inicial, vários detalhes do projeto não foram contabilizados, ou seja, após a fase de detalhamento o custo será maior que o estimado inicialmente. Sabe-se, por experiência, que o custo dos projetos executados na Braskem, geralmente acabam custando de 3 a 4 vezes mais que o valor estimado nesta primeira análise. Para fins de comparação com as outras alternativas, o valor estimado para a instalação do sistema de exaustão é de aproximadamente R\$ 25.000,00.

6.2 ALTERNATIVA 2

Outra alternativa que poderia solucionar o problema, seria a mudança do local de instalação do banco de baterias. O deslocamento deste banco de baterias para uma sala de baterias já existente, resolveria o problema, pois somente a sala de baterias seria área

classificada, e tendo eliminado a fonte de risco do prédio da subestação, a área seria não-classificada, e portanto, os equipamentos elétricos da subestação estariam de acordo com a sua classificação de área.

Esta alternativa não contempla a aquisição de novos equipamentos, sendo assim, a estimativa de custo foi baseada em serviços semelhantes já executados dentro da Braskem. O custo total refere-se basicamente a desinstalação e reinstalação do banco de baterias no novo local, e o lançamento de cabos do novo local de instalação até o painel localizado na subestação.

Existe uma sala de baterias que localiza-se do lado oposto da parede da subestação, portanto a distância para lançamentos de cabos não é extensa, entretanto, há a necessidade de andaimes para executar a operação de lançamento dos cabos, o que acaba tornando o custo dessa alternativa elevado. Estima-se que esta alternativa custe aproximadamente R\$ 20.000,00, devido, em grande parte, a necessidade de andaimes para a execução do lançamento dos cabos.

6.3 ALTERNATIVA 3

Outra solução seria limitar a corrente de carga das baterias. Desta maneira, pode-se calcular o valor de corrente de carga que gere um volume hipotético menor que 0,1 m³, fazendo com que o grau de ventilação fosse considerado alto, e segundo o Quadro 7, juntamente com a informação que a disponibilidade de ventilação é boa, chega-se a conclusão que existe uma Zona 0 de extensão desprezível, ou seja, a área seria desclassificada.

As baterias levarão mais tempo para serem recarregadas, porém como o evento de falta de energia não ocorre com frequência, esta medida poderia ser tomada para solucionar o problema.

O custo desta alternativa pode ser considerado nulo, já que necessita-se apenas calcular o valor da corrente de carga a fim de obter um volume hipotético menor que $0,1 \text{ m}^3$, e ajustar este valor no painel do *nobreak*.

De posse do custo das três alternativas e, lembrando que se tratam de custos estimados, recomenda-se que imediatamente seja executada a alternativa 3, já que seu custo é nulo. Em um segundo momento, devido aos custos das alternativas 1 e 2 serem semelhantes, recomenda-se executar um detalhamento destas alternativas, com a finalidade de chegar a conclusão de qual delas tem o melhor custo-benefício, para que, com isso, obtenha-se a possibilidade de efetuar a operação de carga do banco de baterias em regime de carga-rápida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNTa). **NBRIEC-60079-0:** Atmosferas Explosivas – Atmosferas Explosivas Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNTb). **NBRIEC-60079-10-1:** Atmosferas Explosivas Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES (ABPEXa). **Manual de bolso de Instalações elétricas em atmosferas explosivas.** São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES (ABPEXb). **Programa de Treinamento ABPEX: Capacitação de profissionais em áreas classificadas – Princípios Gerais de Classificação de áreas.** Triunfo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES (ABPEXc). **Programa de Treinamento ABPEX: Capacitação de profissionais em áreas classificadas – Princípios Gerais de Prevenção de Explosões.** Triunfo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES (ABPEXd). **Apresentação de metodologia para prevenção de explosões (2005).** Disponível em: <http://www.sitivesp.org.br/download/metodologia_prev.pdf> Acesso em: setembro de 2011.

BRASKEM. **Portal interno dos funcionários.** Disponível em: <http://view.braskem.com.br/ibk-br/Pages/Braskem/A_Empresa/AEmpresa_Unidade.aspx>. Acesso em: outubro de 2011.

FULGURIS. **Baterias estacionárias VRLA.** Disponível em: <<http://www.fulguris.com.br/estacionarias-vrla.php>>. Acesso em: outubro de 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IECa). **IEC 61892-7: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations – Part 7: Hazardous areas**. Geneva, 2007.

JORDÃO, D. M. **Manual de instalações elétricas em indústrias químicas, petroquímicas e de petróleo**. Rio de Janeiro, 2002.

KORVER, W.O.E. **Electrical Safety in Flammable Gas/Vapor Laden Atmospheres (2001)**. Disponível em:

<http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=300&VerticalID=0>. Acesso em: setembro de 2011.

MCMILLAN, A. **Electrical Installations in Hazardous Areas (1998)**. Disponível em:

<http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=669&VerticalID=0>. Acesso em: setembro de 2011.

NOLAN, D. P. **Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities (1996)**. Disponível em:

<http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=287&VerticalID=0>. Acesso em: setembro de 2011.

PASCON, P. E. **Sistemas de proteção contra explosões**. Disponível em:

<http://www.processos.eng.br/Portugues/PDFs/sistemas_de_protecaoo.pdf>. Acesso em: setembro de 2011.

SHELDRAKE, A. L. **Handbook of Electrical Engineering – For practitioners in the oil, gas and petrochemical industry (2003)**. Disponível em:

<http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1077&VerticalID=0>. Acesso em: setembro de 2011.