

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

ALINE BUBA AMARAL

**ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS EM UMA SALA DE  
CARREGAMENTO DE BATERIAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2015

ALINE BUBA AMARAL

**ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS EM UMA SALA DE  
CARREGAMENTO DE BATERIAS**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós - Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

CURITIBA  
2015

**ALINE BUBA AMARAL**

**ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS EM UMA SALA DE  
CARREGAMENTO DE BATERIAS**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Banca:

---

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski (orientador)  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba  
2015

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a minha mãe, Lucrecia Buba, pela oportunidade que me concedeu em trabalhar com ela na área de engenharia de segurança do trabalho.

Gostaria também de agradecer aos meus colegas de trabalho, em especial Eng. Francisco das Chagas Caldas dos Santos e Eng. Gustavo Alexandre de Souza, pelo enorme aprendizado na realização de nossos trabalhos em equipe, que contribuíram para meu crescimento profissional e conhecimentos para realização desta monografia.

Agradeço aos meus amigos e futuros colegas de profissão pela amizade que tivemos durante o curso de engenharia de segurança do trabalho.

Por último, a todos os professores que durante o curso nos passaram seus conhecimentos e experiências adquiridos durante suas vidas como engenheiros de segurança do trabalho.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal classificar uma sala de carregamento de baterias do tipo chumbo ácida, em relação a probabilidade de formação de atmosfera explosiva por gás hidrogênio, como base os procedimentos da norma ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009. Para o estudo foi levantado dados do gás inflamável, liberado pela bateria, da ventilação natural e artificial da sala, e do processo operacional das baterias, bem como, avaliação das instalações *in loco*. Definiu-se que os gases presentes nas baterias são potenciais fontes de risco (de grau contínuo), onde a liberação de gases eventuais pelas tampas das baterias é grau primário, e as aberturas da sala (janelas e portas) para áreas adjacentes é grau secundário (curto período, em condições anormais de operação). Através dos cálculos realizados do volume teórico de gás liberado pelo hidrogênio na sala ( $V_z$ ), abaixo do limite inferior de explosividade (LIE), em comparação com o volume da área ( $V_0$ ), foi definido o grau de ventilação da sala como médio e disponibilidade satisfatória. A comparação destes dados com a norma concluiu a classificação da sala, como: zona 1 (provável de ocorrer durante a operação), envolvida por uma zona 2 (não é provável, mas se ocorrer é por curto período).

**Palavras – chaves:** Atmosfera Explosiva; Fonte de Risco; Ventilação.

## ABSTRACT

This study aimed to classify a lead acid type battery charging room, for the probability of explosive atmosphere formation by hydrogen gas, based on the procedures of ABNT NBR IEC 60079-10-1: 2009. For the study was raised data of the flammable gas released by the battery, natural ventilation and artificial the room, and the operational process of the batteries, as well as evaluation of on-site facilities. It was defined that the gases present in the batteries are potential risk sources (solid grade), where the release of any gases through the lids of the batteries is primary degree, and the area of the openings (doors and windows) to adjacent areas is secondary school (short period, under abnormal operating conditions). Achieved through the theoretical amount of hydrogen gas released by the calculations in the room ( $V_z$ ) below the lower explosive limit (LEL), in comparison to the volume of the area ( $V_0$ ), the degree of ventilation of the room was set to medium, and satisfactory availability. The comparison of these data with the standard room completed the classification, such as: zone 1 (likely to occur during operation), surrounded by a zone 2 (not likely, but if there is a short period).

**Key - words:** Explosive Atmosphere; Risk Source; Ventilation.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ILUSTRAÇÃO DO TRIÂNGULO DO FOGO .....	18
FIGURA 2 – LIMITE DE EXPLOSIVIDADE DO GÁS HIDROGÊNIO.....	20
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO EM PLANTA .....	55
FIGURA 4 – CROQUI DA SALA DE BATERIAS.....	55
FIGURA 5 - MODELO ILUSTRATIVO DE UMA BATERIA CHUMBO-ÁCIDA....	57

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TABELA DE GRUPO DE TEMPERATURA.....	22
QUADRO 2 - CLASSE DE TEMPERATURA.....	22
QUADRO 3 – DADOS DE SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS.....	23
QUADRO 4 – ZONEAMENTO DE ÁREAS CLASSIFICADAS.....	29
QUADRO 5 — PROCEDIMENTO DE SOMA DE MÚLTIPLAS FONTES DE LIBERAÇÃO DENTRO DO VOLUME $V_O$ .....	34
QUADRO 6 — PROCEDIMENTO DE SOMA DE MÚLTIPLAS FONTES DE RISCO DE GRAU PRIMÁRIO.....	34
FONTE: ABNT (2009).....	34
QUADRO 7 – CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA COM BASE NA VENTILAÇÃO.....	37
QUADRO 8 – VALORES DE $I_{GÁS}$ NAS BATERIAS EM CARGA E FLUTUAÇÃO.....	39
QUADRO 9 – CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS DE ACORDO COM O GRAU DE FONTE DE RISCO.....	50
FONTE: JORDÃO, 2002.....	50
QUADRO 10 – CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS DE ACORDO COM O TIPO DE ABERTURA E GRAU DE FONTE DE RISCO.....	50
FONTE: ABNT (2009).....	50
QUADRO 11 – DADOS DO HIDROGÊNIO.....	54



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1. OBJETIVOS .....	11
1.1.1. Objetivo Geral .....	11
1.1.2. Objetivos Específicos .....	11
1.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	11
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
2.1. NORMAS DE REFERÊNCIA PARA ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS .....	12
2.2. OBJETIVOS DO ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS .....	13
2.3. DEFINIÇÕES IMPORTANTES .....	14
2.3.1. Características das substâncias inflamáveis .....	14
2.3.2. Atmosfera explosiva .....	23
2.3.3. Informações de Processo .....	23
2.3.4. Áreas classificadas.....	28
2.4. VENTILAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS .....	30
2.4.1. Tipos de ventilação:.....	30
2.4.2. Grau de ventilação .....	31
2.4.3. Avaliação da Ventilação:.....	32
2.4.4. Disponibilidade de Ventilação: .....	36
2.4.5. Ventilação Exigida em Sala de Baterias.....	37
2.5. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE LIBERAÇÃO DE GASES .....	40
2.6. EXTENSÃO DAS ZONAS DE RISCO.....	41
2.7. FONTES DE IGNIÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS.....	42
2.7.1. Instalações elétricas .....	43
2.7.2. Execução de serviço a quente .....	43
2.7.3. Eletricidade Estática .....	44
2.8. CONSIDERAÇÕES POSTERIORES AO ESTUDO DE ÁREAS CLASSIFICADAS .....	44
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS INICIAIS .....	46
3.1.1. Produto Inflamável .....	46
3.1.2. Processo operacional .....	47
3.1.3. Dados da Ventilação.....	48
3.2. AVALIAÇÃO EM CAMPO .....	48
3.2.1. Ambiente e Ventilação .....	48
3.2.2. Fontes de Risco e Grau de Risco .....	49
3.3. CÁLCULOS PARA DEFINIÇÃO DO GRAU DE VENTILAÇÃO.....	51
3.4. CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA .....	52
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
4.1. DADOS DO PRODUTO INFLAMÁVEL.....	54
4.3. DADOS DO AMBIENTE .....	54
4.4. FONTE E GRAU DE RISCO .....	57
4.5. TAXA DE LIBERAÇÃO .....	58
4.6. GRAU DE VENTILAÇÃO.....	58
4.7. DISPONIBILIDADE DE VENTILAÇÃO .....	59
4.8. CLASSIFICAÇÃO.....	59

4.9. RECOMENDAÇÕES:.....	59
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias que utilizam empilhadeiras, carregadores ou demais veículos elétricos e/ou necessitam de energia elétrica, acabam utilizando baterias recarregáveis do tipo chumbo ácido. Para suprir a demanda da produção, são dispostas estruturas como uma sala para o carregamento das baterias.

Segundo Osterneck et al. (2009, p.2), durante o processo de recarga, os acumuladores das baterias desprendem gás hidrogênio para o ambiente em que se encontram, sendo este gás altamente inflamável e explosivo. Assim, dependendo das condições de ventilação, é provável que este gás se acumule e venha a formar uma atmosfera explosiva no entorno da bateria e em todo o ambiente. Desta forma, qualquer fonte de ignição presente neste local, como instalações elétricas e eletricidade estática, sem as devidas proteções exigidas pelas normas de segurança, representam um risco de explosão.

Para o planejamento da construção, operação e adequação de sala de baterias, de forma a prevenir os riscos de formação de atmosfera explosiva, é necessária uma análise criteriosa e rigorosa da área, produto e processo, chamada de “estudo de classificação de áreas” (LOPEZ, 2010).

As áreas classificadas possuem um risco que lhes são inerentes: explosão. Dessa forma, devem ser alvo de cuidados especiais e qualquer interferência nas áreas e nos seus respectivos entornos, tais como instalações elétricas e manutenções, devem ser sistematicamente observados e os raios de segurança respeitados.

Este trabalho irá apresentar os procedimentos de classificação de uma área quanto à probabilidade de formação de atmosfera explosiva por gases e vapores inflamáveis, de acordo as normas técnicas IEC (*International Electrical Commission*), traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR IEC 60079 – Equipamentos Elétricos para Atmosfera Explosiva –Parte 10-1: Atmosferas Explosivas por Gases, aplicadas em um estudo de caso de uma sala de carregamento de baterias, em uma área industrial.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

O trabalho visa obter o resultado quanto à classificação de uma sala de carregamento de baterias de uma indústria, em relação a formação de atmosfera explosiva, através da aplicação do procedimento da norma IEC 60079-10-1:2009 (atmosferas explosivas de gás).

### 1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Determinar as fontes e grau de risco na sala de carregamento de baterias;
- Definir o grau de ventilação da sala de bateria, por meio de cálculos;
- Definir a classificação da área e o zoneamento.

## 1.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para esta pesquisa foram utilizadas normas brasileiras, estrangeiras, trabalhos acadêmicos, bem como artigos referentes ao assunto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. NORMAS DE REFERÊNCIA PARA ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

Com base em Lopez, em 1980 a normalização para instalações elétricas em áreas classificadas estava baseada em normas americanas, *National Electrical Code* (NEC) e *American Institute* (API). Foi então, nesta década, que foi constituída a Comissão Técnica CT-31 do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBED) da ABNT, órgão responsável pela elaboração das novas normas brasileiras para instalações elétricas em áreas classificadas, onde ficou definido que as novas normas passariam a serem baseadas em normas IEC (*Internacional Electrotechnical Commission*) (ABPEX, 2010).

Lopez cita que, nas subcomissões criadas por este comitê, CT-31, ficou definida a responsabilidade da criação de diversas normas necessárias, como a de classificação de áreas e de instalação de equipamentos com proteção “Ex”. (ABPEX, 2010). E em 2000 o Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) publicou a Portaria Nº 176, a qual foi substituída, e que está em vigor atualmente a Nº 179 de maio de 2010, que torna “compulsória a certificação de equipamentos Ex”, passando a ser lei, de uso obrigatório, sujeitas às penalidades criminais (ABPEX, 2010).

Assim ficou definido que os equipamentos elétricos e de instrumentação para serem instalados em áreas classificadas necessitam possuir características especiais de proteção, montagem, inspeção, manutenção e reparos. Estas características de proteção são denominadas “Tipos de Proteção”, e são especificados em diversas partes da série de normas NBR IEC 60079 (BULGARELLI, 2014). E dentro desta série existe uma norma para cada tipo específico de proteção “Ex”.

A NBR IEC 60079-10-1 - Atmosferas explosivas - Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás, foi utilizado neste trabalho como base para realizar um estudo de classificação de uma área industrial, sala de baterias. A norma apresenta os principais critérios de avaliação de uma área quanto a formação de atmosfera explosiva para reduzir os riscos de explosão. Ela também ilustra exemplos de referências de classificação de áreas, de diferentes fontes de risco, que devem ser analisados para cada caso, como também apresenta o cálculo do volume hipotético e estimativa do tempo de persistência para avaliação da ventilação na área.

Importante citar que o risco de probabilidade de formação de atmosfera explosiva por nuvem ou camada de poeiras e fibras combustíveis tem uma norma específica, NBR IEC 60079-10-2, de 2013, mas não será abordada neste trabalho, pois o estudo de caso é com gás inflamável.

Com a revisão da Norma Regulamentadora NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, do Ministério do Trabalho, publicada em 2004, foi dado novo foco aos riscos de fontes de ignição de origem elétrica em áreas classificadas, obrigando assim o usuário a tratar dessas áreas. Sendo solicitado a identificação dos riscos “por meio de um trabalho de classificação de áreas”, e tratamento dos riscos com equipamentos “Ex” certificados e programas de capacitação e qualificação dos funcionários (BRASIL, 2004).

A norma regulamentadora NR 20 - Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis, do Ministério do Trabalho e Emprego, estabelece “requisitos de segurança para áreas de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis” (BRASIL, 2012). Desta forma esta norma traz em seu item 20.13 todas as recomendações para evitar fontes de ignição em áreas com atmosfera explosiva e vincula a conformidade junto a NR-10.

A norma europeia, EN 50272, de 2001, que estabelece requisitos de segurança para baterias secundárias e instalações de baterias – Parte 2: Baterias estacionárias, apresenta em seu capítulo 8 requisitos para prevenir riscos de explosão, especificando as condições de ventilação necessárias em sala de baterias.

## 2.2. OBJETIVOS DO ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

O estudo para classificação de áreas tem como objetivo avaliar a probabilidade de formação de atmosfera explosiva por gases, vapores, névoas inflamáveis ou poeiras e fibras combustíveis, e avaliar as condições locais em relação a redução ou aumento desta probabilidade de existência para então classificar a área em zonas (0, 1 e 2 ou 20, 21 e 22). O estudo dará subsídio para avaliar quais medidas serão necessárias para eliminar ou reduzir a formação, resultando em uma extensão menor das zonas, ou até desclassificar a área (ABNT, 2009).

Por fim, qual for o resultado da classificação, a NBR IEC 60079-10-1 cita que o estudo visa facilitar a seleção de equipamentos elétricos para instalação nessas áreas, baseada no grupo de gás e a respectiva classe de temperatura do produto inflamável, para evitar fontes de ignição elétrica nestas áreas, ou quando não for possível elimina-las. O nível de proteção do

equipamento elétrico vai estar atrelado a probabilidade de formação de atmosfera explosiva, sendo que se mais alta o equipamento deverá ter um grau de proteção maior, e vice versa (ABNT,2009).

A norma recomenda que todo o estudo de áreas classificadas deve ser documentado, com apresentação de todos os passos da classificação e que sejam referenciados, como plantas e layouts com os desenhos das extensões das zonas, cálculos de dispersão do gás ou vapor e estudos da ventilação (ABNT, 2009).

Segundo Lopez, é importante o envolvimento de uma equipe multidisciplinar para desenvolver o estudo de classificação de áreas. Sendo que através de conhecimentos e experiências em diversos ramos de atuação a classificação é mais consistente, reduzindo assim possíveis falhas humanas e consequentemente os riscos de explosão. Dentre os profissionais com conhecimentos para participar da elaboração do trabalho, estão: o engenheiro mecânico, de processos, de segurança no trabalho, eletricitista, químico, entre outros (LOPEZ, 2010).

Sabendo que a realização do estudo de áreas classificadas vai dar base para recomendações de caráter preventivo e ações de adequação, tanto para desclassificar a área, como por exemplo alterar o processo, instalar mais equipamentos de ventilação, alterar a estrutura para outro local na planta, como para reduzir fontes de ignição, como a compra de novos equipamentos elétricos, instalações de aterramento, novos procedimentos, entre tantos outros, fica claro o quanto o estudo deve ser bem elaborado, e embasado tecnicamente, para a tomada de decisão (BULGARELLI, 2010).

### 2.3. DEFINIÇÕES IMPORTANTES

Para contextualizar o procedimento de estudo de classificação de áreas é imprescindível o conhecimento de conceitos básicos de substância inflamável, parâmetros de processo e termos de classificação de áreas das normas técnicas IEC (*International Electrical Commission*), traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR IEC 60079 – Equipamentos Elétricos para Atmosfera Explosiva –Parte 10-1: Atmosferas Explosivas por Gases e Vapores Inflamáveis (ABNT, 2009).

#### 2.3.1. Características das substâncias inflamáveis

Segundo a norma, a sistemática de classificação de áreas potencialmente explosivas passa pelo conhecimento das características físico químicas dos líquidos e gases inflamáveis,

para conhecer as suas propriedades, com o objetivo de avaliar seus parâmetros para formação de uma atmosfera explosiva.

Abaixo seguem alguns conceitos para avaliar uma substância inflamável com base nas Normas Técnicas Brasileiras (NBR).

#### *2.3.1.1. Material Inflamável (substância inflamável)*

Segunda a norma substância inflamável é aquela que por si mesmo ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável (ABNT, 2009). A norma NBR IEC 60079-20-2 (2014) apresenta os métodos e ensaios para as características de substâncias para classificação de gases e vapores.

Segundo Jordão, somente quando a substância inflamável estiver no estado gasoso pode se formar uma mistura explosiva (JORDÃO, 2002).

#### *2.3.1.2. Evaporação*

Para que um líquido inflamável mude do estado líquido para o gasoso e forme uma atmosfera explosiva é preciso ocorrer a mudança de estado, a evaporação. Já o coeficiente de evaporação vai indicar o tempo necessário para que um líquido leve para evaporar completamente. Sendo que o coeficiente de evaporação é expresso em relação ao éter. (UTFPR, 2015).

#### *2.3.1.3. Pressão de Vapor*

É uma pressão exercida quando um líquido está em equilíbrio com seu próprio vapor. Segundo Jordão, a pressão e vapor é o esforço das moléculas de um líquido para ganhar o espaço acima da sua superfície, sendo aumentada pela temperatura e vaporizando o líquido quando atinge a pressão atmosférica (JORDÃO, 2002).

Segundo a IEC 60079-10-1, como cada substância inflamável possui uma pressão de vapor, que está ligada diretamente a temperatura, as condições do ambiente em que ela se encontra são agravantes para alterar suas características e aumentar o risco de explosão. Então a pressão e temperatura do processo em que o produto está armazenado devem garantir a segurança para não elevar a pressão de vapor da substância.



#### *2.3.1.4. Gás Inflamável*

Material inflamável que é armazenado ou manuseado como um líquido e que na temperatura ambiente e na pressão atmosférica é um gás inflamável (ABNT, 2009).

De acordo com a Norma Regulamentadora NR-20, Líquidos Combustíveis e Inflamáveis, definida na Portaria Nº308 de 2012, em harmonia com a NR-16, Atividades e Operações Perigosas, gás inflamável são gases que inflamam com o ar a 20°C e a uma pressão padrão de 101,3 KPa (BRASIL, 2012).

#### *2.3.1.5. Líquido Inflamável*

A NBR IEC 600079-10-1 traz o conceito de “líquido capaz de produzir vapor inflamável sob qualquer condição de operação previsível”.

As principais normativas, que caracterizam uma substância como líquido inflamável através do ponto de fulgor, é a NR-20 e pela Norma Brasileira ABNT NBR 17.505 – Armazenagem de Líquidos Inflamáveis e combustíveis.

No item 20.3.1 da NR-20 a definição de líquido inflamável é quando a substância possui ponto de fulgor menor ou igual a 60°C, porém na NBR 17.505 são líquidos inflamáveis as substâncias que possuem ponto de fulgor, em vaso fechado, abaixo que 37,8°C. Desta forma há um dilema, já que a NR-20 tem caráter de lei e NBR 17.505 é uma recomendação técnica.

Segundo Cícero, é importante entender todas as características físico – químicas das substâncias inflamáveis e suas influências na explosividade, parâmetros técnicos de segurança, para embasar o estudo de classificação de áreas, como seguem a seguir (CICERO, 2014).

#### *2.3.1.6. Ponto de Fulgor (Flash Point)*

Segundo a norma de classificação de áreas, NBR IEC 60079-10-1, é a menor temperatura na qual um líquido, sob determinadas condições padronizadas, libera vapor em quantidades suficientes para formar uma mistura inflamável de vapor e ar (ABNT, 2006). Ele é determinado através de ensaios em laboratório de acordo com as normas (NBR 7974 e 14598).

Isto significa que se a temperatura ambiente ou do processo atingir a temperatura do ponto de fulgor da substância há liberação de vapores inflamáveis, e havendo a presença de uma fonte de ignição no local haverá uma chama rápida, que se extingue uma vez que a

temperatura da superfície do líquido ainda não é elevada para produzir vapores inflamáveis em quantidade suficiente para manter a combustão (CICERO, 2014).

Ou seja, um produto com ponto de fulgor abaixo da temperatura ambiente já está em condições de liberar vapores inflamáveis, bastando uma fonte de ignição em contato com os vapores para haver um incêndio e até uma explosão (OTSUKA, 2011).

“Não existe uma atmosfera explosiva de gás se o ponto de fulgor for superior à temperatura aplicável do líquido inflamável” (ABNT, 2009).

Segundo Buffon (2011), um produto inflamável, se armazenado, processado, manipulado na pressão atmosférica a uma temperatura abaixo do seu ponto de fulgor, não liberará vapores para formar uma mistura explosiva, portanto, esta situação não classificará as áreas em volta. A NBR IEC 60079-10-1, em seu anexo D, também fala sobre a névoa inflamável, onde o ponto de fulgor é reduzido quando a substância é usada no processo na forma de gotículas ou pulverizada.

Com base na norma, no caso de misturas de vários produtos, os valores do ponto de fulgor de líquidos inflamáveis não são valores precisos, sendo necessário analisar outras características dos produtos na mistura (ABNT, 2009).

#### *2.3.1.7. Ponto e Velocidade de Combustão*

É a menor temperatura na qual a mistura de vapor com o ar é inflamada por uma fonte externa de ignição contínua a queimar constantemente acima da superfície do líquido. Os ensaios para determinação são realizados conforme referência (NBR 9619 e 7125).

Para a combustão ocorrer são três elementos, o chamado triângulo do fogo: combustível (substância inflamável em condições “ideais”), oxigênio acima de 16% e uma fonte de ignição. A figura 1 apresenta uma imagem do triângulo do fogo (CICERO, 2014).



**Figura 1 – Ilustração do Triângulo do Fogo**

**Fonte: CICERO (2014).**

A velocidade de combustão aumenta proporcionalmente na razão entre a quantidade de substância inflamável e a quantidade de oxigênio no instante da ignição (CICERO, 2014).

Dependendo da velocidade de combustão pode-se ter a Deflagração, Explosão e Detonação.

#### *2.3.1.8. Deflagração*

É o fenômeno de explosão que ocorre com velocidade de chama de 1 a 100 m/s e é o que acontece com maior frequência nas indústrias (CICERO, 2014).

#### *2.3.1.9. Detonação*

É o fenômeno de explosão em que a velocidade da chama é igual ou superior à velocidade do som, chegando aos 1000m/s. No caso das explosões em cadeia, a deflagração inicial evolui para detonação nas fases posteriores (CICERO, 2014).

#### *2.3.1.10. Limite de Explosividade ou inflamabilidade*

De acordo com a NBR 17.505-1, é a “faixa de concentração de um gás ou vapor, em que pode ocorrer combustão ou explosão na presença de uma fonte de ignição”. O valor de limite de explosividade é expresso como percentual de gás ou vapor no ar. Sendo que a faixa

de concentração encontra-se entre o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) e o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI).

Quando a concentração de uma substância inflamável estiver dispersa no ar, na forma de gás ou vapor, em quantidade suficiente entre o valor mínimo (LII) e o valor máximo (LSI), ou seja, uma mistura “ideal”, e houver uma fonte de ignição, ocorrerá a explosão. Estes limites alteram em condições de pressão e temperatura (CICERO, 2014).

A Figura 2 ilustra o limite de explosividade para o gás hidrogênio e os limites superior (75,6%) e inferior (4%).

- Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)

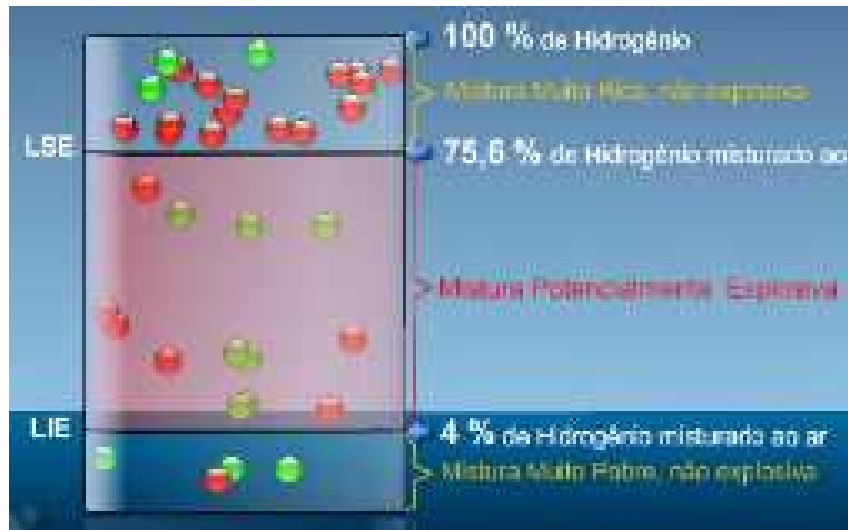
De acordo com NBR IEC 60079-10-1, é a “concentração de gás ou vapor inflamável no ar, abaixo da qual a atmosfera de gás não é explosiva”. Abaixo desse limite a mistura é considerada pobre, não permitindo a combustão ou explosão (ABNT, 2006).

“Para um dado volume liberado, quanto menor o LIE, maior é a extensão da zona” (ABNT, 2009).

Segundo a NBR 13231 em seu item 5.1.2.2.1, a concentração máxima permitida de hidrogênio no ambiente, gerada em decorrência do funcionamento das baterias, não deve ser maior que 1% do volume do ar ambiente, no caso quando a bateria fizer parte integrante de um sistema de alimentação de corrente (como por exemplo, em instalações com retificadores).

- Limite Superior de Inflamabilidade (LSI)

De acordo com NBR IEC 60079-10-1, é a “concentração de gás ou vapor inflamável no ar, acima da qual a atmosfera de gás não explosiva”. Acima deste limite a mistura é considerada muito rica, não permitindo a combustão ou explosão (ABNT, 2006).



**Figura 2 – Limite de Explosividade do gás Hidrogênio.**

**Fonte: CICERO (2015).**

#### *2.3.1.11. Temperatura de Auto Ignição*

É temperatura mínima a qual uma substância entra em combustão espontânea, sem o recurso de uma fonte de ignição externa, nas condições da faixa de inflamabilidade da substância. Assim a temperatura de auto ignição diminui quando aumenta a concentração de oxigênio no ar e pressão atmosférica.

A explosão só ocorre quando a mistura de gases ou vapores inflamáveis, em condições “ideais” (entre o LII e LSI), entra em contato com a superfície do equipamento com temperatura maior que a temperatura de auto ignição da substância inflamável (LOPEZ, 2010).

#### *2.3.1.12. Ponto de Ebulição e Densidade Relativa de um Gás ou Vapor*

De acordo com a norma NBR IEC 60079-10-1 (2009), ponto de ebulição é a “temperatura na qual um líquido entra em ebulição à pressão ambiente 101,3 kPa”, e densidade de um gás ou vapor em relação à densidade do ar na mesma pressão e na mesma temperatura (ar é igual a 1,0).

Ou seja, um gás ou vapor que é mais leve que o ar, tende a subir, ele possui uma densidade relativa abaixo de 0,8. Se o gás ou vapor for mais pesado que o ar, tende a descer, a densidade relativa está acima de 1,2 (ABNT, 2009).

#### 2.3.1.13. *Dispersão de gás ou vapor*

“A volatilidade está relacionada principalmente à pressão de vapor e à entalpia (“calor”) de vaporização. Se a pressão de vapor não for conhecida, pode ser utilizado como referência o ponto de ebulição e o ponto de fulgor” (ABNT, 2009).

#### 2.3.1.14. *Névoa Inflamável*

“Gotículas de líquido inflamável, dispersada no ar, de modo a formar uma atmosfera explosiva de gás (ABNT,2009).”

#### 2.3.1.15. *Viscosidade*

Segundo a NBR IEC 60079-10 (2009):

“A viscosidade pode reduzir significativamente a taxa de liberação se a área de passagem através da qual o material inflamável é liberado for extensa comparada com a largura da abertura.”

#### 2.3.1.16. *Grupo e Classe de Temperatura*

De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60079-0 (2013) as substâncias inflamáveis são divididas em grupos para definição da instalação de equipamentos elétricos, conforme segue abaixo:

- 1) Grupo I: minas subterrâneas, onde podem existir gases – assume-se, na prática, que o perigo é causado pelo gás metano (grisu);
- 2) Grupo II: utilização de equipamentos em locais com atmosfera explosiva de gás que não minas suscetíveis ao grisú e
- 3) Grupo III: utilização de equipamentos em locais com atmosfera explosiva de poeiras, que não minas suscetíveis ao grisú.

O Quadro 1 apresenta a subdivisão dos grupos de temperatura para gases e poeiras.

<b>Grupos</b>	<b>Descrição (Gases e vapores inflamáveis)</b>
Grupo I	São produtos pertencentes a família do Metano. Só inclui o produto conhecido como “grisu”, encontrado em minas de carvão.
Grupo II	São produtos encontrados em indústrias de superfície (químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc.) estando subdivididos em IIA, IIB e IIC.
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.
<b>Grupos</b>	<b>Descrição (Poeiras combustíveis)</b>
Grupo IIIA	Fibras combustíveis
Grupo IIIB	Poeiras não condutivas
Grupo IIIC	Poeiras condutivas

**Quadro 1 – Tabela de Grupo de Temperatura**

**Fonte: ABNT (2009).**

Com o valor da temperatura de autoignição de uma substância inflamável sabe-se que a temperatura do processo não poderá atingi-la, para evitar uma auto combustão do produto. Assim entende-se que o equipamento elétrico que for utilizado em uma área que esteja presente estas substâncias, e que estas possuam probabilidade de formação de uma atmosfera explosiva por gás, deve atingir uma temperatura máxima de superfície. Então cada substância possui uma “Classe de Temperatura”, que é a classificação da temperatura máxima de superfície que o equipamento elétrico pode operar e que está abaixo da temperatura de autoignição (ABNT, 2013).

O Quadro 2 apresenta as classes de temperatura e sua temperatura máxima de superfície em °C.

<b>Classe de Temperatura</b>	<b>Temperatura Máxima de Superfície (C°)</b>
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

**Quadro 2 - Classe de Temperatura**

**Fonte: ABNT (2009).**

O Quadro 3 apresenta um resumo das características físico-químicas de gases e vapores mais comuns na indústria.

Substância	Densidade de Vapor (AR=1)	Ponto de Fulgor °C	Limites de Inflamabilidade (%)		Temperatura de Auto Ignição °C	Classe de Temperatura	Grupo de Temperatura
			Inferior	Superior			
Hidrogênio	0,07	-	4,00	75,6	560	T1	IIC
Metanol	1,11	11	6,70	36,0	455	T1	IIA
Querosene	-	38	0,70	5,0	210	T3	IIA
Tolueno	3,18	6	1,20	7	535	T1	IIA
Xileno	3,65	30	1,0	6,70	464	T1	IIA

**Quadro 3 – Dados de Substâncias Inflamáveis**

**Fonte: Adaptado de Lopez (2010).**

### 2.3.2. Atmosfera explosiva

Segundo a ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009 atmosfera explosiva é “mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa ou poeira, após ignição, inicia-se uma combustão auto-sustentada através da mistura remanescente.”

#### 2.3.2.1. Atmosfera explosiva de gases ou vapores

É a mistura com o oxigênio do ar de substâncias inflamáveis na forma de gases ou vapores e, quando sob condições atmosféricas, na presença de uma fonte de ignição, a combustão auto-sustentada se propaga provocando a explosão (NBR IEC 60079-10-1, 2009).

#### 2.3.3. Informações de Processo

No procedimento de classificação de áreas é de extrema importância o conhecimento e análise do processo em que as substâncias inflamáveis estão envolvidas. Sabendo que processo é uma sequência integrada de operações (NBR 17505, 2006). Para que isso ocorra com maior critério é preciso entender alguns conceitos básicos dos parâmetros avaliados no processo, os quais são descritos abaixo.



### 2.3.3.1. Operação Normal e Anormal

“Situação em que o equipamento está operando, incluindo condições de partida e parada, dentro da conformidade com os parâmetros de projeto elétrico e mecânico e utilizado dentro dos limites especificados pelo fabricante (NBR IEC 60079-10:2006).”

Com base na norma, algumas situações de vazamento ou fontes fugitivas no processo podem fazer parte da operação normal do equipamento, como exemplo pequenos vazamentos de selos hidráulicos, devido ao intenso nível de fluido que estão bombeando.

Já no caso de uma falha no processo, que não ocorra de modo frequente, necessitando de um reparo urgente ou parada da operação, como exemplo vazamento oriundo de um acidente com a ruptura no selo de uma bomba, é considerado como operação anormal do equipamento (NBR, 2006).

### 2.3.3.2. Fonte de risco e grau de risco

São os pontos ou locais onde pode haver a liberação de gás e vapor combustíveis ou poeira e fibras combustíveis de modo a possibilitar a formação de atmosfera explosiva (NBR IEC 60079-10-1, 2009). Em geral, os gases, vapores ou poeiras estão contidos em equipamentos de processo que podem ou não estar hermeticamente fechados.

Segundo a norma, equipamentos que processam inflamáveis, mas que são totalmente herméticos e não possuam pontos onde possam mesmo que acidentalmente, liberar inflamáveis para o meio externo não são considerados como fontes de risco, como por exemplo, tubulações soldadas (NBR IEC 60079-10-1, 2009).

De acordo com a norma, cada item de um equipamento de processo (tanques, reatores, bombas, trocadores de calor, tubulações, etc.) que contenham inflamáveis, considera-se como uma potencial fonte de liberação de materiais inflamáveis. Se um equipamento não armazenar ou processar material inflamável, não poderá gerar áreas de risco de explosão em sua volta.

A NBR IEC 60079-10-1 (2009), define três graus para fonte de risco, de acordo com a frequência de liberação de vapor ou gás inflamável para atmosfera:

- Fonte de risco de grau contínuo:

Liberação que é contínua ou que se espera que ocorra frequentemente ou por longos períodos. Exemplos de fontes de risco de grau contínuo:

- A superfície de um líquido inflamável em um tanque de teto fixo, com respiro permanente para a atmosfera;
- A superfície de um líquido inflamável que esteja aberto para a atmosfera, continuamente ou por longos períodos (por exemplo, um separador de óleo/água).

- Fonte de risco de grau primário:

Liberação que se espera que ocorra periodicamente ou ocasionalmente durante operação normal. Exemplos de fontes de risco de grau primário:

- Tomada de amostras, válvulas de alívio, respiros, selos de bombas, compressores ou válvulas, drenos e outras aberturas em que são previstas de haver liberação de material inflamável para a atmosfera durante a operação normal;

- Fonte de risco de grau secundário:

Liberação que não se espera que ocorra em operação normal e, se ocorrer, é pouco frequente e por curtos períodos, estando ligado ao funcionamento anormal do equipamento na maioria das situações, ou seja, não estão previstas de ocorrer em condições normais de operação. Também pode ser considerada somente em uma situação acidental. Exemplos de fontes de risco de grau secundário:

- Selos de bombas, compressores, válvulas, flanges, conexões e acessórios de tubulação, pontos de coleta de amostras, válvulas de alívio, respiros e outras.

A norma (NBR IEC 60079-10-1: 2009) classifica em quatro tipos de aberturas de fonte de risco, A, B, C e D, onde:

- Tipo A: aberturas em desacordo com os tipos B, C e D

- Tipo B: Aberturas totalmente fechadas (fechamento automático) e raramente abertas e que possuem dispositivos de fechamento

- Tipo C: Aberturas normalmente fechadas e raramente abertas, conforme o tipo B, que são também equipadas com dispositivos de selagem (por exemplo, uma gaxeta) ao longo de todo o perímetro; ou duas aberturas tipo B em série, tendo dispositivos de fechamento automáticos independentes.

- Tipo D – Aberturas que estão normalmente fechadas, conforme o tipo C, que podem somente ser abertas por meios especiais ou em uma emergência. Como exemplo: dutos ou tubulações.

#### 2.3.3.3. Taxa de liberação

A quantidade emitida de gás ou vapor da fonte de risco por unidade de tempo representa a taxa de liberação (NBR IEC 60079-10-1, 2009).

A taxa de liberação de um material inflamável está relacionada com a extensão da área classificada, quando maior a taxa maior será a extensão. (NBR IEC 60079-10-1, 2009). Sendo que esta taxa depende de alguns parâmetros:

- Geometria da fonte de risco (quadro 5);
- Velocidade de Liberação;
- Concentração do gás ou vapor na mistura liberada;
- Volatilidade de um líquido inflamável;
- Temperatura do líquido.

#### 2.3.3.4. Condições atmosféricas

Condições que incluem variações de pressão e temperatura acima e abaixo dos níveis de referência de 101,3kPa (1,013 mbar) e 20°C (293 K), assegurando que tais variações têm efeito desprezível nas propriedades explosivas da poeira combustível (NBR IEC 60079-10-0, 2007). Segundo a norma são consideradas condições normais de pressão total de 0,8 a 0,11 bar e temperatura de -20°C a +60°C.

#### 2.3.3.5. Temperatura de Ignição de uma atmosfera explosiva de gás

A mais baixa temperatura de uma superfície quente na qual, sob condições específicas, irá ocorrer a ignição de uma substância inflamável na forma de mistura de gás ou vapor com o ar (NBR IEC 60079-10, 2006).

#### 2.3.3.6. Temperatura Máxima de Superfície ( $T_{m\acute{a}x.}$ , em °C):

Temperatura mais elevada que é atingida em serviço sob as condições mais adversas (porém dentro das tolerâncias especificadas pela norma do seu tipo de proteção) por qualquer parte ou superfície de um equipamento em contato com uma atmosfera explosiva capaz de causar sua ignição (NBR IEC 60079-0, 2007).

### 2.3.2.7. Equipamento para atmosfera explosiva

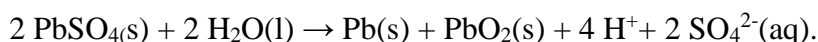
Termo genérico que inclui equipamentos, acessórios, dispositivos, componentes e aqueles utilizados como parte de, ou em conexão com, uma instalação elétrica em uma atmosfera explosiva (ABNT, 2009).

### 2.3.3.8. Baterias

Segundo Pontes (2009), a composição básica da bateria é essencialmente, chumbo, ácido sulfúrico e materiais plásticos. O chumbo está presente na forma de chumbo metálico, ligas de chumbo, bióxido de chumbo e sulfato de chumbo. O ácido sulfúrico se encontra na forma de solução aquosa com Concentrações variando de 27% a 37% em volume.

Existem várias baterias no mercado com a mesma voltagem e amperagem, basicamente se refere ao tipo de funcionamento. Tem a selada que não requer manutenção, segundo o fabricante a água da bateria dura por toda a vida útil sem a necessidade de recarga, chegando a 4 anos se bem cuidada, mas não existe uma forma de recarregar ou verificar o nível da água. Já no modelo da não selada, requer manutenção, o nível da água deve ser verificado pelo menos uma vez por ano, se o nível da água estiver sempre completo a bateria pode durar tanto quanto uma bateria selada bem cuidada (PONTES, 2009).

Segundo o autor, nestas baterias o processo químico para produzir eletricidade consome água e por este motivo deve ser verificado e completado. Uma vez descarregada, total ou parcialmente, uma fonte externa de energia elétrica, reverte as reações, regenerando o chumbo e o óxido de chumbo dos eletrodos e o ácido sulfúrico do eletrólito. A reação global (para a recarga) é:



O processo de recarga tem seu lado problemático, uma vez que pode haver a reação comum de decomposição da água:



Ou seja, pode ocorrer a formação de uma mistura gasosa potencialmente explosiva e, para reduzir o risco, a carga deve ser controlada. A evaporação da água faz necessária a complementação periódica com água pura (PONTES, 2009).

A geração do gás hidrogênio, segundo a BS-EN 50272-2 (1997), é emitida durante a recarga, a partir de todas as células e baterias secundárias excluindo células (secundários) selada. Este é um resultado da eletrólise da água pela corrente de sobrecarga, onde são

produzidos hidrogênio e oxigênio. Quando emitido para a atmosfera uma mistura explosiva pode ser criada se a concentração de hidrogênio exceder 4% no ar.

Segundo a Lei de Faraday. Em condições normais de temperatura e pressão:

- 1 Ampére hora (Ah) decompõe  $H_2O$  em:  $0,42 \text{ l } H_2 + 0,2 \text{ l } O_2$
- Decomposição de  $1 \text{ cm}^3$  (1g)  $H_2O$  requer: 3 Ah
- 26,8 Ah decompõe em  $H_2O$ :  $1 \text{ g } H_2 + 8 \text{ g } O_2$

#### 2.3.3.9. Recarga de Bateria

“Uma operação durante a qual uma bateria fornece corrente a um circuito externo através da conversão de energia química em energia elétrica. (EN 50272-2).”

#### 2.3.3.10. Abertura do acumulador ou bateria

“Acumulador secundário ou bateria que tem na tampa uma abertura na qual os produtos gasosos podem escapar (ABNT, 2013).”

#### 2.3.3.11. Ventilação

Movimento do ar e de renovação com o ar fresco devido aos efeitos de vento, gradiente de temperatura ou meios artificiais, como exemplos ventiladores ou exaustores (ABNT, 2009).

### 2.3.4. Áreas classificadas

É a área em que está presente, ou sujeita a probabilidade, uma atmosfera explosiva de gás, vapor, poeiras ou fibras na forma de nuvem, ou ainda, espera-se estar presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos (ABNT, 2009).

#### 2.3.4.1. Área não classificada

Área na qual não é esperado ocorrer à presença de uma atmosfera explosiva, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de

equipamentos (ABNT, 2009). Ou seja, não possui probabilidade de se formar uma atmosfera explosiva.

#### 2.3.4.2. Zonas

Áreas classificadas são divididas em zonas, que são baseadas na probabilidade, frequência da ocorrência e duração de presença de uma atmosfera explosiva por gases inflamáveis. Dessa forma as áreas classificadas dependem do grau da fonte de risco e da ventilação, que influencia na persistência da atmosfera explosiva no ar (ABNT, 2009). O Quadro 4 apresenta a divisão das zonas para gases e vapores inflamáveis e para poeiras combustíveis.

<b>Zonas</b>	<b>Descrição</b>
<b>Gases e vapores inflamáveis</b>	
Zona 0	É a área em que a mistura explosiva de gás ou vapor está continuamente presente durante longos períodos.
Zona 1	É a área em que a mistura explosiva de gás ou vapor pode estar presente durante a operação normal.
Zona 2	É a área em que a mistura explosiva de gás ou vapor pode não ocorrer durante a operação normal e se ocorrer será durante curtos períodos de tempo.
<b>Zonas</b>	<b>Descrição</b>
<b>Poeiras e Fibras combustíveis</b>	
Zona 20	É a área em que a poeira combustível, na forma de nuvem misturada com o ar, está continuamente presente durante longos períodos.
Zona 21	É a área em que a poeira combustível, na forma de nuvem misturada com o ar, pode estar presente durante a operação normal.
Zona 22	É a área em que a poeira combustível na forma de nuvem, pode não ocorrer durante a operação a operação normal e, se ocorrer, será durante curtos períodos de tempo.

**Quadro 4 – Zoneamento de Áreas Classificadas**

**FONTE: ABNT (2009).**

#### 2.3.4.3. Extensão da Zona

Conforme NBR 60079-10-1 (2009), é a distância em qualquer direção, a partir da fonte de liberação até o ponto onde o risco associado com a liberação é considerado extinto. No caso dos gases onde a mistura de gás/ar tenha sido diluída pelo ar para um valor abaixo do limite de inflamabilidade (ABNT, 2009).

## 2.4. VENTILAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Segundo a NBR IEC 60079 (2009), 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 (LIE). Desta forma a ventilação leva a uma renovação da atmosfera em um volume ao redor da fonte de liberação por ar, conseguindo promover uma dispersão da concentração.

A ventilação também pode evitar a persistência de uma atmosfera explosiva de gás e, desta forma, influenciar o tipo de zona (ABNT, 2009). Segundo a norma, quanto maior for a ventilação, menor será a extensão da zona, sendo que obstáculos podem impedir a ventilação e aumentar a extensão da zona, ou por outro lado (como diques, paredes, tetos) limitar a extensão da zona e confinar em uma área.

Dessa forma, a ventilação se torna um dos fatores fundamentais na avaliação de classificação de áreas, pois ela que vai definir se há formação de atmosfera explosiva, quanto a concentração da substância reduz no ambiente, e em quanto tempo persiste sem formação, e se é eliminada. Fazendo-se necessária a avaliação das condições locais de instalação e da quantidade de gás ou vapor inflamável que pode ser liberado (JORDAO, 2002).

### 2.4.1. Tipos de ventilação

Segundo a NBR IEC 60079-10-1 (2009), a ventilação é definida em dois tipos: a natural, obtida pelo movimento de ar devido ao vento e/ou pelos gradientes de temperatura; e a artificial, gerada por meios mecânicos.

Para ambientes abertos, a avaliação da ventilação natural deve normalmente ser baseada na velocidade mínima assumida do vento de 0,5 m/s, o qual estará presente praticamente de modo contínuo e na maioria das vezes, é suficiente para assegurar a dispersão de uma eventual atmosfera explosiva de gás que possa surgir na área. A ventilação natural também pode ser efetiva em alguns casos de ambientes internos (por exemplo, no caso em que o prédio tenha aberturas em suas paredes e/ou no teto).

A taxa de dispersão de gás ou vapor na atmosfera aumenta com a velocidade do vento, mas existe uma velocidade mínima de 2 m/s a 3 m/s requerida para iniciar uma difusão turbulenta; abaixo disto ocorre a acumulação do gás ou vapor e a distância para uma dispersão segura é aumentada consideravelmente (ABNT, 2009).

A ventilação artificial é realizada através de ventiladores, exaustores e insufladores. O objetivo de sua instalação é diminuir a extensão da zona e o tempo de persistência, e prevenir a formação de atmosfera explosiva. Tem do tipo geral, por exemplo instalada na edificação ou ambiente aberto, para ventilação geral da área, ou do tipo localizada, como uma exaustão forçada ou acima de um equipamento. Embora a ventilação artificial seja principalmente aplicável a ambientes internos, esta pode ser também aplicada para ambientes externos, de modo a compensar a ventilação natural restrita ou impedida, provocada pela presença de obstáculos.

#### 2.4.2. Grau de ventilação

De acordo com a norma NBR IEC 60079-10-1 (2009), este é o fator mais importante de avaliação para o procedimento de áreas classificadas, pois está diretamente relacionado com os tipos de fonte de liberação e suas correspondentes taxas de liberação. O grau de ventilação não está ligado ao tipo mas sim as condições ótimas de ventilação em áreas classificadas que podem ser alcançadas e, quanto maior a quantidade de ventilação em relação às possíveis taxas de liberação, menor é a extensão das zonas (áreas classificadas), em alguns casos, reduzindo as a um valor desprezível (áreas não classificadas).

A norma trás as definições qualitativas para o grau de ventilação, descritas a seguir, e a relação com o volume hipotético  $V_z$  da área, apresentado no próximo capítulo.

- *Alto*: Pode reduzir a concentração na fonte de risco instantaneamente, resultando em uma concentração abaixo do limite inferior de inflamabilidade. Resulta em uma zona de extensão desprezível. Contudo, onde a disponibilidade de ventilação não é boa, outro tipo de zona pode ocorrer.
- *Médio*: Pode controlar a concentração, resultando em uma situação estável além do contorno da zona, enquanto está ocorrendo a liberação e a atmosfera explosiva de gás não persiste após ter cessado o vazamento. A extensão e o tipo da zona são limitados aos parâmetros de projeto.
- *Baixa*: Pode não controlar a concentração enquanto ocorre o vazamento e/ou pode não evitar a permanência indevida de uma atmosfera explosiva de gás, após ter cessado o vazamento.



### 2.4.3. Avaliação da Ventilação

Segundo a NBR IEC 60079-10-1 (2009) para determinar o grau de ventilação de uma área é recomendado calcular volume hipotético  $V_z$ , volume no qual a concentração média do gás ou vapor inflamável é tipicamente 25% ou 50% o limite inferior de explosividade (LIE). Segundo a norma o volume  $V_z$  pode determinar o grau de ventilação como alto, médio ou baixo para cada grau de liberação da fonte de risco.

O volume hipotético  $V_z$  fornece uma orientação para a extensão do volume de gás inflamável a partir de uma fonte de risco, não diretamente a extensão das zonas, como também não irá equacionar as dimensões da área classificada. Pois as dimensões das áreas classificadas, a partir de uma fonte de risco, são geralmente maiores, não em todos os casos, maiores que do que o volume hipotético  $V_z$  (ABNT, 2009). Ele tem influência pela direção do vento, devendo ser considerada a possibilidade de variação das direções da ventilação e a flutuabilidade (ou densidade relativa) do gás ou vapor.

Para determinar o volume hipotético  $V_z$  é realizada a equação da taxa de vazão mínima da ventilação teórica de ar ( $dV/dt$ ) necessária para diluir uma determinada quantidade de material inflamável e uma concentração requerida abaixo do LIE, ou seja, calcular o volume que o gás ocupa uma área a uma concentração de 0,25 do LIE (para fontes contínuas e primárias) ou de 0,50 do LIE (para fontes secundárias), por unidade de tempo (OTSUKA, 2011). O cálculo do  $dV/dt$  é apresentado na Equação 1 abaixo, que é a relação da vazão mássica ( $dG/dt$ ) pela concentração mássica (LIE), com uma margem de segurança ( $k$ ), na proporção da temperatura ambiente já que o gás varia com a temperatura.

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = \frac{\left(\frac{dG}{dt}\right)_{max}}{k \times LIE_m} \times \frac{T}{293} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

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

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

$LIE_m$  = o limite inferior de explosividade (massa por volume, kg/m<sup>3</sup>);

$k$  = o fator de segurança aplicado ao  $LIE$  m; tipicamente:

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

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

$T$  = a temperatura ambiente (em Kelvin, K).

A conversão de  $LIE_v$ , em concentração volumétrica (%), para  $LIE_m$  em  $Kg/m^3$ , é realizada a seguinte equação para condições atmosféricas normais:

$$LIE_m = 0,416 \times 10^{-3} \times M \times LIE_v \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$M$  = a massa molecular do material inflamável, em kg/mol.

Com a relação do valor da taxa de vazão mínima de ventilação teórica de ar  $(dV/dt)_{min}$  e o volume real de ventilação existente nas proximidades da fonte de risco, ou seja o volume total no interior da planta definida ( $V_0$ ) é expressa com um volume ( $V_k$ ), de acordo com as equações a seguir:

- Para uma mistura homogênea e instantânea no local da fonte de risco e em condições ideais de vazão de ar:

$$V_k = \frac{(dV/dt)_{min}}{C} \quad (\text{Equação 3})$$

- Para uma mistura não homogênea e instantânea no local da fonte de risco (maioria dos casos), deve-se introduzir um fator de correção (qualidade) adicional  $f$  na equação  $V_z$ :

$$V_z = f \times V_k = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$f$  = 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).

$C$  = número de renovações de ar por unidade de tempo ( $S^{-1}$ ) e é proveniente de

$$C = \frac{(dV_0/dt)}{V_0} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$dV_0/dt$  = a taxa total de vazão de ar através do volume sob consideração;

$V_0$  = o volume total do ambiente servido pela ventilação nas redondezas da liberação que estiver sendo considerada. Em situações de ambientes internos, é geralmente o volume da sala ou da edificação que está sendo considerada, a menos que exista ventilação específica e localizada para a fonte de risco que estiver sendo considerada.

A norma salienta que, onde existem múltiplas fontes de risco dentro do volume da área em que é servido a ventilação ( $V_0$ ) é necessário determinar o valor de  $dV/dt$  para cada fonte de risco, bem como para o grau de ventilação, de acordo com o Quadro 5.

<b>Grau de liberação da fonte de risco</b>	<b>Ação a ser tomada com (dV/dt) min</b>
Contínuo	Somar todos os valores para (dV/dt) min e aplicar o resultado total nas equações 3 a 5
Primário	De acordo com Quadro 5, somar o número de requisitos (dV/dt) min de maior valor e do (dV/dt) min para as fontes de risco com grau contínuo da linha acima, e aplicar o resultado total nas equações 3 a 5
Secundário	Utilizar somente o único e maior valor de (dV/dt) min e (dV/dt) min para fontes de risco com grau contínuo e primário das linhas acima, e aplicar este valor nas equações 3 a 5

**Quadro 5 — Procedimento de soma de múltiplas fontes de liberação dentro do volume  $V_0$**

Fonte: ABNT (2009).

O Quadro 6 apresenta o número de fontes primárias a serem utilizadas no Quadro 4.

<b>Número de fontes de riscos primárias</b>	<b>Número de fontes de riscos primárias para serem utilizadas de acordo com a Quadro 4</b>
1	1
2	2
3 a 5	3
6 a 9	4
10 a 13	5
14 a 18	6
19 a 23	7
24 a 27	8
28 a 33	9
34 a 39	10
40 a 45	11
46 a 51	12

**Quadro 6 — Procedimento de soma de múltiplas fontes de risco de grau primário**

Fonte: ABNT (2009).

Para ambientes abertos, em uma aproximação conservativa, a norma sugere considerar  $C = 0,03$  m/s, sabendo que para este caso a estimativa de  $V_z$  necessita preferencialmente ser realizada baseada nos resultados da utilização de uma ferramenta de modelamento apropriada. Quando não for possível o volume hipotético  $V_z$  de atmosfera explosiva de gás pode ser obtido pela utilização da equação:

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{0,03} \quad (\text{Equação 6})$$

O tempo de persistência ( $t$ ) requerido para uma concentração média cair de um valor inicial  $X_0$  (considerando a concentração inicial seja de 100% em volume) até o valor do limite inferior de explosividade da substância (LIE), depois que a liberação tenha cessado, pode ser estimado através de:

$$t = \frac{-f}{c} \ln \frac{LIE \times k}{X_0} \quad (\text{Equação 7})$$

Através do cálculo do volume hipotético ( $V_z$ ) tem-se:

- **Ventilação Alta (VA)**

Quando  $V_z < 0,1$  m<sup>3</sup> ou  $V_z < 1$  % de  $V_0$ .

Nesta situação, o volume da área classificada pode ser considerado como sendo igual a  $V_z$ .

- **Ventilação Baixa (VB)**

Quando  $V_z > V_0$ .

Nesta situação, o volume da área classificada pode ser considerado como sendo igual a  $V_z$ .

- **Ventilação Média (VM)**

Quando  $V_z \leq V_0$ .

Geralmente quando a ventilação não for alta (VA) e nem baixa (VB).

#### 2.4.4. Disponibilidade de Ventilação

Após obter o grau de ventilação é necessário avaliar por quanto tempo este grau está disponível, ou seja, por quanto tempo ele vai estar presente em operação normal. Segundo a NBR IEC 60079 (2009) a disponibilidade da ventilação tem relação na presença ou na formação de uma atmosfera explosiva de gás e no tipo de zona, pois a disponibilidade está ligada com a confiabilidade da ventilação. Se não há garantia de que o grau está presente de modo contínuo, ou seja, podem haver falhas na operação da ventilação, não há como assegurar que não haja formação de atmosfera explosiva, o que faz aumentar o tipo de zona.

A norma apresenta três tipos de disponibilidade:

- *Boa*: ventilação está presente praticamente de modo contínuo;
- *Satisfatória*: ventilação é esperada estar presente sob condições normais de operação. Descontinuidades são admitidas, mas elas ocorrem esporadicamente e por curtos períodos;
- *Pobre*: ventilação que não atende ao padrão de satisfatória ou boa, mas não são esperadas descontinuidades que ocorram por longos períodos.

A norma ainda recomenda que, na avaliação da disponibilidade da ventilação artificial, deve-se considerar se os equipamentos podem ficar em “*stand-by*”. Uma disponibilidade boa irá solicitar normalmente, sob falha, partida automática dos equipamentos reservas. Contudo, se medidas forem tomadas para prevenir a liberação de material inflamável quando a ventilação falhar (por exemplo, através da parada automática do processo), a classificação especificada com a ventilação operando não necessita ser modificada, isto é, a disponibilidade pode ser assumida como boa (ABNT, 2009).

Com base no grau e disponibilidade de ventilação da área a NBR IEC 60079-10-1 (2009) apresenta a classificação das áreas, como pode ser visualizado o Quadro 7.

Grau da Fonte de Risco	GRAU						
	ALTO			MÉDIO			BAIXO
	Disponibilidade						
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, Satisfatória ou Pobre
Contínuo	Não Classificada (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primário	Não Classificada (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 ou Zona 0
Secundário	Não Classificada (Zona 2 NE)	Não Classificada (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e até Zona 0

LEGENDA: (+): envolvida por; (Zona 0 NE, 1 NE ou 2 NE): indica uma zona teórica que seria de extensão desprezível sob condições normais.

**Quadro 7 – Classificação da Área com base na ventilação**

**Fonte: ABNT (2009).**

#### 2.4.5. Ventilação Exigida em Sala de Baterias

A Norma API RP 500, 1997 considera que caso seja realizada a medição do número de trocas de ar ( $C$ ) do ambiente e o valor esteja maior ou igual seis (6) trocas por hora considera-se que o ambiente está adequadamente ventilado. Se o valor de trocas for obtido através de um método matemático ( $C$ ), recomenda a aplicação de um fator de segurança ( $f = 2$ ) elevando o número mínimo de trocas para doze (12) trocas por hora.

O número de trocas de ar por hora ( $N$ ) de uma sala de bateria é obtido pela equação:

$$N = \frac{Q_{efetivo}}{V} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$N$  = número de trocas de ar por hora

$Q_{efetivo}$  = vazão real do ar mecânica ou natural efetiva em  $m^3/h$

$V$  = volume do ambiente em  $m^3$

Para definir a área de ventilação natural para uma sala a norma BS-EN 50272-2 (2001) apresenta a equação a seguir:

$$A = Q_{efetivo} \cdot 28 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

$A$  = área livre em  $\text{cm}^2$  ;

A norma europeia BS-EN 50272-2 (2001) recomenda que a ventilação em uma sala de baterias deve manter a concentração de hidrogênio abaixo do limite inferior de explosividade (LIE), de 4% do volume. Salas de baterias são consideradas sem risco de explosão, quando a concentração de hidrogênio é mantida abaixo do limite de segurança através de ventilação natural ou mecânica (BS, 2001).

A norma apresenta cálculos específicos para ventilação em salas de baterias. Segundo a norma EN 50272-2 (2001), o cálculo da taxa mínima de fluxo de ar (volume de ar/ vazão) para ventilar uma área com baterias, ou seja, diluir a concentração de Hidrogênio a 25% do LIE em regime de flutuação e carga profunda das baterias, ou definido como cálculo da concentração de hidrogênio na sala de baterias, deve ser calculada pela equação:

$$Q = v \cdot q \cdot s \cdot n \cdot I_{gás} \cdot C_N \cdot 10^{-3} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$Q$  = volume de ar (vazão) em  $\text{m}^3/\text{h}$

$v$  = fator de diluição do hidrogênio:  $(100\% - 4\%)/4\% = 24$ ;

$q = 0,42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Ah}$  de hidrogênio liberado;

$s = 5$ , fator de segurança;

$n$  = número de baterias;

$C_N$  = Capacidade total das baterias em Ah em  $20^\circ\text{C}$

$I_{gás}$  = Corrente de carga, em mA/Ah da capacidade nominal, durante gaseificação, que gera o desenvolvimento do gás, pode ser a corrente de flutuação  $I_{flut}$  ou corrente de carga  $I_{carga}$ ;

$$I_{gás} = I_{flut/carga} \cdot f_g \cdot f_s \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo que

$I_{flut}$  = corrente de flutuação profunda

$I_{carga}$  = corrente de carga rápida

$f_g$  = Fator de emissão de gases, na carga completa de hidrogênio estado produtor

$f_s$  =fator de segurança para emissão de gases, inclui células defeituosas

Sabendo que:  $v \cdot q \cdot s = 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$

Então a equação fica:

$$Q_{\min H_2 \text{flut}} = 0,05 \cdot n \cdot I_{\text{gás}} \cdot C_N \cdot 10^{-3} \quad (\text{Equação 12})$$

	Baterias de chumbo células fechadas Sb <3% <sup>1</sup>	Baterias de chumbo células lacradas	Baterias de NiCd células fechadas <sup>2</sup>
$f_g$	1	0,2	1
$f_s$	5	5	5
Tensão de flutuação ( $U_{\text{flut}}^3$ ) em V/ bateria	2,23	2,27	1,40
$I_{\text{flut}}$ em mA/ Ah	1	1	1
$I_{\text{gás}}$ Corrente (carga de flutuação) em mA/ Ah	5	1	5
Tensão de Carga Rápida ( $U_{\text{carga}}^3$ ) em V/bateria	2,40	2,40	1,55
$I_{\text{carga}}$ em mA/ Ah	4	8	10
$I_{\text{gás}}$ Corrente (carga rápida) em mA/ Ah	20	8	50

1) Quando o teor de antimônio é maior, os dados adequados devem ser verificados junto ao fabricante.  
 2) Em baterias de NiCd com recombinação interna, devem ser observadas as instruções do fabricante.  
 3) A tensão de retenção e de carga pode variar, conforme o peso específico do eletrólito da bateria de chumbo

#### Quadro 8 – Valores de $I_{\text{gás}}$ nas baterias em carga e flutuação

Fonte: BS EN 50572-2, 2001.

De acordo com norma americana (API 505, 1997), áreas internas podem ser consideradas adequadamente ventiladas se a vazão de ar for no mínimo quatro (4) vezes o valor da vazão de ar necessária para diluir uma determinada liberação de material inflamável abaixo de 25% do Limite Inferior de Explosividade (LIE). Desta forma o cálculo da vazão de ar mínima para diluir a concentração de Hidrogênio a 25% do LIE, em área interna adequadamente ventilada

$$Q_{25\% \text{LIE}} = 4 \cdot Q_{\min H_2} \quad (\text{Equação 13})$$



## 2.5. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE LIBERAÇÃO DE GASES

A norma apresenta alguns exemplos de cálculos para taxas de liberação aproximadas para líquidos e gases inflamáveis. Mas esclarece que refinamentos adicionais na estimativa de taxas de liberação necessitam ser efetuadas com relação às propriedades das aberturas, isto é, considerando o coeficiente de descarga ( $C_d < 1$ ) e a geometria da liberação.

Segundo BULGARELLI (2014), levanta-se a taxa e volume de liberação em cada fonte de risco. Se a taxa de liberação ou o volume é baixo e há uma chance boa de dispersão no ar, então é provável que haverá a diluição suficiente e a mistura inflamável estará abaixo do LIE (Limite Inferior de Explosividade). No entanto, se há volumes grandes de produto inflamável ou se a taxa de liberação do produto para meio externo for significativa, então existe um risco considerável que a dispersão no ar não resulte em uma diluição suficiente e o material estará acima do LIE (mas abaixo do LSE). Tendo como consequência a formação de uma atmosfera explosiva no local.

No caso do hidrogênio, caso específico de sala de baterias, a normativa europeia, EN 50272-2, apresenta o volume de hidrogênio desprendido durante a operação de baterias, sendo de 0,453 L/h a quantidade de hidrogênio produzido por um elemento de chumbo ácido novo e plenamente carregado, e tensão de flutuação de 2,2V, ao nível do mar (760 mmHg) a 25°C recebendo uma corrente de 1 Ampère.

Para converter 0,453 l/h para m<sup>3</sup>/h basta dividir por 1.000. Então juntando as informações de dispersão de Hidrogênio em sala de baterias, disponibilizadas na Equação 10, é possível calcular a taxa de liberação de hidrogênio de todas as baterias para o ambiente, em m<sup>3</sup>/h, foi utilizada a seguinte Equação 14:

$$\frac{dG}{dt} = n \cdot NC \cdot I_{gás} \cdot C_N \cdot 0,453 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

$dG/dt$  = Taxa de liberação (m<sup>3</sup>/h);

$n$  = número de baterias;

$NC$  = número de células (V/ célula);

$C_N$  = Capacidade total das baterias em Ah em 20°C

$I_{gás}$  = Corrente de carga, em mA/Ah;

Sabendo que o  $I_{gás}$  é dado pela Equação 11, devendo converter para unidade de cálculo, multiplicando o valor por 10<sup>-3</sup>.

Para obter o valor da taxa de liberação em Kg/h, para o cálculo do volume hipotético utilizado para ventilação ( $dV/dt$ ), basta multiplicar pela massa específica do hidrogênio  $0,08235 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.6. EXTENSÃO DAS ZONAS DE RISCO

Segundo a norma NBR IEC 60079-10-1 (2009), após determinar as zonas 0, 1 e 2, em função da probabilidade de liberação da fonte de risco e influência do grau e disponibilidade de ventilação na área, deve-se avaliar a extensão do zoneamento.

Esta distância pode ser estimada ou calculada e deve ser realizada sobre a extensão máxima de formação dessa atmosfera explosiva, antes que esta possa ser dispersa no ar e sua concentração fique abaixo do seu limite inferior de explosividade (ABNT, 2009).

A ABNT, pede a consideração que gases mais pesado que o ar podem fluir para o interior de uma área, que esteja abaixo do nível do solo, como depressões, canaletas, e que gases mais leves podem se acumular na parte superior. E que para se evitar esta migração da dispersão dos gases para áreas adjacentes é possível tomar algumas medidas:

- Barreiras físicas;
- Manutenção de uma sobressão de uma área em relação à área classificada;
- Purgando a área com suficiente vazão de ar, assegurando desta forma que o ar possa circular por todas as aberturas por onde o gás ou vapor inflamável possa penetrar.

A extensão das zonas é afetada por parâmetros físico-químicos da substância e processo, como segue a seguir:

- Geometria da fonte de risco
- Velocidade de liberação
- concentração
- Volatilidade de um produto
- temperatura do líquido
- Limite inferior de explosividade (LIE)
- Ventilação
- Densidade relativa do gás ou vapor
- Condições climáticas; e
- Topografia

A extensão horizontal da zona no nível do solo aumentará com o aumento da densidade relativa e a extensão vertical na área acima da fonte de risco aumentará com a redução da densidade relativa.

“Quanto mais baixo for o ponto de fulgor, maior pode ser a extensão da zona” (ABNT, 2009).

Cabe ressaltar que a avaliação da extensão das zonas não é o foco deste trabalho, mas sim a definição da zona de risco da área avaliada.

## 2.7. FONTES DE IGNIÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Segundo o Manual de Bolso da ABPEX, nas áreas classificadas é possível encontrar diferentes fontes de ignição capazes de iniciar uma deflagração, sendo as mais conhecidas as seguintes (LOPEZ, 2010):

- Origem elétrica: fiações abertas em painéis (contatores, fusíveis), tomadas, botoeiras, motores, luminárias, etc.;
- Origem eletrônica: sensores, transmissores;
- Origem mecânica: esteiras, elevadores de canecas, moinhos, separadores;
- Origem eletrostática: por fricção, rolamento, etc., transporte e transferência de líquidos inflamáveis;
- Equipamentos geradores de temperatura, de chamas, descargas atmosféricas, ondas de RF e eletromagnéticas.

Segundo a NBR IEC 60079-0 (2013) as seguintes ações podem ser realizadas para reduzir ou eliminar os riscos em áreas classificadas:

- Prevenir a formação ou existência de atmosferas explosivas, modificando a concentração da substância explosiva ou do oxigênio;
- Implementar instalações adequadas, como equipamentos certificados, e por através de um trabalho de proteção, limitando os efeitos da explosão a um nível aceitável.

O item da norma NR-20, segurança em instalações com Líquidos inflamáveis e combustíveis, estabelece orientações para evitar fontes de ignição em áreas classificadas, como também obriga a conformidade dos equipamentos elétricos de acordo com a NR-10. As principais recomendações que a NR-20 estabelece são:

- Controle de descargas atmosféricas;
- Equipamentos adequados em áreas classificadas. Como exemplo eletrônicos (telefone celular, rádio de comunicação e outros);
- Controle de geração, acúmulo e descarga de eletricidade estática;
- Permissão para trabalho em áreas sujeitas a atmosfera inflamável;
- Veículos adequados para áreas classificadas;
- Conhecimento de todas as potenciais fontes de ignição;
- Identificar e mapear as áreas classificadas e;
- Elaborar um plano de ação para adequar as instalações existentes.

### 2.7.1. Instalações elétricas

Os equipamentos utilizados em áreas classificadas devem possuir certificados emitidos por entidades certificadoras oficiais credenciadas pelo INMETRO, providos com a marcação correspondente para o Grupo e Classe de Temperatura definidos. O certificado deve ser fornecido pelo fabricante e mantido no prontuário das instalações elétricas (BRASIL, 2004).

A norma brasileira que regulamenta os tipos de proteção dos equipamentos e instalações elétricas é a norma NBR IEC 60079-14 (Atmosferas explosivas - Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas), na qual apresenta os tipos de proteção pertinentes para cada zona e a maneira como estes equipamentos devem ser instalados.

### 2.7.2. Execução de serviço a quente

Serviços à quente devem ser evitados em áreas classificadas. Se for imprescindível que estes serviços sejam realizados, todo o rigor deve ser dado às ações preparatórias para a execução, que podem ser (PETROBRAS, 2002):

- Purga e inertização do equipamento;
- Emissão da Análise Preliminar de Risco (APR);
- Permissão de Entrada e Trabalho (PET).

### 2.7.3. Eletricidade Estática

Deve-se utilizar métodos para evitar o acúmulo de descarregamento de eletricidade estática, como o aterramento, que deve garantir a equipotencialidade dos sistemas que estejam em todas as estruturas localizadas nestas áreas. Como também, todos os equipamentos que formam parte do sistema de transferência deverão estar também ligados ao aterramento (PETROBRAS, 2002).

Para garantir o efetivo aterramento devem-se substituir componentes feitos de materiais isolantes por materiais condutores. Ainda, todos os circuitos deverão dispor do condutor de terra de proteção adicional, conforme exigido pelas Normas NBR 5419 e NBR 5410.

Cargas estáticas podem ser geradas e acumuladas por seres humanos, dessa forma faz-se necessário o uso de vestimentas antiestáticas nas áreas classificadas, evitando fibras sintéticas isolantes (conter no mínimo 60% de algodão), assim como o uso de calçados dissipativos e pisos condutivos. As vestimentas não deverão ser despidas em áreas onde vapores inflamáveis possam estar presentes (BRASIL, 2004).

## 2.8. CONSIDERAÇÕES POSTERIORES AO ESTUDO DE ÁREAS CLASSIFICADAS

Segundo a norma NBR IEC 60079-10-1 (2009), deve ser realizada uma análise das áreas passíveis de desclassificação mediante pequenas alterações. Existem medidas que se pode reduzir a extensão ou até o grau da área classificada, adotando-se quaisquer dos seguintes meios:

- a) Reduzir ou eliminar as possibilidades de vazamentos em condições normais de operação (equipamentos de processo aberto como tachos, etc).
- b) Mudar uma instalação de um recinto fechado para ao ar livre.
- c) Aumentar a ventilação especialmente se a instalação está em um edifício com áreas de pouca ventilação.
- d) Criar barreiras físicas, como a construção de paredes de alvenaria, limitando a extensão da área classificada.

Segundo Bulgarelli (2009) é possível, ainda, a adoção de sistemas de monitoração e alarmes de gases inflamáveis, que devem ser acionados quando existirem gases e vapores dispersos em concentração superior ao limite inferior de explosividade e procedimentos internos que obrigue que todas as prováveis fontes de ignição sejam desligadas.

O estudo de áreas classificadas é um trabalho de identificação dos riscos de probabilidade de formação de atmosfera explosiva e delimita sua extensão através das zonas. Porém, ele é o primeiro passo para identificação das adequações/ planejamento necessário para seleção e montagem de equipamentos elétricos. Importante realizar inspeções nos equipamentos e instalações elétricas nas áreas identificadas na classificação, para embasar a tomada de decisão nas adequações. Outro item é a garantia do aterramento elétrico dos componentes eletromecânicos e pontos geradores de cargas eletrostáticas (LOPEZ, 2010).

Desta forma, segundo o Sá, se faz necessário o controle de um plano de inspeções periódicas para manutenção preventiva nas instalações e equipamentos elétricos destas áreas, bem como garantia do aterramento, para seja mantida a segurança dos equipamentos e evitado os riscos de fonte de ignição (SA, 2014).

Ainda independente destes é necessário que a empresa mantenha atualizados alguns documentos, como Plano de Emergência, Sistema de Alívio de Pressão, Sistema de Combate a Incêndio, e mantenha um plano de treinamento de capacitação dos envolvidos e trabalhadores que adentram estas áreas (SA, 2014).

### 3. METODOLOGIA

Os capítulos a seguir apresentam os procedimentos utilizados para classificação de uma sala de carregamento de baterias, em uma área industrial.

Por motivo de sigilo e por respeitar as condutas éticas da indústria, não será divulgado o nome do estabelecimento nem informações confidenciais que venham comprometer a empresa.

Para se obter a definição de classificação da área, foram tomados como base os procedimentos normativos da NBR IEC 60079 10-1 - Equipamentos Elétricos para atmosferas explosivas Parte 10-1 - atmosfera explosiva por gás, a qual exige uma análise de risco bem detalhada e criteriosa. Para os cálculos de definição do grau de ventilação na sala também foram utilizados cálculos da norma europeia EN 50272-2, requisitos de segurança para baterias secundárias e instalações de baterias – Parte 2: Baterias estacionárias.

Dessa forma, seguindo a norma foram realizadas as seguintes etapas de trabalho:

- Coleta de dados iniciais: da substância inflamável, com a análise de suas características físico-químicas, análise da planta da fábrica, para identificação das áreas adjacentes; e entrevistas para identificação das fontes de risco no processo;
- Coleta de dados em campo, com avaliação do processo *in loco*, para confirmar as fontes de risco, levantar dados de frequência e duração de liberação da substância, verificar a probabilidade de formação de uma atmosfera explosiva, avaliar as interferências com áreas externas, levantar as dimensões da sala, identificar as formas de ventilação na área, existência de fontes de ignição, suas condições, entre outros;
- Cálculos para avaliação da ventilação;
- Compilação dos dados para definição classificação da área e zoneamento

#### 3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS INICIAIS

##### 3.1.1. Produto Inflamável

A NBR IEC 60079-10-1 apresenta um modelo de planilha, no Anexo C, com as principais características a serem coletadas sobre um produto inflamável no processo, que seguem a seguir:

- A. Estado físico do produto: se é um gás, líquido, gás liquefeito ou sólido;
- B. Ponto de fulgor, em graus Celcius (°C),

- C. Limite de Explosividade, em  $\text{Kg/m}^3$  e %;  
Para transformar % em  $\text{Kg/m}^3$  foi utilizada a Equação 2:
- D. A volatilidade, através dos dados “Pressão de vapor”, em KPa, “Ponto de fusão” e “Ponto de ebulição” em °C;
- E. Índice Politrópico de expansão adiabática ( $\gamma$ );
- F. Densidade relativa do gás/ar;
- G. Temperatura de Ignição, em °C; e
- H. Grupo e Classe de Temperatura

Estes parâmetros vão definir as condições das substâncias que podem gerar uma atmosfera explosiva, por gases, vapores e líquidos inflamáveis, e que devem ser analisadas no processo industrial a qual estão inseridas.

Para análise do produto inflamável, no estudo de caso em questão, foi levantada todas as FISPQs das baterias utilizadas na sala, de todos os possíveis fabricantes em que a indústria compra, bem como coletados os dados do fabricante das baterias, para assim verificar os dados de todos os produtos das cargas de baterias, e conseguir identificar se há casos específicos.

Nesta análise foi identificado o estado físico que o produto é liberado, se ele é inflamável ou não, os parâmetros de volatilidade, temperatura, e identificada as condições de operação da bateria que o fabricante diz que é liberado gás inflamável.

Segundo Freitas, o ponto de fulgor da mistura pode ser alterado pela adição de outros produtos. Se a adição for feita com líquidos não inflamáveis, ocorre uma elevação no ponto de fulgor, sendo que uma elevação na temperatura de até 5K acima da temperatura ambiente pode evitar a formação de uma atmosfera explosiva (FREITAS, 2010).

Neste levantamento foi possível definir a classe de temperatura, com base na temperatura de auto ignição da substância, de acordo com o Quadro 2, bem como definir também o grupo de temperatura baseado na composição do material inflamável (Quadro 1).

### 3.1.2. Processo operacional

Para análise das fontes de risco no processo de recarga de baterias, primeiramente foi solicitada a empresa a planta da empresa com a localização da sala de baterias, para poder analisar as áreas adjacentes e riscos potenciais.

Depois foi realizada entrevista com os responsáveis pela sala de baterias, bem como com os operadores que realizam a recarga, para:



- Entendimento do processo de recarga das baterias (desde a partida da recarga, operação e desligamento).
- Levantar os dados das baterias e sala, tais como:
  - Quantidade máxima de baterias que a sala está preparada para carregar;
  - Capacidade, em ampére/hora (Ah) das baterias

### 3.1.3. Dados da Ventilação

Através do Layout da sala foi possível obter as dimensões da sala de baterias, como também foi solicitado os dados do equipamento exaustor existente na sala para avaliação de seus dados operacionais.

Também foi levantado dados de disponibilidade de ventilação, como:

- Inter travamento com a operação de recarga,;
- Como é possível identificar falhas na operação da exaustão.

## 3.2. AVALIAÇÃO EM CAMPO

### 3.2.1. Ambiente e Ventilação

Primeiramente foi feita uma inspeção no ambiente para coleta de dados, tais como:

- Avaliação das aberturas existentes (portas, janelas, aberturas para ventilação nas paredes, teto);
- Identificação e avaliação dos equipamentos de ventilação artificial (exaustores, ventiladores), verificação das condições de operação (se estava ligado, em boas condições de uso, onde está o painel de operação, se falhar como é verificado);
- Verificação da existência de possíveis obstáculos próximos a ventilação artificial e aberturas;
- Também foi avaliada as aberturas na sala para outras áreas vizinhas ou externas, e frequência de abertura dessas aberturas, considerando um cenário na possibilidade da própria sala representar uma fonte de risco;
- Existência de equipamentos de combate a incêndio no local e suas condições de uso; e

- Condições de risco no ambiente, como:
  - Identificar e inspecionar as fontes de ignição de origem elétrica existentes, localização dos interruptores de energia, tipos de luminárias e condições de operação, tipos de controle de segurança existentes.

### 3.2.2. Fontes de Risco e Grau de Risco

O elemento básico para o estudo é identificar as fontes de risco, ou seja, identificar os locais e estado físico em que as substâncias inflamáveis estão em cada etapa do processo, avaliar por onde, como e quando elas são ou podem ser liberadas no processo, e em que condições de operação (normais e anormal) são liberadas. Com essa análise é possível avaliar a probabilidade de existência ou aparição de atmosferas explosivas na área.

De acordo com a norma, os seguintes elementos são considerados como fontes potenciais de liberação de gás inflamável ou mistura de vapor explosiva: Flanges; Conexões; Pontos de amostras; Vents; Respiros; Drenos; Etc.

A norma também cita que as aberturas entre outras áreas devem ser consideradas como fonte de risco também, como: zona de área adjacente; frequência e duração dos períodos de abertura; efetividade dos selos e juntas; e direção das pressões entre as áreas.

Conforme a norma, se for estabelecido que o equipamento possa liberar gases ou vapores inflamáveis para a atmosfera, é necessário determinar o grau de risco de liberação, de acordo com a frequência de ocorrência e de duração da liberação. Para depois determinar a taxa de liberação e os demais fatores que influencia no tipo e extensão da zona.

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 (item 2.3.3.2).

A definição do grau de liberação também pode ser analisada com base na duração da liberação do gás ou vapor inflamável para atmosfera, dentro do processo. A norma API RR 505 traz esta definição, que foi traduzida por Jordão (2002), está apresentada no Quadro 9.

Duração da presença da mistura inflamável	Grau da Fonte de Risco	Zona formada
>1.000 horas por ano	Contínuo	0
Entre 10 a 1.000 horas por ano	Primário	1
Menos que 10 horas por ano	Secundário	2
Menos que 1 hora por ano		Não Classificada

**Quadro 9 – Classificação das zonas de acordo com o grau de fonte de risco.**

**Fonte: Jordão, 2002.**

A duração de liberação também pode ser verificada através de modelagem matemática através de softwares. Outra forma de avaliar a frequência é com base em estudos de análises de risco da ocorrência de cenários acidentais. A CETESB (2003), cita que é possível avaliar bancos de dados históricos, referências bibliográficas, desde que tenham representatividade para estudo em questão.

Ainda a norma traz o efeito do tipo de abertura, em relação as fontes de risco, para avaliar a formação de zonas de risco. O Quadro 10 apresenta os tipos de possíveis zonas formadas, de acordo com a abertura e grau de risco.

Zona a montante da abertura	Tipo da abertura	Grau de risco das aberturas consideradas fontes de risco
Zona 0	A B C D	Contínuo (Contínuo)/primário Secundário Secundário
Zona 1	A B C D	Primário (Primário)/secundário (Secundário)/sem liberação Sem liberação
Zona 2	A B C D	Secundário (Secundário)/sem liberação Sem liberação Sem liberação

NOTA Para graus de liberação mostrados entre parênteses, é necessário que a frequência de operação das aberturas seja considerada no projeto.

**Quadro 10 – Classificação das zonas de acordo com o tipo de abertura e grau de fonte de risco.**

**Fonte: ABNT (2009).**

De acordo com este contexto, durante a visita em campo na sala de baterias, além da análise do ambiente, foi acompanhado o processo de operação das baterias, desde que a empilhadeira chega para descarregar a bateria usada, o carregamento, desde a partida até estar carregada para instalar na empilhadeira. Durante esta inspeção foi possível:

- Identificar os pontos de liberação de gás para o ambiente (fontes de risco),
- Avaliar os tipos de aberturas das fontes de risco, com base na norma (Quadro 10);
- Avaliar cenários de liberação de gás em operação normal, ou seja, falhas previstas e previsíveis em operação normal;
- Avaliar a frequência e duração da liberação do gás durante a operação normal para definir o grau de risco de cada fonte (de acordo item 2.3.3.2 e Quadro 9);
- Identificar falhas no processo, onde estas possam gerar mais liberação de gás para a atmosfera;
- Condições e parâmetros de operação das baterias, como pressão, temperatura, tempo de recarga, amperagem;
- Quantificar o nº de baterias em carregamento;
- Também foi verificado se o operador das baterias seguia os procedimentos existentes, em relação a operação, bem como se suas vestimentas e equipamentos eletrônicos eram adequadas em relação a fontes de ignição.

Importante salientar que nesta análise não estão contidos equipamentos móveis como empilhadeiras, que circulam na área da fábrica.

### 3.3. CÁLCULOS PARA DEFINIÇÃO DO GRAU DE VENTILAÇÃO

Após levantar todos os dados do produto inflamável, das dimensões da sala de baterias, das aberturas de ventilação natural e artificial, foi possível iniciar os cálculos para determinação do grau de ventilação da sala de baterias.

Primeiro foi calculado o volume da sala em  $m^3$  ( $V_0$ ), sendo que estruturas fixas na sala que ocupam um volume foram subtraídos do volume total, utilizando apenas o volume útil. Depois levantado a área total em  $cm^2$  ( $A$ ) das aberturas existentes na sala para cálculo da vazão

de ar efetiva na sala de baterias, através da Equação 9 ( $Q_{\text{efetivo}}$  ou  $dV_0/dt$ ). A vazão final foi somada ao valor da vazão do equipamento artificial.

Com este dado ( $dV_0/dt$ ) foi possível calcular número de renovações de ar por unidade de tempo, o  $C$  ou  $N$  existente na sala através da Equação 5 (mesma que a Equação 8).

Em seguida foi calculado a taxa de liberação de hidrogênio para o ambiente, através da Equação 14, do capítulo 2.5.

Com base na taxa de liberação de hidrogênio liberado pelas baterias da sala ( $dG/dt$ ), obtido na Equação 14, foi possível calcular a taxa mínima de vazão volumétrica de ar ( $dV/dt$ ), dado pela Equação 1.

Depois foi estimada a vazão volumétrica da fonte de risco ( $V_k$ ) para manter a concentração abaixo do LIE, que tem relação com o número de trocas de ar ( $C$  ou  $N$ ) que a sala possui, através da Equação 3, que por fim foi multiplicado por  $f$  (Equação 4).

E por último calculado o tempo de persistência da concentração do hidrogênio que decai de um valor  $X_0$  para LIE, de acordo com a Equação 7.

O resultado obtido ( $V_z$ ) deve ser comparado com o volume total da sala de baterias ( $V_0$ ) para definição do grau de ventilação com base na norma NBR IEC 60079-10-1; 2009.

Compara o  $C$  com número mínimo de trocas exigidas em sala de baterias (12) conforme a norma EM 5072-2 (2001).

Não é intenção que estes cálculos sejam utilizados para determinar diretamente a extensão das áreas classificadas. O que se espera é avaliar o grau de ventilação e sua influência na Classificação de Áreas.

Após definido o grau foi definida a disponibilidade de ventilação, com base na avaliação da funcionalidade do equipamento de exaustão, formas de garantia de troca de ar na sala de baterias, ou seja, garantia que a ventilação natural mais artificial estará presente em condições normais de operação, e com que frequência. E por fim comparar a análise com as definições da norma.

### 3.4. CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA

De acordo com a norma NBR IEC 60079-10-1 (2009), a determinação do grau de risco (Zonas) depende do grau da fonte de risco e da ventilação presente no local. Assim, pode-se dizer que normalmente:

- Fonte de Risco de Grau Contínuo gera Zona 0;
- Fonte de Risco de Grau Primário gera Zona 1, e;

- Fonte de Risco de Grau Secundário gera Zona 2.

Com as definições do grau de risco, grau de ventilação e a disponibilidade de ventilação foi observado o Quadro 6 para definir a classificação da área, para cada grau de risco levantado.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DADOS DO PRODUTO INFLAMÁVEL

Com base no modelo de empilhadeira utilizada na fábrica tem-se a característica da bateria utilizada, tipo Chumbo-Ácida, onde verificou-se que o material líquido da bateria não é inflamável, mas o gás liberado durante o carregamento sim, o hidrogênio. Os dados do Hidrogênio estão apresentados no Quadro 11. O Hidrogênio se caracteriza como um gás inflamável, altamente explosivo, com alta volatilidade e rápida dispersão no ar, como é um gás mais leve que o ar ele tende a subir.

Sub	Densidade de Vapor (AR=1)	Ponto de Fulgor °C	Pressão de vapor Pa	Ponto de Ebulição °C	Ponto de Fusão °C	Massa Molar Kg/kmol	Limites de Inflamabilidade		Temperatura de Auto Ignição °C	Classe de Temperatura	Grupo
							Inferior	Superior			
Hidrogênio	0,07	-	209	-273	-259,1	2,0	4%	75,6%	560	T1	IIC

**Quadro 11 – Dados do Hidrogênio**

**Fonte: Autoria própria (2015).**

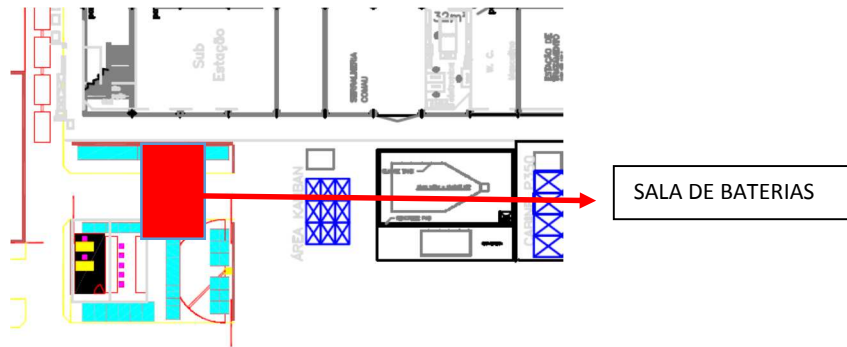
Para converter o LIE% em  $\text{kg/m}^3$ , e sabendo a massa molar do Hidrogênio  $2\text{kg/kmol}$ , aplicou-se a Equação 2 e obteve-se  $(0,416 \times 10^{-3} \times 2 \times 4) 3,328 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ .

A massa específica do gás hidrogênio é de  $0,08235 \text{ Kg/m}^3$ .

### 4.3. DADOS DO AMBIENTE

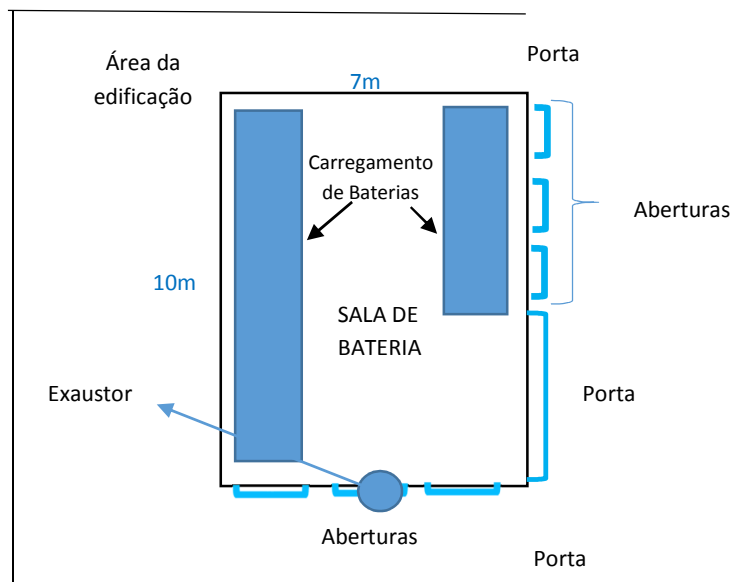
A sala de baterias está localizada na mesma estrutura da edificação principal da planta da fábrica, sendo que o acesso a sala se dá somente pelo lado externo da edificação, com uma porta de 5m de altura x 4m de largura.

A sala de baterias tem dimensões 10m(comprimento) x 7m (largura) x 6m (altura), ou seja, um volume total da sala de **420,0m<sup>3</sup>**. Abaixo segue localização em planta, Figura 3, e na Figura 4 é detalhado o croqui.



**Figura 3 – Localização em planta**

Fonte: Autoria própria (2015).



**Figura 4 – Croqui da Sala de baterias**

Fonte: Autoria própria (2015).

Sabendo que as baterias (dimensões 1,028m x 0,855m x 0,784m) mais os carregadores ocupam um espaço total na sala de  $13\text{m}^3$  aproximadamente, em uma pior situação (sala em sua capacidade total), a área total da sala será de  $420\text{m}^3 - 13 = 407\text{m}^3 \cdot (V_0)$ .

Com base na figura 4 é possível visualizar a localização das aberturas, sendo três janelas mais a porta com acesso para área externa da edificação, e mais três janelas para a área interna. Também foi observado um exaustor acima das janelas, da marca “Furacão”, com 0,40m de diâmetro e 0,23m largura ( $0,092\text{m}^2$ ) e vazão de  $75\text{m}^3/\text{min}$  ( $4.500\text{m}^3/\text{h}$ ).

Foram verificadas seis (6) janelas nas paredes (dimensões de cada 1,5m x 0,8m), com área individual de  $1,2\text{m}^2$  e volume livre de 66%, resultando em uma área de  $0,792\text{m}^2$ . Como são seis janelas, são  $4,75\text{m}^2$  de área útil ( $0,792 \times 6$ ). Também há uma (1) porta de 5m x 4m,



com volume livre de 40%, então são  $8\text{m}^2$  de área útil. A área total das aberturas para ventilação é de  $12,75\text{m}^2$ .

Somando as áreas úteis das janelas, porta com a do exaustor ( $0,092 + 12,75 = 12,842\text{m}^2$ ), a área total da ventilação natural na sala é de  **$1.284,20\text{ cm}^2$  (A)**.

Aplicando a Equação 9 tem-se a vazão de ar efetiva na sala de baterias foi de 45,86429, mais o exaustor de 4500, o valor é de  **$4.545,86\text{m}^3/\text{h}$**

Com base nestes valores já é possível aplicar a Equação 8 e 5, para cálculo do volume de trocas de ar foi de  **$11,1692$  trocas de ar por hora**.

Em relação a ventilação, o exaustor estava ligado durante toda a visita, porém, conforme relato de um funcionário, quando o barulho do lado externo está muito alto eles desligam a ventilação da sala. Não foi notado conhecimento, por parte dos funcionários que trabalham no em torno da sala, sobre a importância da ventilação na sala de baterias. Não foi verificado intertravamento da ventilação com a operação de carregamento das baterias. Foi verificado que na saída das aberturas para dentro da edificação haviam pilhas de caixas obstruindo a saída de ar.

Em relação às fontes de ignição existentes: foram observadas luminárias, todas com um grau de proteção à prova de explosão (não foi detalhado o nível de proteção por não ser objetivo deste trabalho); o motor do exaustor fica do lado de fora da sala; também foi observado que todos os cabamentos elétricos estavam protegidos, assim como os interruptores de energia e os pontos de energia para os carregadores de energia, porém foi observado que o interruptor da exaustão estava com o botão de ligamento solto. Outra fonte de ignição observada foi a ligação de energia do plug da tomada no momento do operador conectar a bateria no carregador, ele faz isso acima das aberturas das baterias, por onde há liberação de gases.

Em relação a sinalização de segurança na sala, conforme NR-10, 20 e 26, foi verificado placas com instruções do procedimento de operação das baterias, mas não sobre os riscos com a operação. Foi verificado placas de sinalização de riscos com choque elétrico em cada interruptor e placas de identificação dos equipamentos.

Sobre equipamentos de combate à incêndio, foi verificado somente um extintor ao lado da porta de saída.

#### 4.4. FONTE E GRAU DE RISCO

Foi confirmado que durante a recarga das baterias é gerado gás hidrogênio. O gás é liberado dentro do recipiente da bateria e por meio de aberturas acima delas, já que não são lacradas. Esta concentração aumenta à medida que a carga aumenta. A Figura 5 ilustra um modelo de bateria utilizada na sala.



**Figura 5 - Modelo ilustrativo de uma bateria Chumbo-Ácida.**

**Fonte: Soluções Industriais, 2015.**

Também foi observado que, durante a operação de recarga, conforme o tempo de uso da bateria, é preciso preencher as baterias com “água de bateria”, sendo necessário abrir as tampas, por onde liberam mais gases.

Com base nas informações obtidas e avaliadas foi possível simular cenários de liberação de gases e identificar as possíveis probabilidades de formação de atmosfera explosiva:

- 1) Interior da bateria:
  - a. Frequência: sempre há liberação quando está carregando;
  - b. Duração estimada >1.000h/ano;
  - c. Grau de risco contínuo.
- 2) Aberturas das tampas das baterias
  - a. Abertura: tipo B
  - b. Frequência: liberação de gás eventual em operação normal e durante preenchimento com água;
  - c. Duração estimada de 10 a 1.000h/ano;
  - d. Grau primário,

3) Aberturas (porta, janelas) da sala de bateria:

- a. Abertura: tipo A
- b. Frequência: liberação de gás acidental por curto prazo;
- c. Duração estimada < 10 h/ano;
- d. Grau Secundário,

#### 4.5. TAXA DE LIBERAÇÃO

A sala possui capacidade para instalar 13 baterias (n), com 36 células de 2V cada (NC), sendo que cada bateria tem capacidade de 770Ah ( $C_N$ ).

De acordo com os dados das baterias foi possível calcular a taxa de liberação de hidrogênio na sala para uma taxa final de carregamento de 50mA/Ah ( $I_{gás}$  - Quadro 7), o número de fontes de risco também está no cálculo, através da Equação 14, que resultou em **8,16 m<sup>3</sup>/h** ( $13 \times 36 \times 50 \times 10^{-3} \times 770 \times 0,453 \times 10^{-3}$ ).

Transformando a taxa de liberação para kg/h, resultou em **0,6722 kg/h**.

#### 4.6. GRAU DE VENTILAÇÃO

Utilizando a Equação 1, do cálculo da taxa mínima de vazão volumétrica de ar ( $m^3/s$ ), e sabendo que a temperatura média alta do município é de 27°C e que a fonte de risco primária é de  $k = 0,25$ , obteve-se **827, 177m<sup>3</sup>/h**, a qual foi utilizada nas Equações 3 e 4, do volume hipotético  $V_z$ , e obteve-se **370,3 m<sup>3</sup>**.

Depois foi calculado o tempo de persistência com a Equação 7 e resultou em **2,06h**.

Comparando o  $V_z$  com o  $V_0$  ( $V_z = 370,3 m^3 < V_0 = 407 m^3$ ), tem-se o grau de ventilação que, de acordo com a norma IEC 60079-10-1 (2009) é **médio (VM)**.

Comparando o número de trocas de ar obtido na sala (11,1692) com número mínimo de troca de renovação de ar (6 trocas por hora), está adequada. Mas se aplicar o fator de segurança ( $f=2$ ), ou seja, 12, o número de trocas de ar fica abaixo e não atende a BS EN 5272 (2001).

#### 4.7. DISPONIBILIDADE DE VENTILAÇÃO

De acordo com a definição da norma a disponibilidade de ventilação é Satisfatória. Pois como o exaustor da sala é responsável por boa parte das trocas de ar na sala, e este não está intertravado com a operação de recarga de baterias, ou seja, se houver falhas na ventilação da sala não é paralisada a operação do carregamento de baterias, não há garantia da ventilação contínua. Também não foi identificado algum tipo de alerta de falha na ventilação no painel elétrico central, ou ainda, avisos luminosos/sonoros que garantiriam a disponibilidade de ventilação na sala.

#### 4.8. CLASSIFICAÇÃO

Com base nos dados de grau das fontes de risco, grau e disponibilidade de ventilação da sala e Quadro 7 da norma IEC 60079-10-1 (2009), a classificação resultou em:

- 1) Interior da bateria: zona 0 (de forma contínua durante a operação);
- 2) Próximo às aberturas das baterias forma-se uma zona 1 (eventualmente em operação normal), e entorno desta zona forma-se uma zona 2 (curto período ou acidental), de acordo que se distância das baterias. Desta forma a sala é considerada como zona 2;
- 3) Na saída das aberturas (porta, janelas) da sala de bateria há probabilidade de formação de atmosfera explosiva de uma zona 2 (curto período ou acidental).

#### 4.9. RECOMENDAÇÕES

Como medida de segurança considerar todo o volume da sala como zona 2. Para definição da extensão da zona recomenda-se utilizar software adequado.

A primeira alternativa é reduzir a probabilidade de formação de atmosfera explosiva, como consequência redução de zona 1 para 2. Para isso é necessário, conforme o Quadro 7, aumentar o grau de ventilação para alto e garantir disponibilidade boa. Pois no caso deste modelo de baterias não há como evitar a liberação de gases no interior da sala.

Sugere-se então, como opção para garantir a disponibilidade de operação do exaustor, um alerta no painel ou intertravamento com o carregamento de baterias no caso de falhas, onde evitaria a formação de atmosfera explosiva.

Para verificar o que pode ser realizado para aumentar o número de trocas de ar na sala para pelo menos 12, utilizou-se a Equação 8, do número necessário de troca de ar (N), e obteve

a vazão necessária de  $4.884 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $Q = 12 \times 407\text{m}^3$ ). Como a vazão atual da sala é de  $4.545,86\text{m}^3/\text{h}$  ( $dV_0/dt$ ), sendo  $45,86\text{m}^3/\text{h}$  das aberturas e  $4.500 \text{ m}^3/\text{h}$  do exaustor existente, é preciso aumentar a vazão em  $338,14 \text{ m}^3$ . Isto pode ser feito através da troca ou instalação de um exaustor mais potente, que supra esta vazão, ou através de mais aberturas no ambiente ( $A = 28 \times 338,14 \text{ m}^3 = 9467,92 \text{ cm}^2$ ). Conhecendo o ambiente e sabendo das dificuldades de aumentar as aberturas da sala, devido a divisa com áreas adjacentes, recomenda-se a troca do equipamento de ventilação exaustor por um com maior potência de  $4.500 \text{ m}^3/\text{h}$  para um de  $4.850 \text{ m}^3/\text{h}$ . Também recomenda-se a retirada dos obstáculos (caixas) da saída das aberturas de ventilação.

Para redução de fontes de ignição na sala, conforme inspeção da área, independente da sala permanecer como zona 1 ou reduzir para 2, recomenda-se realização de inspeção elétrica quanto ao grau de proteção dos equipamentos elétricos e eletrônicos e compatibilidade com o classe e grupo de temperatura do hidrogênio, para assim verificar a necessidade de troca ou manutenção. Também recomenda a manutenção do painel elétrico do exaustor.

Como procedimento de segurança recomenda-se treinamento e capacitação dos operadores da sala de bateria, quanto aos conhecimentos dos riscos existentes e operação segura.

## 5. CONCLUSÕES

Dentro da bateria o grau de risco é contínuo, espera-se que ocorra frequentemente durante o carregamento ( $>1.000\text{h/ano}$ ), nas aberturas das tampas (acima das baterias) o grau de risco é primário (entre  $1.000$  a  $10\text{h/ano}$ ), pois a liberação ocorre periodicamente em operação normal, e na saída das aberturas da sala para áreas adjacentes, como janelas e portas, o grau de risco é secundário, com uma frequência de liberação menor ( $<10\text{h/ano}$ ), ou seja, não se espera-se que ocorra em operação normal, e se ocorrer é por curto período ou acidental.

A ventilação da sala de carregamento de baterias foi definida como grau médio, obtida por meio da realização de cálculos para o volume hipotético ( $V_z = 370,3 \text{ m}^3$ ), o qual é menor que o volume total da sala ( $V_0 = 407 \text{ m}^3$ ). Já a disponibilidade de ventilação foi definida como satisfatória, já que não há garantia da operação do exaustor.

A área foi definida como classificada, com formação de zonas:

- Zona 0: no interior das baterias;
- Zona 1: no entorno das baterias; e
- Zona 2: no entorno da zona 1, conforme se distância das baterias, e na saída das porta e janelas da sala de bateria.

Sendo que para desclassificar a área sugere-se aumentar o grau de ventilação para alto, através de troca ou instalação de um novo exaustor no local, que supra a vazão necessária para um nível de trocas de ar igual a 12, e garantir a disponibilidade de ventilação boa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RR 505**. Recommended practice for classification of locations for electrical installations at petroleum facilities. Nov. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-0**: Atmosferas Explosivas. Parte 0: Equipamentos - Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13321**: Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-10-1**: Atmosferas explosivas Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17505-1**: Armazenamento de Líquidos Combustíveis – Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina no Trabalho** (2014). NR-20 Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF808081419E9C900142092C9A742810/NR20%20%28atualizada%202012%29%20%28sem%2018%20meses%29.pdf>> Acesso em: 27 Mar. de 2015.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina no Trabalho** (2004). NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D308E216601310641F67629F4/nr\\_10.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D308E216601310641F67629F4/nr_10.pdf)> Acesso em: 01 Mar. de 2015.

BRITISH STANDARD. EUROPEAN NORM. **BS EN 50272-2**. Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 2: Stationary batteries. (BS EN) Bruxelas, 2001

BULGARELLI, Roberval. **Segurança em instalações em Atmosferas Explosivas**. Cubatão, 2014.

BULGARELLI, Roberval. **Instalações Elétricas e de Instrumentação para Áreas Classificadas**. Requisitos para as atividades de inspeção e manutenção de instalações elétricas e de instrumentação em atmosferas explosivas. Revista o Setor Elétrico, cap XVII, 2010.

BULGARELLI, Roberval. **Instalações Elétricas e de Instrumentação para Áreas Classificadas**. Requisitos para automação de projetos e para estudos de classificação de áreas. Revista o Setor Elétrico, cap VII.pag 38 a 44, 2009.

CÍCERO Roberto. CONATEX Conformidade em Atmosfera Explosiva. **Treinamento para Operadores em Áreas Classificadas contra Riscos de Explosão**. São Paulo, 2014.

FREITAS, Ronald Pioli. **Classificação de Áreas – Instalações Elétricas e Equipamentos em Atmosferas Explosivas**. Curitiba, 2010. Disponível em <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/144.pdf>: Acesso em: 27 Mar. de 2015.

JORDÃO, Dácio de Miranda. **Manual de Instalações elétricas em indústria química, petroquímica e petróleo**. 3ª Ed.. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 2002.

LOPEZ, Nelson M. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES. **Manual de Bolso de Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas (MBIEAEx)**. São Paulo: ABPEX, 2010.

OSTERNACK, Douglas et al. VI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. **Estudo de caso de ventilação natural e artificial em uma sala de baterias do tipo chumbo-ácidas**. Niterói, 2010.

OTSUKA, Aroldo H. **Análise Quantitativa da Extensão de Áreas Classificadas**. Dissertação ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2011. Disponível em: [http://bdtd.ufs.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=738](http://bdtd.ufs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=738)> Acesso em: 28 Out. de 2014.

PETROBRAS, Instru-Ex. **Instruções Gerais para Instalações em Atmosferas Explosivas**, cap.8. 2ª edição. Rio de Janeiro: Instru-Ex, 2002.

PONTES Ronaldo da Silva. **Baterias de Chumbo**. João Pessoa, 2009. Disponível em: [http://www.quimica.ufpb.br/monitoria/Disciplinas/termodinamica2/material/M1\\_Baterias\\_de\\_chumbo\\_-\\_RONALDO\\_DA\\_SILVA\\_PONTES.pdf](http://www.quimica.ufpb.br/monitoria/Disciplinas/termodinamica2/material/M1_Baterias_de_chumbo_-_RONALDO_DA_SILVA_PONTES.pdf).>Acesso em: 27 Mar. de 2015.

SA, Ary. **Prevenção e Controle dos Riscos com Poeiras Explosivas**. Disponível em: <http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/poeiras-explosivas.pdf>> Acesso em 25 Nov. de 2014.

SHERIQUE, Jaques. **Riscos de Explosão em Sala de Baterias**, como evitar. Disponível em: <http://sherique.com.br/2012/09/risco-de-explosao-em-sala-de-baterias-como-evitar/>>Acesso em: 27 Mar. de 2015.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Modelo de Empilhadeiras Chumbo-Acida. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/entidades-diversas/arlindo-dos-santos-baterias-me-/produtos/acessorios/conectores-para-empilhadeiras>> Acesso 04 Abr. de 2015.



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). **Instrumentista Reparador - Áreas Classificadas.** Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/camaral/instrumentacaoindustrial/15%20%20Apostila%20areas%20classificadas%20%20instrumentista%20reparador.pdf/view.>> Acesso 04 Abr. de 2015.