



ÁREA CLASSIFICADA E ATMOSFERA EXPLOSIVA



Conteúdo

Áreas Classificadas.....	5
Atmosfera Explosiva	5
Características das Substâncias Inflamáveis	6
Coeficiente de Evaporação	6
Densidade Relativa de Gás ou Vapor	6
Ponto de Fulgor (Flash Point).....	7
Ponto de Ignição, Combustão ou Inflamação	7
Energia de Ignição, Combustão ou Inflamação	7
Limite Inferior de Inflamabilidade.....	7
Limite Superior de Inflamabilidade	7
Temperatura de Ignição	8
Temperatura Máxima de Superfície	8
Fontes de risco	8
Tipo de zona	9
Extensão de zonas.....	10
Taxas de liberação de gás ou vapor.....	10
Outros parâmetros a serem considerados.....	12
Grau de Risco	13
Proteção Primária	13
Ventilação em Áreas Classificadas	14
Ventilação Natural.....	14
Ventilação Artificial.....	15
Graus de Ventilação.....	16
Ventilação Alta (VA).....	17
Ventilação Média (VM).....	17
Ventilação Baixa (VB)	17
Avaliação do Grau de Ventilação	17
Estimativa do Volume Hipotético (Vz)	18
Tempo de persistência	21
Estimativa do Grau de Ventilação	21
Ventilação Alta (VA).....	22
Ventilação Baixa (VB)	22

Ventilação Média (VM).....	22
Disponibilidade de Ventilação	23
Exemplos de Cálculo	25
Exemplo 1	25
Exemplo 2	26
Exemplo 3.....	27
Exemplo 4.....	28
Exemplo 5.....	29
Exemplo 6.....	30
Norma Regulamentadora 10 (NR10).....	31
Classificação da Área	32
Classificação dos Produtos Inflamáveis	32
Classificação dos Ambientes.....	34
Zona 0.....	35
Zona 1.....	35
Zona 2.....	36
Figuras de Classificação	36
Áreas Não Classificadas	38
Classificação de Ambientes com Poeira Inflamável	39
Zona 20.....	39
Zona 21.....	39
Zona 22.....	39
Equipamentos Elétricos.....	40
Grau de Proteção.....	40
Primeiro Dígito Característico.....	41
Segundo Dígito Característico.....	42
Letra Adicional	44
Letra Suplementar.....	44
Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas.....	45
Tipos de Proteção	45
Prova de Explosão – Ex d	45
Principais Aplicações	46
Segurança Aumentada – Ex e.....	47
Principais Aplicações	47
Equipamento Imerso em Óleo – Ex o.....	48
Principais Aplicações	48
Equipamento Pressurizado – Ex p	48

Principais Aplicações	48
Equipamento Imerso em Areia – Ex q	49
Principais Aplicações	49
Equipamento Encapsulado em Resina – Ex m	49
Principais Aplicações	49
Equipamento Não-Acendível – Ex n	49
Principais Aplicações	50
Equipamento com Proteção Especial – Ex s	50
Equipamentos de Segurança Intrínseca – Ex i	50
Principais Aplicações	51
Energia de Ignição	51
Limitador de Corrente	53
Limitador de Tensão	54
Armazenadores de Energia	54
Circuitos à Prova de Falhas	55
Resumo	55
Marcação em equipamentos Ex	56
Manutenção e Inspeção em áreas classificadas	57
Exemplos de Inspeção e Manutenção	57
Inspeção em Instalações Ex i	57
Motores Trifásicos	58
Anexo	61
Referencias	65

Áreas Classificadas

Áreas classificadas são espaços ou regiões tridimensionais nas quais a probabilidade da presença de uma atmosfera explosiva exige que sejam tomadas precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos elétricos, conforme a figura 1 a seguir:



Figura 1 - Simbologia para Áreas Classificadas. a) Simbologia para área; b) Simbologia para equipamento.

Atmosfera Explosiva

Atmosfera explosiva é a mistura do ar com substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, poeira ou fibra, na qual, após a ignição, ocorre a explosão.

O triângulo de fogo indica os três elementos que precisam existir para gerar uma explosão e basta retirar um dos elementos para que a área esteja segura, conforme a figura 2 a seguir

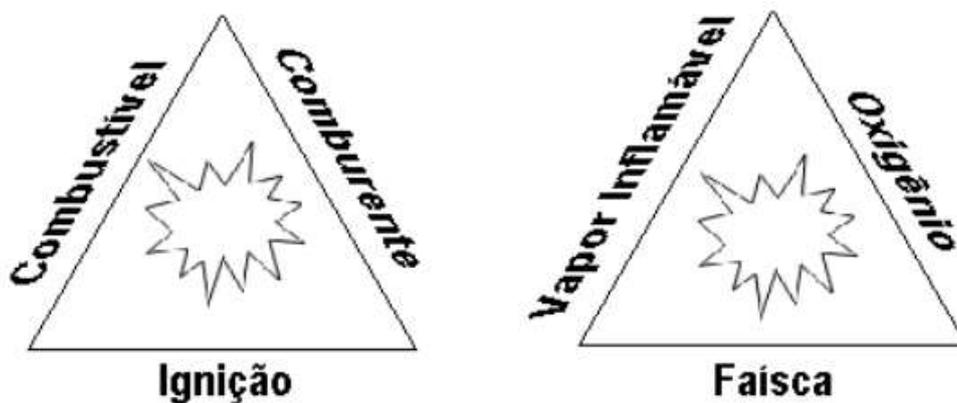


Figura 2 - Triângulo de Fogo.



Em instalações petroquímicas e usinas pode-se considerar:

Combustível → Hidrocarboneto

Comburente → Oxigênio

Ignição → Equipamento Elétrico/Eletrônico (fonte de faísca ou alta temperatura)

Características das Substâncias Inflamáveis

As atmosferas explosivas são formadas em ambientes onde há gás, vapor, poeira ou fibra inflamável. Se a substância inflamável estiver no estado líquido, é necessário que ela mude para o estado gasoso para formar uma atmosfera explosiva. Essa mudança de estados, do líquido para o gasoso, é chamada de evaporação.

Coeficiente de Evaporação

Indica o tempo necessário para que um líquido evapore completamente sem deixar resíduo. Os valores desses coeficientes são dados em relação ao éter (coeficiente de evaporação = 1). Esse valor varia de acordo com a temperatura e a pressão do vapor.

Densidade Relativa de Gás ou Vapor

Densidade de um gás ou vapor relativamente à densidade do ar, nas mesmas condições de pressão e temperatura, considerando-se a densidade do ar igual a 1,0.

A maior parte dos gases inflamáveis é mais densa que o ar e por isso ocupam grandes espaços próximos ao chão quando em locais com ventilação inadequada.

Exceção de gases menos densos que o ar: Hidrogênio, Metano, Amônia, Acetileno e Eteno.

Ponto de Fulgor (Flash Point)

É a menor temperatura de um líquido à qual ele libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável.

Nessa temperatura a quantidade de vapor não é capaz de manter a combustão. Ocorre apenas uma rápida chama (flash).

O ponto de fulgor de um líquido pode ser alterado através da adição de outros materiais. A mistura de líquidos não inflamáveis tem o objetivo de aumentar o ponto de fulgor de uma substância inflamável.

Ponto de Ignição, Combustão ou Inflamação

É a menor temperatura de um líquido à qual ele libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável capaz de queimar continuamente acima do líquido quando inflamada por uma fonte externa.

Energia de Ignição, Combustão ou Inflamação

É a energia mínima que deve ser fornecida por uma chama, centelha elétrica ou fonte de calor à uma mistura combustível para que esta possa iniciar a combustão.

Limite Inferior de Inflamabilidade

É a mínima concentração na qual a mistura se torna inflamável, ou seja, abaixo dessa concentração não é formada uma atmosfera gasosa explosiva.

Abaixo desse ponto a mistura de ar e gás ou vapor inflamável é chamada de mistura pobre.

Limite Superior de Inflamabilidade

É a máxima concentração na qual a mistura se torna inflamável, ou seja, a porcentagem de ar da mistura acima desse ponto é tão baixa que ela não se torna inflamável.

Acima deste ponto a mistura de ar e gás ou vapor inflamável é chamada de mistura rica.



Temperatura de Ignição

Temperatura mais baixa de uma superfície aquecida na qual, sob condições especificadas, ocorrerá a ignição de uma substância inflamável na forma de mistura de gás ou de vapor com ar.

Temperatura Máxima de Superfície

Temperatura mais elevada atingida em serviço por qualquer parte ou superfície desse equipamento, mesmo sob as condições de funcionamento mais adversas, dentro dos limites das características nominais do equipamento elétrico.

Como condições de funcionamento mais adversas entende-se sobrecarga ou quaisquer falhas previstas na norma específica para o tipo de proteção envolvido.

Fontes de risco

Os elementos básicos para se definir as áreas classificadas consistem na identificação das fontes de risco e na determinação do grau destas fontes.

Considerando que uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis somente pode existir se um gás ou vapor estiver presente com o ar, é necessário avaliar se algum destes materiais inflamáveis pode existir na área considerada.

De maneira geral, tais gases e vapores (bem como líquidos e sólidos inflamáveis que podem dar origem a estes) estão contidos em equipamentos de processo que podem ou não estar totalmente fechados. É necessário identificar quando uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis pode estar presente no interior de uma planta de processo, ou quando a liberação de materiais inflamáveis pode criar uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis externamente à planta de processo.

Cada tipo de equipamento do processo (por exemplo, tanques, bombas, tubulações, vasos etc.) deve ser considerado uma fonte potencial de risco de liberação de gases inflamáveis. Se não for previsto que o equipamento contenha material inflamável, este claramente não criará uma área classificada ao seu redor.

O mesmo se aplica se o equipamento contiver material inflamável, mas não seja capaz de liberar esse material para a atmosfera (por exemplo, uma tubulação totalmente soldada não é considerada uma fonte de risco).

Se for estabelecido que o equipamento possa liberar material inflamável para a atmosfera, é necessário, em primeiro lugar, determinar o grau de risco de liberação de acordo com as definições, estabelecendo a frequência de ocorrência e a duração da liberação. Necessita ser entendido que a abertura de partes de sistemas de processo fechados (por exemplo, durante a substituição de filtros ou enchimento em processos por batelada) necessita também ser considerada como fontes de risco, quando da elaboração da classificação de áreas.

Por meio deste procedimento, cada fonte de risco deve ser classificada como grau “contínuo”, “primário” ou “secundário”.

Tendo sido estabelecido o grau da fonte de risco, é necessário determinar a taxa de liberação e outros fatores que podem influenciar o tipo e a extensão da zona.

Se a quantidade total de material inflamável possível de ser liberado for “pequena”, por exemplo, caso de um laboratório, apesar de um risco potencial poder existir, pode não ser adequado utilizar esse procedimento de classificação de áreas. Em tais casos, as considerações devem levar em consideração as particularidades dos riscos envolvidos.

A classificação de áreas de equipamentos de processos nos quais o material inflamável é queimado, como por exemplo, queimadores, fornos, caldeiras, turbinas a gás, etc., necessita ser levado em consideração as suas etapas de ciclo de purga e condições de partida e de parada.

Névoas que possam ser formadas devido a vazamentos de líquidos podem ser inflamáveis mesmo se a temperatura do líquido estiver abaixo do ponto de fulgor. É importante, desta forma, assegurar que nuvens de névoas não possam ser formadas.

Enquanto névoas são identificadas como uma forma de risco, os critérios de avaliação utilizados nesta Norma para gases e vapores podem não ser aplicáveis para névoas.

Devemos observar que enquanto névoas são identificadas como uma forma de risco, os critérios de avaliação utilizados nesta Norma para gases e vapores podem não ser aplicáveis para névoas.

Tipo de zona

A probabilidade de presença de uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis depende principalmente do grau da fonte de risco e da ventilação. Isto é identificado como uma zona. Zonas são classificadas como: zona 0, zona 1, zona 2 e áreas não classificadas.

Devemos observar que uma fonte de risco de grau contínuo normalmente leva a uma zona 0, uma fonte de risco de grau primário a uma zona 1 e uma fonte de risco de grau secundário a uma zona 2 e

Também observamos que quando zonas criadas por fontes de risco adjacentes que possuem sobreposição e são de diferentes classificações, a maior classificação de risco deve prevalecer na

área de sobreposição. Nos locais de interseção de zonas de mesma classificação, esta classificação comum deve ser normalmente adotada.

Extensão de zonas

A extensão de zonas depende da distância estimada ou calculada sobre a qual uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis exista antes que esta possa dispersar no ar para uma concentração abaixo do seu limite inferior de explosividade, com um fator apropriado de segurança. Para a avaliação da extensão da área do gás ou vapor até o ponto no qual a diluição atinja um valor abaixo do seu limite inferior de explosividade, é recomendado que seja feita uma consulta a um especialista. Considerações necessitam ser sempre realizadas sobre a possibilidade de que um gás que seja mais pesado do que o ar possa fluir para o interior de área abaixo do nível do solo (por exemplo, em poços ou depressões) e que um gás que seja mais leve do que o ar possa ser acumulado em um nível superior (por exemplo, no espaço sob um telhado).

Nos locais onde a fonte de risco esteja situada fora da área sob consideração ou em uma área adjacente, a penetração de uma quantidade significativa de gás ou vapor inflamável para esta área pode ser evitada por meios adequados, tais como:

- a) barreiras físicas;
- b) manutenção de uma sobre pressão adequada na área em relação à área classificada adjacente, desta forma evitando o ingresso da atmosfera explosiva de gás;
- c) 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 da zona é principalmente afetada pelos seguintes parâmetros químicos e físicos, alguns dos quais são propriedades intrínsecas do material inflamável; outros são específicos do processo. Por simplicidade, o efeito de cada parâmetro indicado abaixo considera que os outros parâmetros permaneçam inalterados.

Taxas de liberação de gás ou vapor

Quanto maior for a taxa de liberação do material inflamável, maior será a extensão da área classificada. A taxa de liberação depende dos seguintes parâmetros:

a) **Geometria da fonte de risco**

Isto está relacionado com as características físicas da fonte de risco, por exemplo, uma superfície aberta, o vazamento de flange, etc.

b) **Velocidade de liberação**

Para uma dada fonte de risco, a taxa de liberação aumenta com a velocidade de liberação. No caso de um produto contido dentro de um equipamento de processo, a velocidade de liberação está relacionada com a pressão de processo e com a geometria da fonte de risco. O tamanho de uma nuvem de gás ou vapor inflamável é determinado pela taxa de liberação de vapor inflamável e pela taxa de dispersão. Gás ou vapor fluindo de um vazamento com alta velocidade irá desenvolver um jato em forma de cone que se mistura com o ar e se autodilui. A extensão da atmosfera explosiva de gás é quase sempre independente da velocidade do vento. Se o material for liberado a baixa velocidade ou se a sua velocidade for reduzida pela colisão com um objeto sólido, o material inflamável é carregado pelo vento e sua diluição e extensão dependerão desta velocidade do vento.

c) **Concentração**

A taxa de liberação aumenta com a concentração de gás ou vapor inflamável na mistura liberada.

d) **Volatilidade de um líquido inflamável**

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.

Não existe uma atmosfera explosiva de gás se o ponto de fulgor for superior à temperatura aplicável do líquido inflamável. Quanto mais baixo for o ponto de fulgor, maior pode ser a extensão da zona. Entretanto, se um material inflamável for liberado de modo a formar uma névoa, (por exemplo, por pulverização), uma atmosfera explosiva de gás pode ser formada abaixo do ponto de fulgor do material.

Também observamos que os valores do ponto de fulgor de líquidos inflamáveis não são valores físicos precisos, particularmente no caso onde misturas possam estar envolvidas e que alguns líquidos (por exemplo, certos hidrocarbonetos halogenados) não possuem um valor de ponto de fulgor, embora eles sejam capazes de produzir uma atmosfera explosiva de gás. Nestes casos em que a temperatura de equilíbrio do líquido, que corresponde à concentração de saturação no seu limite inferior de explosividade, necessita ser comparada com a máxima temperatura do líquido existente.

e) **Temperatura do líquido**

Também observamos que a pressão de vapor aumenta com a temperatura, ocasionando o incremento da taxa de liberação devido à evaporação e que a temperatura do líquido, após este ter sido liberado, pode ser aumentada, por exemplo, pela proximidade com uma superfície quente ou por temperatura ambiente elevada.

Outros parâmetros a serem considerados

a) **Condições climáticas**

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. Em áreas de processo obstruídas pela presença de grandes vasos e estruturas, a velocidade do movimento do ar pode ser substancialmente menor do que a velocidade do vento; apesar disto, a obstrução do movimento do ar por equipamentos tende a manter uma turbulência mesmo em baixas velocidades de vento.

Observamos que para uma velocidade do vento de 0,5 m/s é considerada como sendo apropriada para determinar a taxa em que a ventilação em um ambiente externo dilui uma liberação inflamável. Este valor inferior de velocidade do vento é apropriado para este propósito, de forma a manter uma abordagem conservativa, mesmo sendo reconhecido que a tendência de acumulação em camadas poder comprometer o cálculo.

Também observamos que nos casos práticos, a tendência de acumulação em camadas não é levada em consideração na classificação de áreas, porque as condições que propiciam o aumento desta tendência são raras e ocorrem somente durante curtos períodos. No entanto, se períodos prolongados de baixa velocidade do vento são esperados para o caso específico, então é necessário que a extensão da zona requeira uma distância adicional para ocorrer a dispersão.

b) **Topografia**

Alguns líquidos são menos densos do que a água e não são prontamente miscíveis com esta: tais líquidos podem se espalhar na superfície da água (se esta estiver acima do nível do solo, em sistemas de drenagem da planta ou em trincheiras de tubulações) e pode então causar a ignição em um ponto afastado do derramamento original, colocando em risco uma grande área da instalação. O arranjo das instalações da planta, quando possível, necessita ser projetado para facilitar a rápida

dispersão da atmosfera explosiva de gás. Uma área com ventilação restrita (por exemplo, valas ou trincheiras) que poderiam de outra forma ser uma área de zona 2, pode requerer classificação como zona 1; por outro lado, depressões de grandes dimensões utilizadas em sistemas de bombeamento ou galerias de tubulações, podem não requerer tal rigor no seu tratamento.

Grau de Risco

Para avaliar o grau de risco que uma instalação está sujeita deve-se:

- ✓ Identificar o tipo de substância inflamável que pode estar presente: classificar quanto ao grupo, classe de temperatura;
- ✓ Identificar as fontes geradoras de risco, ou seja, as partes do processo onde há possibilidade de liberação de material inflamável para o meio externo, tais como: flanges, válvulas, acessórios de tubulação, etc.
- ✓ As condições ambientais: temperatura, altitude, ventilação, etc.
- ✓ Calcular a concentração no ambiente, taxa de emissão, etc.

Proteção Primária

A proteção primária consiste em eliminar a atmosfera explosiva de gás ao redor das fontes de ignição (equipamentos elétricos / eletrônicos / automação) ou eliminar a fonte de ignição.

Os métodos primários para evitar a formação de atmosfera explosiva são:

- ✓ **Eliminação das Substâncias Inflamáveis**: se a substância inflamável utilizada no processo pode ser substituída por uma não inflamável, deve ser preferida a substância não inflamável.
- ✓ **Limitação da Concentração**: manter a concentração da atmosfera explosiva sempre abaixo do limite inferior de inflamabilidade ou acima do limite superior de inflamabilidade. Para maior segurança. Para gases e vapores a concentração deve ficar abaixo do limite inferior de inflamabilidade e para poeiras inflamáveis, que são difíceis de diminuir a concentração no ambiente, é mais prático deixar a concentração da atmosfera acima do limite superior de inflamabilidade.
- ✓ **Aumento do Ponto de Fulgor**: aumentar o ponto de fulgor das substâncias explosivas acima da temperatura ambiente e de trabalho.

- ✓ **Inertização**: limitar a concentração de ar no ambiente. Pode ser feito com a adição de gases inertes como o Nitrogênio ou o vapor d'água.
- ✓ **Ventilação**: quando a ventilação não é natural (locais a céu aberto ou sem obstáculos) pode-se evitar a formação da atmosfera explosiva usando ventilação artificial (aberturas, dutos, ventiladores, difusores).

Quando não é possível evitar a formação da atmosfera explosiva ao redor da fonte de ignição, torna-se necessário eliminar as próprias fontes de ignição. Para isso devem ser usados equipamentos e procedimentos especiais, que serão apresentados mais à frente.

Ventilação em Áreas Classificadas

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

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

Ventilação Natural

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

A ventilação natural também pode ser efetiva em alguns casos de ambientes internos.

Em prédios situados acima do solo sem nenhuma abertura especial para a entrada e saída de ar, no mínimo há uma troca de ar por hora, isto é, o ar nesses ambientes é trocado uma vez a cada hora influenciado apenas pelas correntes de convecção. Para ambientes tipo porão (abaixo do solo), apenas 0,4 trocas de ar por hora é esperada nesses locais, uma vez que há menor convecção. Se

forem instaladas aberturas para a entrada e saída do ar, esses valores podem ser aumentados para cerca de o dobro. Se ocorrer menos de uma troca de ar por hora, o ambiente é considerado não ventilado.

Pode-se citar como exemplos de ventilação natural:

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

Ventilação Artificial

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

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

A ventilação artificial de uma área pode ser do tipo geral ou local e, para ambos os casos, podem ser apropriados diferentes graus de movimentação e de renovação de ar.

Conforme ABNT, com a utilização de ventilação artificial é possível a obtenção de:

- Redução do tipo e/ou extensão das zonas;
- Diminuição do tempo de persistência de uma atmosfera explosiva de gás;
- Prevenção da formação de uma atmosfera explosiva de gás. Novamente conforme ABNT, atendendo a considerações de projeto, um sistema de ventilação artificial para a proteção contra explosão necessita atender aos seguintes requisitos:

- Sua efetividade necessita ser controlada e monitorada;
- Deve-se levar em consideração a classificação de áreas no interior do sistema de exaustão, imediatamente no lado externo do seu ponto de descarga e outras aberturas deste sistema de exaustão;
- Para ventilação de uma área classificada, o ar necessita ser normalmente captado de uma área não classificada; conforme a mesma citada, deve-se notar a influência dos seguintes fatores na qualidade de um sistema de ventilação artificial:
- Os gases e vapores inflamáveis geralmente possuem densidades diferentes da densidade do ar, desta forma estes tendem a se acumular próximo ao teto ou piso em uma área fechada, onde o movimento do ar é geralmente reduzido
- Mudanças de densidade do gás com a temperatura;
- Barreiras e obstáculos podem causar a redução ou até mesmo impedir movimento do ar, isto é, podem causar a não ventilação em certas partes da área;
- Turbulência e padrões de circulação de ar. A ABNT, ainda apresenta como exemplos de ventilação artificial geral:
- Uma edificação dotada de ventiladores nas paredes e/ou teto, com o objetivo de melhorar a ventilação geral da edificação;
- Uma situação de ambiente aberto, provido com ventiladores adequadamente localizados, com o objetivo de melhorar a ventilação geral da área.
- A mesma citada apresenta como exemplos de ventilação artificial localizada:
- Um sistema de exaustão de ar/vapor aplicado a um equipamento de processo que continuamente ou periodicamente libera vapor inflamável;
- Um sistema de ventilação ou exaustão forçada aplicado a uma área específica, pequena e com ventilação local, onde é previsto que uma atmosfera explosiva de gás possa ocorrer em caso de ausência deste sistema de ventilação.

Graus de Ventilação

A efetividade da ventilação em controlar a dispersão e a persistência da atmosfera explosiva de gás depende do grau e da disponibilidade da ventilação e do projeto do sistema.

Por exemplo, a ventilação pode não ser suficiente para evitar a formação de uma atmosfera explosiva de gás, mas pode ser suficiente para evitar a sua persistência (ABNT).

Conforme ABNT, são reconhecidos os três graus de ventilação a seguir:



Ventilação Alta (VA)

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

Ventilação Média (VM)

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

Ventilação Baixa (VB)

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

Avaliação do Grau de Ventilação

Seria simplista dizer que um grau de liberação contínuo conduziria à Zona 0, um grau primário à Zona 1 e um grau secundário à Zona 2. Isto pode não ser verdade devido ao efeito da ventilação.

Em alguns casos, o grau e disponibilidade da ventilação poderão ser tão altos, que na prática não haverá área classificada. Do mesmo modo, o grau de ventilação pode ser tão baixo que resulte num grau mais severo da Zona (por exemplo, Zona 1 resultante de uma fonte secundária de liberação). Isto ocorre por exemplo quando o nível de ventilação é tal que a atmosfera explosiva persiste e é dispersada muito lentamente após a fonte de liberação ter cessado.

O volume V_z pode ser usado para classificar a ventilação como alta, média ou baixa. O tempo de persistência t pode ser usado para decidir qual grau de ventilação é requerido para uma área de forma a atender às definições de Zona 0, 1 ou 2.

A ventilação pode ser considerada alta se Vz for pequeno ou próximo de zero. O termo “ventilação alta” deve ser empregado apenas nos casos de ventilação artificial em torno da fonte, em pequenas áreas fechadas ou com taxas de liberação muito baixas.

Deve ser enfatizado que numa área fechada pode haver muitas fontes de liberação. Não é conveniente ter muitas pequenas áreas classificadas dentro de uma área não-classificada.

Também deve ser visto que com as taxas de liberação típicas consideradas para classificação de áreas, a ventilação natural é insuficiente até mesmo em áreas abertas.

Portanto, é normalmente impraticável ventilar artificialmente áreas fechadas de grande extensão nas taxas requeridas.

O volume Vz não dá uma ideia do tempo que uma atmosfera explosiva persiste após cessar a liberação. Isto não é relevante para casos de alta ventilação, mas é um fator a considerar se a ventilação for baixa ou média.

Estimativa do Volume Hipotético (Vz)

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

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

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

Equação (1)

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$



Onde:

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

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

LIE é o limite inferior de explosividade (em massa por volume, kg/m^3);

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

Nota: Para converter o LIE (em %) para LIE_m (em kg/m^3) utilizar a seguinte fórmula:

Equação (2)

$$LIE_m \text{ (em } kg/m^3) = 0,416 \times 10^{-3} \times M \times LIE \text{ (em \%)}$$

Onde: M = massa molecular (kg/mol)

Com um dado número de trocas de ar por unidade de tempo C , relacionada à ventilação geral da área, o hipotético volume V_z de uma atmosfera explosiva em torno da fonte da liberação pode ser estimado usando-se a fórmula:

Equação (3)

$$V_z = \frac{(dV/dt)_{min}}{K \times C}$$

Onde:

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

C número de trocas de ar por unidade de tempo (s^{-1})

k fator de segurança: 0,25 para fontes de risco de grau contínuo e primário; 0,5 para fontes de risco de grau secundário.

A fórmula anterior seria aplicável para uma instantânea e homogênea mistura no ponto de liberação, com condições ideais de fluxo de ar fresco. Na prática, tais situações poderão não ser encontradas, por exemplo, devido a obstáculos ao fluxo de ar, resultando em partes mal ventiladas na região.

Portanto, a troca efetiva de ar na fonte da liberação será mais baixa do que a dada por C na fórmula



(5), levando a um aumento no volume V_z . Introduzindo-se um fator de correção f na fórmula anterior, resulta em:

Equação (4)

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{K \times C}$$

onde:

- f** denota a eficiência da ventilação em dissolver uma atmosfera explosiva, e varia de 1 (ideal) até 5 (fluxo de ar impedido).
- V_z** representa um volume sobre o qual a concentração média de gás inflamável ou vapor será 0,25 ou 0,5 vezes o LIE, dependendo do valor do fator de segurança k usado em (3). Isto significa que nas extremidades do volume hipotético estimado, a concentração do gás ou vapor será significativamente menor que o LIE; isto é, o volume hipotético onde a concentração estará acima do LIE será menor que V_z .

Para uma área fechada, C é dado por:

Equação (5)

$$C = \frac{(dV_{tot}/dt)}{V_o}$$

Onde:

- dV_{tot}/dt vazão total de ar;
- V_o volume total ventilado.

Em áreas abertas, até mesmo baixas velocidades de vento produzem alto número de trocas de ar. Consideremos um cubo hipotético com dimensões de poucos metros numa área aberta. Neste caso uma velocidade de 0,5 m/s produzirá um número de trocas de ar maior que 100/h (0,03/s)

Numa aproximação conservativa, usando-se então $C = 0,03/s$ para situação de área aberta, o volume V_z poderá ser obtido pela fórmula:



Equação (6)

$$V_z = \frac{(dV/dt)_{min}}{0,03}$$

Porém devido à mecânica de dispersão, este método resultará em volume sobre dimensionado. A dispersão geralmente é mais rápida na condição de área aberta.

Tempo de persistência

O tempo t necessário para uma concentração média cair de um valor inicial X_0 para o LIE multiplicada por k após a liberação ter cessado pode ser estimada por :

Equação (7)

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$

Onde:

- X_0** concentração inicial da substância inflamável medida na mesma unidade do LIE. Em algum ponto da atmosfera explosiva, a concentração poderá atingir 100 %. Entretanto, ao calcular t , o adequado valor para X_0 a ser considerado dependerá de cada caso, considerando-se entre outros, o volume assim como a frequência e duração da liberação. Na maioria dos casos é razoável considerar X_0 acima do LIE;
- C** é o número de trocas de ar por unidade de tempo;
- t** é expresso na mesma unidade de tempo que C , ou seja, se C for número de trocas de ar por segundo, então o tempo t é dado em segundos;
- f** fator de não-homogeneização da mistura - veja fórmula (4) - variando de 5 para ventilação limitada (por exemplo, com uma única abertura de exaustão), até 1 (por exemplo, ventilação entrando num teto perfurado e múltiplos exaustores);
- \ln** é o logaritmo natural, e
- k** fator de segurança relacionado com o LIE – ver fórmula (4).

Estimativa do Grau de Ventilação

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

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

Ventilação Alta (VA)

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

Conforme ABNT, as condições acima são aplicadas normalmente quando V_z é menor que $0,1 \text{ m}^3$ ou menor que 1% de V_0 , o que for menor. Na prática, a ventilação alta pode geralmente ser aplicada somente a um local onde um sistema artificial de ventilação circunda uma fonte de risco para pequenas áreas fechadas ou no caso de taxas de liberação muito pequenas.

Ventilação Baixa (VB)

A ventilação necessita ser considerada como baixa (VB) se V_z exceder V_0 . Ventilação baixa não ocorre, geralmente, em situações de ambientes abertos, exceto quando existirem restrições para o fluxo de ar, como, por exemplo, em depressões (ABNT).

Ventilação Média (VM)

Se a ventilação não for alta (VA) nem baixa (VB), então esta deve ser considerada como média (VM). Normalmente V_z é menor ou igual a V_0 . A ventilação considerada como média necessita ser capaz de controlar a dispersão da liberação do vapor ou gás inflamável. O tempo necessário para dispersar uma atmosfera explosiva de gás influencia o tipo da zona e o volume V_z comparado ao volume V_0 irá

influenciar a extensão da área classificada (ABNT).

Disponibilidade de Ventilação

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

De acordo com ABNT, três níveis de disponibilidade de ventilação necessitam ser considerados:

- Boa: ventilação está presente praticamente de modo contínuo;
- Satisfatória: espera-se que ventilação esteja presente sob condições normais de operação. Descontinuidades são admitidas desde que estas ocorram esporadicamente e por curtos períodos;
- Pobre: ventilação que não atende ao padrão de ventilação satisfatória ou boa, mas não se espera que descontinuidades ocorram por longos períodos.

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

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

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

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

		Ventilação					
		Grau					
		Alto		Médio		Baixo	
		Disponibilidade					
Grau da fonte de risco							
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, satisfatória ou pobre
Contínuo	(Zona 0 ED) Não classificada ^a	(Zona 0 ED) Zona 2 ^a	(Zona 0 ED) Zona 1 ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primário	(Zona 1 ED) Não classificada ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	(Zona 1 ED) Zona 2 ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 ou zona 0 ^c
Secundário ^b	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	(Zona 2 ED) Não classificada ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e mesmo Zona 0 ^c

Nota 1 "+" significa "envolvida por".
 Nota 2 "ED" significa "extensão desprezível".

^a Zona 0 ED, 1 ED ou 2 ED indica uma zona teórica que seria de extensão desprezível sob condições normais
^b A zona 2 criada por uma fonte de risco de grau secundário pode exceder aquelas atribuídas à fonte de risco de grau primário ou contínuo; neste caso, a maior distância necessita ser considerada.
^c Será zona 0 se a ventilação for tão fraca e a liberação for tal que na prática uma atmosfera explosiva de gás exista praticamente de modo contínuo (ou seja: aproxima-se à condição de "não ventilado").



Exemplos de Cálculo

A seguir vamos apresentar alguns exemplos de cálculo com a finalidade de ser averiguado o grau de ventilação.

Exemplo 1

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável: Vapor de Tolueno
Fonte de Risco: flange na entrada de compressor
LIE: 0,046 kg/m³ (1,2% vol)
Grau da fonte de risco: contínuo
Fator de segurança k: 0,25
Valor de (dG/dt)_{max} : 0,001 g/h (2,8x10⁻¹⁰ kg/s)

Características de Ventilação:

Ambiente interno
Número de troca de ar, C: 1/h, (2,8x10⁻⁴/s)
Fator de qualidade: 5
Temperatura ambiente: 20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1

Cálculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{2,8 \times 10^{-10}}{0,25 \times 0,046} \times \frac{293}{293} = 2,8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$V_z = \frac{5 \times 2,8 \times 10^{-8}}{2,8 \times 10^{-4}} = 4,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tempo de Persistência:

Não é aplicado a fonte de risco de grau contínuo.



Conclusão:

O volume hipotético V_z é considerado desprezível.
O grau de ventilação é considerado ALTO, em relação a fonte de risco.

Exemplo 2

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável: Vapor de Tolueno
Fonte de Risco: falha no flange
LIE: $0,046 \text{ kg/m}^3$ (1,2% vol)
Grau da fonte de risco: secundário
Fator de segurança k: 0,5
Valor de $(dG/dt)_{\max}$: 10 g/h ($2,8 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$)

Características de Ventilação:

Ambiente interno
Número de troca de ar, C: $1/\text{h}$, ($2,8 \times 10^{-4}/\text{s}$)
Fator de qualidade: 5
Temperatura ambiente: 20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K): 1

Cálculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{0,5 \times 0,046} \times \frac{293}{293} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C}$$

$$V_z = \frac{5 \times 1,2 \times 10^{-4}}{2,8 \times 10^{-4}} = 2,2 \text{ m}^3$$

Tempo de Persistência:

Usando a Equação (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$



$$t = \frac{-5}{1} \ln \frac{1,2 \times 0,5}{100} = 25,6 \text{ horas}$$

Conclusão:

O volume hipotético V_z é significativo, mas pode ser controlado.

O grau de ventilação é considerado MÉDIO, em relação a fonte de risco.

Exemplo 3

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável:	Propano
Fonte de Risco:	braço de carregamento
LIE:	0,039kg/m ³ (2,1% vol)
Grau da fonte de risco:	primário
Fator de segurança k:	0,25
Valor de $(dG/dt)_{max}$:	0,005 kg/s

Características de Ventilação:

Ambiente interno	
Número de troca de ar, C:	20/h, (5,6x10 ⁻³ /s)
Fator de qualidade:	1
Temperatura ambiente:	35°C (308K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K):	1,05

Calculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{0,005}{0,25 \times 0,039} \times \frac{308}{293} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$V_z = \frac{1 \times 0,6}{5,6 \times 10^{-3}} = 1,1 \times 10^2 \text{ m}^3$$

Tempo de Persistência:

Usando a Equação (7):



$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$

$$t = \frac{-5}{20} \ln \frac{2,1 \times 2,5}{100} = \mathbf{0,26 \text{ horas}}$$

Conclusão:

O volume hipotético V_z é significativo, mas pode ser controlado.

O grau de ventilação é considerado MÉDIO, em relação a fonte de risco. O conceito de Zona 1 pode não ser adequado se a operação tiver uma frequência elevada.

Exemplo 4

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável:	Amônia (gás)
Fonte de Risco:	evaporador da válvula
LIE:	0,105kg/m ³ (14,8% vol)
Grau da fonte de risco:	secundário
Fator de segurança k:	0,5
Valor de $(dG/dt)_{max}$:	5 x 10 ⁻⁶ kg/s

Características de Ventilação:

Ambiente interno	
Número de troca de ar, C:	15/h, (4,2x10 ⁻³ /s)
Fator de qualidade:	1
Temperatura ambiente:	20°C (293K)
Coeficiente de Temperatura (T/293K):	1

Cálculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{5 \times 10^{-6}}{0,5 \times 0,105} \times \frac{293}{293} = \mathbf{9,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$



$$V_z = \frac{1 \times 9,5 \times 10^{-5}}{4,2 \times 10^{-3}} = 0,023 \text{ m}^3$$

Tempo de Persistência:

Usando a Equação (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$

$$t = \frac{-1}{15} \ln \frac{14,8 \times 0,5}{100} = 0,17 \text{ horas (10 minutos)}$$

Conclusão:

O volume hipotético V_z é reduzido a um valor desprezível.

O grau de ventilação é considerado ALTO, com relação a fonte de risco.

Exemplo 5

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável:	Propano (gás)
Fonte de Risco:	selo de compressor
LIE:	0,039kg/m ³ (2,1% vol)
Grau da fonte de risco:	secundário
Fator de segurança k:	0,5
Valor de (dG/dt) _{max} :	0,02 kg/s

Características de Ventilação:

Ambiente interno	
Número de troca de ar, C:	2/h, (5,6x10 ⁻⁴ /s)
Fator de qualidade:	5
Temperatura ambiente:	20°C (293K)
Coefficiente de Temperatura (T/293K):	1

Calculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{0,02}{0,5 \times 0,039} \times \frac{293}{293} = 1,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):



$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$V_z = \frac{5 \times 1,02}{5,6 \times 10^{-4}} = \text{aproximadamente } \mathbf{9200 \text{ m}^3}$$

Tempo de Persistência:

Usando a Equação (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_o}$$

$$t = \frac{-5}{2} \ln \frac{2,1 \times 0,5}{100} = \mathbf{11,4 \text{ horas}}$$

Conclusão:

Num ambiente com dimensões: 10 x 15 x 6 m³, por exemplo, a área classificada se estenderia para fora do ambiente e persistiria.

O grau de ventilação é considerado BAIXO, em relação a fonte de risco.

Exemplo 6

Características da Fonte de Risco:

Material inflamável:	Metano (gás)
Fonte de Risco:	falha em acessório de tubulação
LIE:	0,033kg/m ³ (5% vol)
Grau da fonte de risco:	secundário
Fator de segurança k:	0,5
Valor de (dG/dt) _{max} :	1 kg/s

Características de Ventilação:

Ambiente externo	
Velocidade mínima do vento:	aproximadamente 0,5 m/s
Resultante num número de troca de ar, C:	> 3x10 ⁻² /s
Fator de qualidade:	3
Temperatura ambiente:	15°C (288K)
Coefficiente de Temperatura (T/293K):	0,98

Calculo da Vazão Mínima de Ar:

Usando a equação (1):

$$(dV/dt)_{min} = \frac{(dG/dt)_{max}}{K \times LIE} \times \frac{T}{293}$$

$$(dV/dt)_{min} = \frac{1}{0,5 \times 0,033} \times \frac{288}{293} = 59,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do Volume V_z (hipotético):

Usando a equação (4):

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C}$$

$$V_z = \frac{3 \times 59,3}{3 \times 10^{-2}} = 5900 \text{ m}^3$$

Tempo de Persistência:

Usando a Equação (7):

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LIE \times k}{X_0}$$

$$t = \frac{-5}{0,03} \ln \frac{5 \times 0,5}{100} = 370 \text{ segundos (máximo)}$$

Conclusão:

O volume hipotético V_z é significativo, mas pode ser controlado e não persistirá.
O grau de ventilação é considerado MÉDIO, com relação a fonte de risco.

Norma Regulamentadora 10 (NR10)

Essa norma tem força de lei, ou seja, todas as empresas devem segui-la.

A NR10 foi alterada em 2004 incluindo obrigações referentes a equipamentos elétricos em áreas classificadas. As principais exigências para áreas classificadas são:

- 1 – **Identificar** as áreas;
- 2 – **Instalar** equipamentos adequados e certificados;
- 3 – **Inspecionar** continuamente os sistemas eletroeletrônicos;
- 4 – **Treinar** os profissionais que operam esses sistemas eletroeletrônicos.

A NR10 pode ser exemplificada através do triângulo de segurança apresentado conforme a figura 3 a seguir:



Figura 3 - Triângulo de Segurança.

Classificação da Área

A classificação de uma área, ou seja, o cálculo do seu grau de risco, é feita de forma a mapear as áreas onde podem ocorrer misturas inflamáveis. Essa classificação é realizada durante a fase de elaboração da planta da instalação e deve ser elaborado por uma equipe multidisciplinar de profissionais. O projeto deve ser feito de modo que as áreas classificadas tenham a menor extensão possível.

Classificação dos Produtos Inflamáveis

A classificação do ambiente quanto à substância presente nela, conforme as normas API (American Petroleum Institute) e NEC (National Electrical Code) é dada pela tabela 1 e subdivididas em grupos classes I e II para gases com propriedades similares, conforme a tabela2:

Tabela 1 - Classes das Substâncias Inflamáveis.

Classe	I	II	III
Substância	Gases e Vapores	Poeiras	Fibras

Tabela 2 - Grupos das Substâncias Inflamáveis.

Classe	Grupo	Definição
I	A	Gases da família do Acetileno
	B	Butadieno, óxido de Etileno, Hidrogênio ou gases e vapores de risco equivalente ao do Hidrogênio
	C	Eteno, Ciclopropano, Éter Etilico, Etileno ou gases e vapores de risco equivalente
	D	Propano, Acetona, Álcool, Amônia, Benzeno, Butano, Gasolina, Metano, Gás Natural, vapores de vernizes e gases e vapores de risco equivalente
II	E	Pós metálicos combustíveis: Alumínio, Magnésio, ligas de Alumínio ou Magnésio e pós com tamanho de partícula, abrasividade e condutividade com risco similar
	F	Pós carbonáceos combustíveis: pós de carvão, de grafite, de coque e pós que apresentem características similares
	G	Pós combustíveis que não se enquadrem nos grupos E e F: pós de cereais, de plásticos, de produtos químicos. Ex.: açúcar, farinha de trigo, algumas resinas termoplásticas
III	–	Fibras Combustíveis ou material leve flutuante de fácil ignição, mas que não são prováveis de ficar em suspensão no ar em quantidades suficientes para formar mistura explosiva. Ex.: Algodão, juta, milho, cacau e fibras de madeira

A divisão em grupos também significa uma gradação de risco, onde os gases do grupo A são os de maior efeito destruidor e os gases do grupo D os de menor efeito destruidor.

A sequência de risco é, do maior para o menor grau:

A → B → C → D

A norma internacional (IEC - International Electrotechnical Commission) e a brasileira (ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas) não classifica o ambiente em classes, mas em grupos, separados de acordo com os equipamentos elétricos usados.

Grupo I – Equipamentos fabricados para operar em minas subterrâneas;

Grupo II – Equipamentos fabricados para operar em indústrias de superfície.

O grupo II é dividido em 3 subgrupos, de acordo com a periculosidade do gás. A tabela a seguir mostra a comparação entre a classificação dos gases segundo as normas americanas e internacionais, conforme a tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Comparativo entre as normas IEC e NEC

	Grupo do Acetileno	Grupo do Hidrogênio	Grupo do Eteno	Grupo do Propano	Gases de Minas (Metano)
API/NEC	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	-
ABNT/IEC	Grupo IIC	Grupo IIC	Grupo IIB	Grupo IIA	Grupo I

Os equipamentos elétricos utilizados em áreas classificadas com substâncias Classe 1 (gases e vapores) recebem marcação de acordo com sua temperatura máxima de superfície, conforme a tabela 4:

Tabela 4 - Classificação segundo a Temperatura Máxima de Superfície.

Temperatura Máxima de Superfície (°C)	Número de Identificação (NEC)	Número de Identificação (IEC/ABNT)
450	T1	T1
300	T2	T2
280	T2A	
260	T2B	
230	T2C	
215	T2D	
200	T3	T3
180	T3A	
165	T3B	
160	T3C	
135	T4	T4
120	T4A	
100	T5	T5
85	T6	T6

Classificação dos Ambientes

A classificação em classes e grupos é referente às substâncias presentes na instalação. É necessário também classificar a área quanto ao grau de risco que ela está exposta e à extensão da atmosfera inflamável.

A norma americana contempla duas divisões:

- ✓ **Divisão 1:** Locais com alta probabilidade de presença de mistura inflamável;
- ✓ **Divisão 2:** Locais com baixa probabilidade de presença de mistura inflamável.

Já a norma internacional faz a divisão em Zonas, dividindo as áreas em três zonas:

Zona 0

Área na qual uma atmosfera explosiva de gás, consistindo de uma mistura com ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa é presente por longos períodos ou freqüentemente. Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de presença de atmosfera explosiva é maior que 1000 horas por ano.

As seguintes regiões são consideradas como zona 0:

- ✓ 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 (separador de óleo/água).

Zona 1

Área na qual uma atmosfera explosiva de gás consistindo de uma mistura com ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa pode ocorrer ocasionalmente em condições normais de operação. Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de atmosfera explosiva está entre 10 e 1000 horas por ano.

As regiões consideradas como zona 1 são:

- ✓ Selos de bombas, compressores ou válvulas, se a liberação de material inflamável for esperada de ocorrer durante a operação normal;
- ✓ Pontos de drenagem de água em vasos que contêm os líquidos inflamáveis, que podem liberar o material inflamável para a atmosfera durante a drenagem de água em operação normal;

Zona 2

Área na qual uma atmosfera explosiva de gás consistindo de uma mistura com ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa não é previsto ocorrer em condições normais de operação e, se ocorrer, irá persistir somente por um curto período.

Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de presença de atmosfera explosiva está entre 1 e 10 horas por ano.

As regiões consideradas como zona 2 são:

- ✓ Flanges, conexões e acessórios de tubulação, onde a liberação do material inflamável para a atmosfera não é prevista de ocorrer em condições normais de operação;
- ✓ Selos de bombas, compressores e válvulas onde a liberação de material inflamável para a atmosfera não é prevista de ocorrer em condições normais de operação;
- ✓ Válvulas de alívio, respiros e outras aberturas onde a liberação do material inflamável para a atmosfera não é prevista de ocorrer em condições normais de operação.

A tabela 5 a seguir compara os conceitos de classificação em DIVISÃO e ZONA.

Tabela 5 - Comparativo entre as normas IEC e NEC

	Ocorrência contínua da mistura inflamável	Ocorrência da mistura inflamável durante a operação normal do equipamento	Ocorrência da mistura inflamável durante condições anormais do equipamento
IEC/ABNT	Zona 0	Zona 1	Zona 2
NEC/API	Divisão 1		Divisão 2

Figuras de Classificação

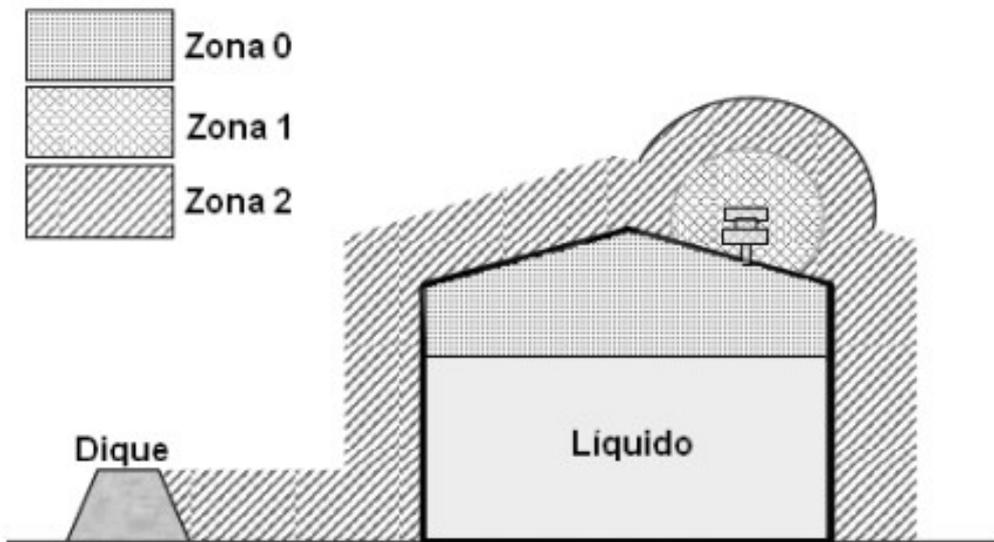


Figura 4 - Tanque de Armazenamento de Líquido Inflamável.

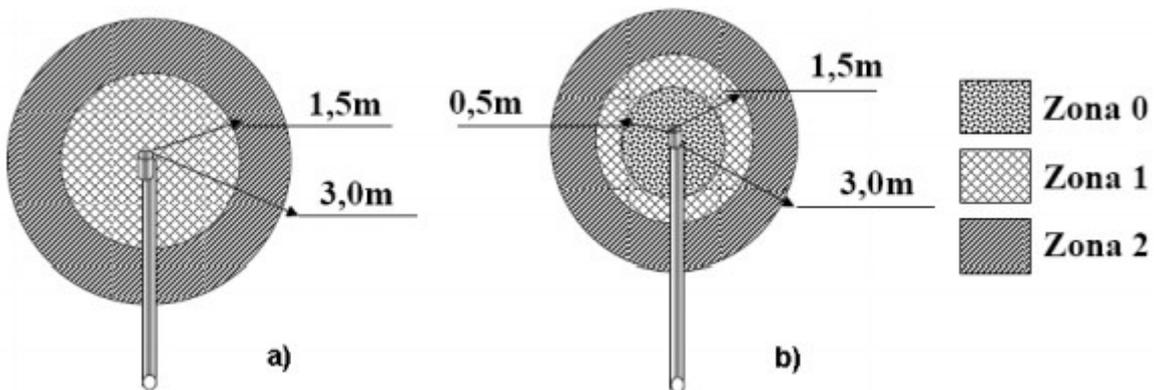


Figura 5 - Respiros de equipamentos localizados em ambientes externos e bem ventilados. a) Respiro não sujeito a descargas contínuas ou por longos períodos; b) Respiro sujeito a descargas contínuas ou por longos períodos.

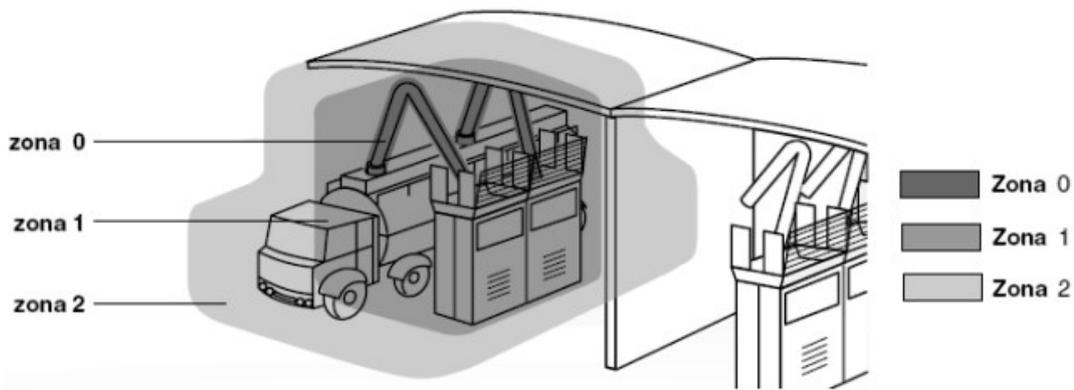


Figura 6 - Unidade de abastecimento.

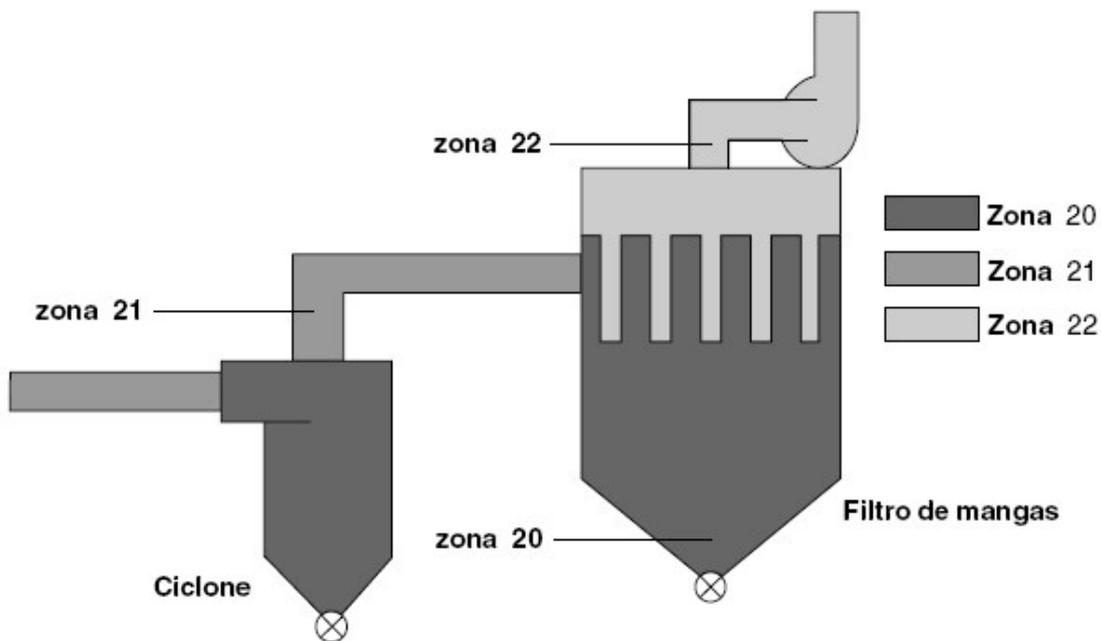


Figura 7 - Ambiente com poeira inflamável.

Áreas Não Classificadas

São locais onde a probabilidade de presença de atmosferas explosivas não é tão frequente (menor que 1 hora por ano), que não exige precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamento elétrico.

Pode-se citar como áreas não classificadas:

- ✓ Áreas adequadamente ventiladas onde as substâncias inflamáveis estão contidas em sistemas de tubulação fechados sujeitos à boa manutenção e nos quais estão incluídos apenas tubos, válvulas, flanges, medidores e acessórios de tubulação;
- ✓ Áreas com ventilação limitada ou impedida onde as substâncias inflamáveis estão contidas em sistemas de tubulação fechados sem válvulas, flanges e acessórios de tubulação;
- ✓ Locais onde os líquidos ou gases inflamáveis estejam armazenados em recipientes adequados e aprovados ou certificados por normas específicas para esse fim;
- ✓ Áreas onde as substâncias inflamáveis são armazenadas e/ou transportadas em recipientes especificamente aprovados para tal fim por entidade certificadora credenciada;
- ✓ Áreas de unidades de transporte ao redor de uma fonte de ignição permanente de origem não elétrica.

Classificação de Ambientes com Poeira Inflamável

Zona 20

Área na qual poeira combustível, na forma de nuvem, está presente contínua ou frequentemente, durante operação normal, em quantidade suficiente para produzir uma concentração explosiva de poeira misturada com o ar. Pode ser também área ou local onde são formadas camadas de poeira de forma incontrolada ou de espessura excessiva.

Exemplos: interior de equipamentos de processos, tais como silos, misturadores e moinhos, na qual a poeira é introduzida ou produzida.

Zona 21

Área na qual poeira combustível, na forma de nuvem, pode ocorrer durante operação normal, em quantidade suficiente para produzir uma concentração explosiva de poeira misturada com o ar.

Exemplo: áreas imediatamente vizinhas aos pontos de esvaziamento e enchimento de pó, como locais de enchimento de sacos (abertos).

Zona 22

Área na qual poeira combustível, na forma de nuvem, pode ocorrer durante curtos períodos de tempo



ou no qual o acúmulo ou depósito de camadas de poeira pode acontecer durante condições anormais de operação em quantidade suficiente para produzir uma concentração explosiva de poeira misturada com o ar.

Exemplo: compartimentos abaixo do solo que necessitam ser abertos ocasionalmente e somente por curtos períodos.

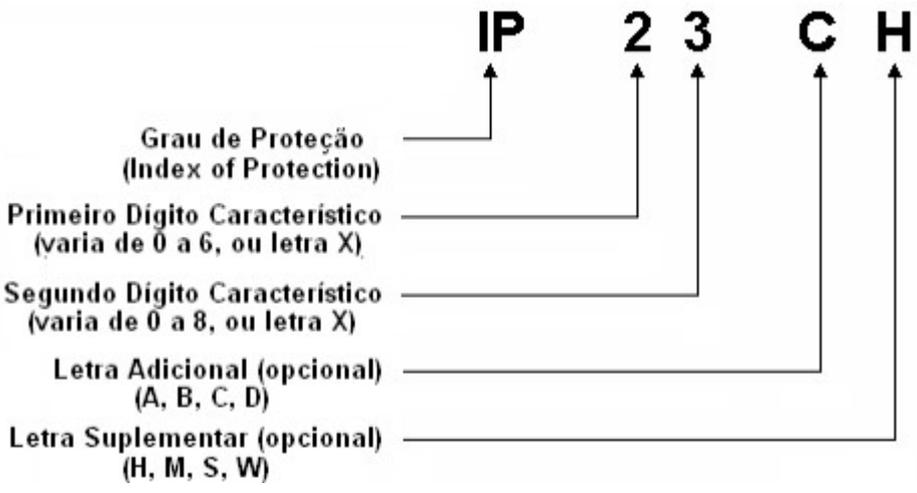
Equipamentos Elétricos

Grau de Proteção

Invólucro do equipamento é o conjunto de paredes que envolvem as partes vivas de um equipamento elétrico, incluindo portas, tampas e entradas de cabos, eixos, hastes e apoios.

O grau de proteção proporcionado pelos invólucros é definido pelas normas NBR6146 e NBR9884. Essas normas não são específicas para equipamentos usados em atmosferas explosivas, mas pode ser considerada uma característica adicional para alguns tipos de proteção.

O grau de proteção trata de medidas aplicadas aos invólucros de equipamentos elétricos para assegurar a proteção de pessoas contra contato ou aproximação com partes vivas e contra contatos com partes em movimento (exceto eixos girantes e similares) dentro do invólucro e proteção do equipamento contra penetração de corpos sólidos estranhos; bem como proteção do equipamento dentro do invólucro contra os efeitos prejudiciais da penetração de água.



A figura 8 a seguir apresenta a simbologia para o grau de proteção.

Quando o primeiro ou o segundo dígito característico é representado pela letra X, significa que esse

numeral foi omitido da especificação.

Primeiro Dígito Característico

O primeiro dígito característico indica a proteção do invólucro do equipamento contra o ingresso de corpos sólidos estranhos ou contra o acesso por de seu interior por partes do corpo humano ou por objetos que uma pessoa esteja segurando, conforme a tabela 6:

Tabela 6 - Primeiro Dígito Característico

Primeiro Dígito Característico	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Corpos que não devem penetrar
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50mm	Uma grande superfície do corpo humano, como o dorso da mão
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12mm	Dedos ou objetos similares (desde que o comprimento seja menor que 80mm)
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5mm	Ferramentas (ex.: chave de fenda), fios e objetos similares
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1,0mm	Fios ou fitas
5	Protegido contra poeira	A poeira pode penetrar em quantidade que não seja suficiente para prejudicar a operação do equipamento
6	Totalmente protegido contra poeira	Nenhuma penetração de poeira

Segundo Dígito Característico

O segundo dígito característico indica o grau de proteção do invólucro quanto aos efeitos danosos causados por ingresso de água, conforme a tabela 7.

Tabela 7 - Segundo Dígito Característico

Segundo Dígito Característico	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Proteção dada
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água	Gotas verticais não devem ter efeitos prejudiciais
2	Protegido contra quedas de gotas d'água para uma inclinação máxima de 15°	Água caindo verticalmente não causa efeitos danosos ao invólucro quando este estiver inclinado em 15° para qualquer lado de sua posição normal
3	Protegido contra água aspergida ou da chuva	Água da chuva fina ou aspergida em ângulo de até 60° em qualquer lado da vertical não causa efeitos danosos ao invólucro
4	Protegido contra projeções d'água	Água respingada de qualquer direção não causa efeitos danosos no invólucro
5	Protegido contra jatos d'água	Água projetada em jatos contra o invólucro em qualquer direção não causa efeitos danosos
6	Protegido contra ondas do mar	Água projetada em jatos potentes contra o invólucro em qualquer direção não causa efeitos danosos
7	Protegidos contra imersão	Não deve ser possível a penetração de água, em quantidades prejudiciais, no interior do invólucro imerso em água, sob condições definidas de tempo e pressão
8	Protegido contra submersão	O equipamento é adequado para submersão contínua em água, nas condições especificadas pelo fabricante.



Letra Adicional

A letra adicional indica o grau de proteção de pessoas contra o acesso a partes perigosas no interior do invólucro. Essa letra só deve ser utilizada se a proteção do aparelho for superior à indicada pelo primeiro dígito característico ou se o primeiro dígito característico for substituído por um X (não mencionado), conforme a tabela 8:

Tabela 8 - Letra Adicional

Letra Adicional	Grau de Proteção	
	Descrição sucinta	Definição
A	Protegido contra o acesso com o dorso da mão	O corpo de prova de acesso, de diâmetro 50mm, deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
B	Protegido contra o acesso de um dedo	O dedo de prova padrão, articulado, de 12mm de diâmetro e 80mm de comprimento, deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
C	Protegido contra o acesso de uma ferramenta	O corpo de prova de acesso de 2,5mm de diâmetro e 100mm de comprimento deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.
D	Protegido contra o acesso de um fio	O corpo de prova de acesso de 1,0mm de diâmetro e 100mm de comprimento deve ficar a uma distância suficiente de partes perigosas.

Letra Suplementar

Para alguns equipamentos é exigida por norma a indicação suplementar quanto ao grau de proteção. As letras suplementares são apresentadas na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 - Letra Suplementar

Letra Suplementar	Grau de Proteção
	Definição
H	Equipamento de alta tensão
M	Ensaiado para verificar a proteção quanto aos efeitos danosos devido à penetração de água, com suas partes móveis em movimento (ex: rotor de uma máquina girante em movimento)
S	Ensaiado para verificar a proteção quanto aos efeitos danosos devido à penetração de água, com suas partes móveis em repouso (ex: rotor de uma máquina girante parado)
W	Invólucro projetado de maneira a ser utilizado dentro de condições atmosféricas especificadas e provido de medidas ou procedimentos complementares de proteção

Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas

Como já dito anteriormente, a forma de acabar com o risco de inflamar uma atmosfera explosiva é eliminar a substância formadora dessa atmosfera ou eliminar as fontes de ignição.

Nesse capítulo serão apresentados equipamentos fabricados para áreas onde não é possível eliminar a substância inflamável, ou seja, equipamentos com proteções que visam eliminar ou separar a fonte de ignição da atmosfera explosiva.

As fontes de ignição podem ter as seguintes origens:

- ✓ **Eletrônica**: sensores, transmissores, circuitos eletrônicos em geral;
- ✓ **Elétrica**: fiações abertas, painéis, contadores, botoeiras, luminárias, etc.
- ✓ **Mecânica**: esteira, elevadores, moinhos, separadores, etc.
- ✓ **Eletrostática**: fricção, rolamento, transferência de líquidos inflamáveis.

Cada tipo de equipamento visa acabar com uma ou mais fontes de ignição e só podem ser a classificado como Ex (atmosfera explosiva) se receber certificação de um órgão licenciado para esse fim.

Tipos de Proteção

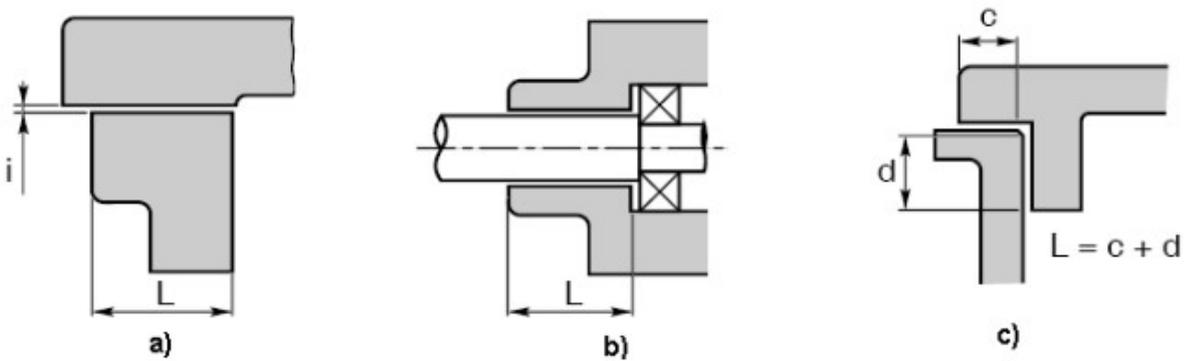
Existem diversas técnicas construtivas aplicadas aos equipamentos elétricos para que estes não sejam a fonte de ignição de uma atmosfera explosiva. Essas técnicas recebem o nome de tipo de proteção e nada impede que um equipamento tenha mais de um tipo de proteção.

Prova de Explosão – Ex d

Tipo de proteção de equipamento elétrico com invólucro capaz de suportar uma pressão de explosão interna sem se romper e não permitir que a explosão se propague para o meio externo.

Esse foi o primeiro tipo de proteção criado. A primeira parte da proteção, ou seja, suportar a explosão interna sem se romper, é feita colocando paredes robustas no equipamento.

Já a barreira para não permitir que a explosão interna se propague para o meio externo é feita através de interstícios dimensionados para resfriar os gases expelidos por uma eventual explosão interna, conforme a figura 9.



Na Figura 9, o interstício máximo de segurança e o comprimento da junta à prova de explosão são representados, respectivamente, pelas letras “i” e “L”.

Esse tipo de equipamento é utilizado em áreas classificadas como zonas 1 ou 2.

Principais Aplicações

A proteção à prova de explosão é aplicada principalmente em equipamentos de potência, como: disjuntores, contadores, equipamentos de controle, motores, transformadores e luminárias, conforme a figura 10.



Figura 10 - Equipamentos Ex à prova de explosão. a) Luminária; b) Condulete; c) Tomada e Plugue; d) Motor.

Segurança Aumentada – Ex e

Tipo de proteção em que medidas construtivas adicionais são aplicadas para aumentar a segurança contra a possibilidade de o equipamento atingir temperaturas excessivas ou de ocorrer arcos e faíscas na parte interna ou externa do equipamento elétrico em condições normais de funcionamento.

Alguns exemplos de medidas construtivas que são implementadas nesses equipamentos são: limitação de aumento de temperatura nos rolamentos de um motor, dupla camada de isolamento no equipamento e aumento do grau de proteção do invólucro.

Esse tipo de equipamento pode ser usado em áreas classificadas como zonas 1 ou 2.

Principais Aplicações

As principais aplicações para a proteção do tipo segurança aumentada são: caixas de terminais, quadros, motores com rotor em gaiola, transformadores para instrumentos e luminárias.



Equipamento Imerso em Óleo – Ex o

Tipo de proteção de equipamento elétrico no qual todo o equipamento ou partes dele estão imersos em óleo, de tal forma que uma atmosfera gasosa explosiva, que pode existir acima da superfície do óleo ou extremamente ao invólucro, não seja inflamada pelo equipamento.

Nem todos os equipamentos imersos em óleo podem ser usados em atmosferas explosivas, somente os certificados para esse fim.

Equipamentos imersos em óleo certificados para atmosfera explosiva podem ser usados em áreas classificadas como zonas 1 ou 2.

Principais Aplicações

A principal aplicação para esse tipo de proteção é em transformadores.

Equipamento Pressurizado – Ex p

O interior do invólucro do equipamento é mantido com pressão superior a atmosférica. Isso faz com que não ocorra contato da mistura inflamável com as partes que possam causar uma ignição.

Para gerar a sobre pressão no interior do invólucro é usado ar não contaminado ou gás inerte.

Esse tipo de proteção pode ser usado em áreas classificadas como zona 1 ou zona 2 e a norma IEC 60079-2 divide-a em três tipos de pressurização, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Tipos de Pressurização

Tipo de Pressurização	Definição
px	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 1 para não classificada ou grupo I para não classificada
py	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 1 para zona 2
pz	Reduz a classificação no interior do invólucro pressurizado de zona 2 para não classificada

Principais Aplicações

As principais aplicações para equipamentos pressurizados são em quadros de distribuição, salas de controle e geradores.

Equipamento Imerso em Areia – Ex q

As partes do equipamento capazes de inflamar uma atmosfera potencialmente explosiva são fixos em posição e completamente circundados por areia ou outro material sob forma de pó.

Esse tipo de proteção não impede que a atmosfera explosiva entre em contato com o interior do equipamento, mas o pequeno volume livre no material isolante faz com que qualquer arco que ocorra dentro do invólucro não inflame a atmosfera gasosa ao seu redor.

Esse tipo de proteção é usado em áreas classificadas como zonas 1 ou 2.

Principais Aplicações

Esse tipo de proteção é aplicado principalmente em capacitores, transformadores, reatores eletrônicos e baterias seladas.

Equipamento Encapsulado em Resina – Ex m

Tipo de proteção nas quais as partes que podem causar a ignição da atmosfera explosiva estão encapsuladas por uma resina suficientemente resistente às influências ambientais e de tal modo que a atmosfera explosiva não pode ser inflamada por centelhamento ou por alta temperatura proveniente do interior do equipamento.

Esse tipo de proteção pode ser usado em zonas 1 e 2.

Principais Aplicações

Esse tipo de proteção é aplicado principalmente em dispositivos de manobra, sensores, contadores de pequeno porte e indicadores.

Equipamento Não-Acendível – Ex n

Tipo de proteção aplicável a equipamentos elétricos que, em condições normais de operação e sob certas condições anormais especificadas, não seja capaz de causar a ignição da atmosfera explosiva de gás reinante no ambiente, bem como não é provável que ocorra uma falha capaz de causar a



ignição dessa atmosfera.

Esse tipo de equipamento pode ser usado em áreas classificadas como zona 2.

Principais Aplicações

Esse tipo de proteção é aplicado principalmente em luminárias, equipamentos de comunicação e dispositivos de medição.

Equipamento com Proteção Especial – Ex s

Equipamentos que não seguem os métodos de proteção existentes, mas que são testados e analisados para serem usados em atmosferas explosivas.

Esse tipo de proteção tem a função de não bloquear a criatividade dos fabricantes, já que caso uma nova proteção seja inventada, ela pode ser comercializada após passar por uma entidade cadastrada para fornecer um “CERTIFICADO DE EQUIVALÊNCIA”. Esse certificado indica que o equipamento possui nível de segurança equivalente a algum previsto na normalização existente.

Como exemplo, pode-se citar uma luminária fluorescente de segurança aumentada, que devido às restrições da norma, só pode ser construída com lâmpadas monopino. Porém, esse tipo de lâmpada não é fabricado em poucos países. Para contornar esse problema, um alemão desenvolveu um dispositivo que transformava uma lâmpada bipino convencional em uma lâmpada monopino. Essa lâmpada foi submetida a um certificador alemão que a certificou como especial e equivalente ao tipo de proteção Ex e (segurança aumentada).

Os equipamentos do tipo especial podem ser usados em zonas 0, 1 e 2, dependendo da equivalência que ele recebeu no certificado.

Equipamentos de Segurança Intrínseca – Ex i

A energia elétrica interna do equipamento é manipulada de forma a não ser suficiente para a ignição de uma atmosfera explosiva, ou seja, qualquer circuito intrínseco é concebido para que não atinja a energia mínima de ignição.

O equipamento não pode gerar energia elétrica (faísca) ou térmica durante as condições normais de funcionamento e também em condições anormais, como no caso de curtos-circuitos ou falhas de terra.

Esses equipamentos são divididos em duas categorias:

- ✓ **ib:** Equipamento elétrico intrinsecamente seguro incapaz de causar uma ignição, quer em funcionamento normal, quer na presença de uma falha contável (falha especificada em norma);
- ✓ **ia:** Equipamento elétrico intrinsecamente seguro incapaz de causar uma ignição, quer em funcionamento normal, quer na presença de uma falha contável ou na presença de qualquer combinação de duas falhas.

Os equipamentos intrinsecamente seguros iam podem ser usados em zonas 0, 1 e 2 e os equipamentos ib em zonas 1 e 2.

Principais Aplicações

A proteção tipo Ex i é mais utilizada em sensores e dispositivos de medição e/ou regulação e em equipamentos de comunicação.

Energia de Ignição

A Figura 11 apresenta a curva de energia de ignição pela concentração de combustível em relação ao ar. O gráfico ainda apresenta o ponto que requer menor energia para provocar uma explosão (EMI - Energia Mínima de Ignição), o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) e o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI) do Hidrogênio.

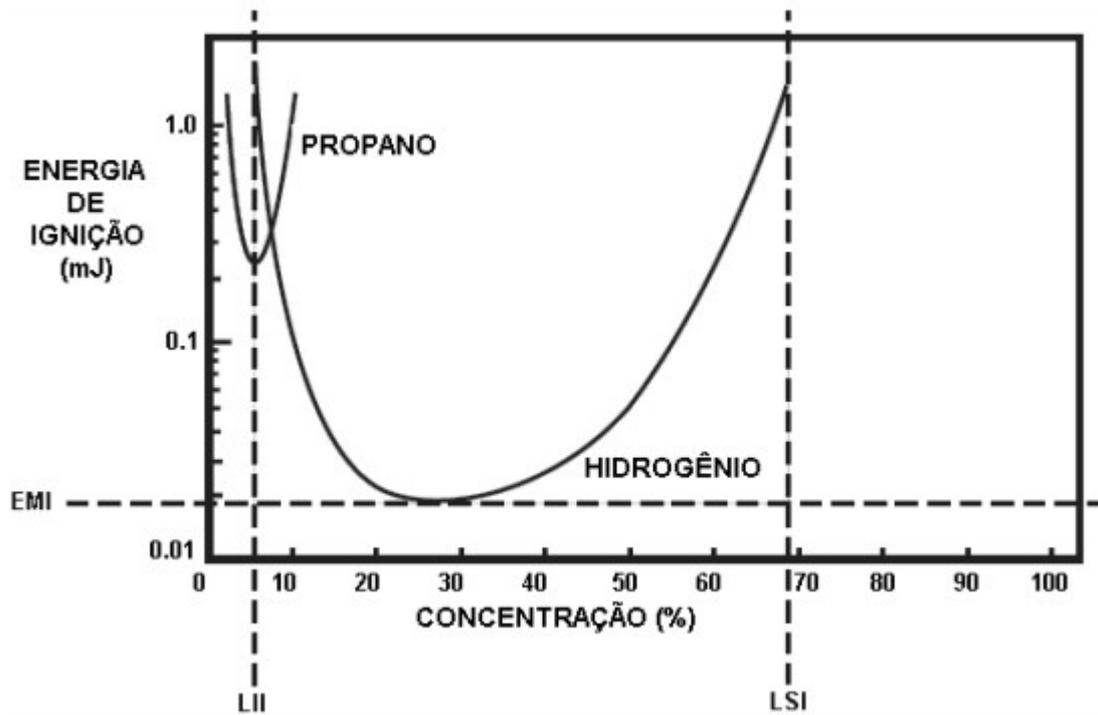


Figura 11 - Gráfico da energia de ignição x concentração.

Os circuitos de Segurança Intrínseca sempre manipulam e armazenam energias abaixo do limite mínimo de explosividade dos gases representativos de cada família, considerando assim as concentrações mais perigosas. Desta forma, mesmo em condições anormais de funcionamento dos equipamentos os circuitos de Segurança Intrínseca não provocam a ignição, já que não possuem energia suficiente para isto.

A energia máxima que o equipamento com segurança intrínseca pode gerar é encontrada na norma NBR 8447. Um exemplo desses limites de energia é apresentado na figura 12 a seguir.

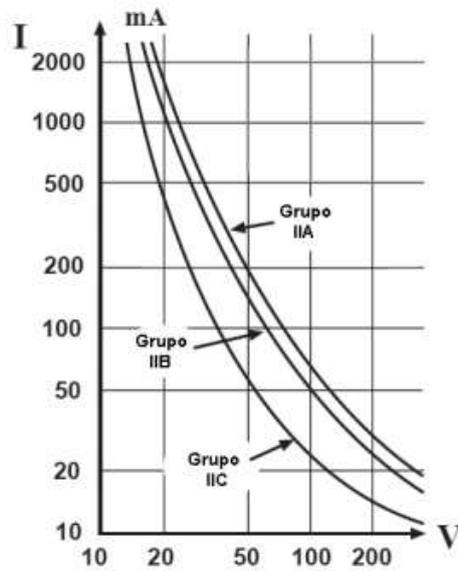


Figura 12 - Limite máximo de potência em circuitos resistivos.

Será exemplificado o limite de energia de ignição usando a energia de chaveamento ou contato de equipamentos eletrônicos.

A figura 13 apresenta um equipamento sem qualquer tipo de limitador de energia.

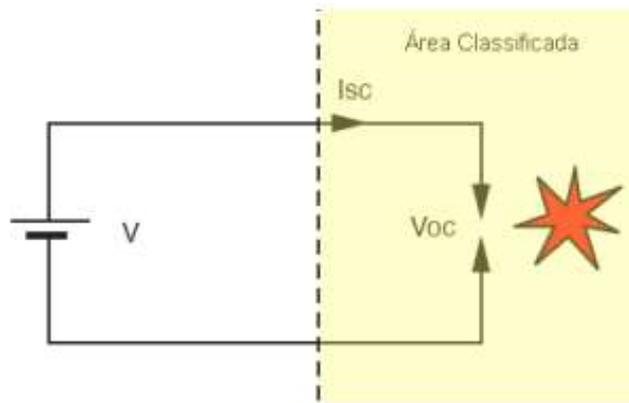


Figura 13 - Circuito sem limitador de energia.

Componentes eletrônicos podem ser inseridos no circuito para diminuir a energia de ignição do equipamento presente na área classificada.

Limitador de Corrente

Um resistor pode ser colocado no circuito para limitar a corrente elétrica, conforme a figura 14.

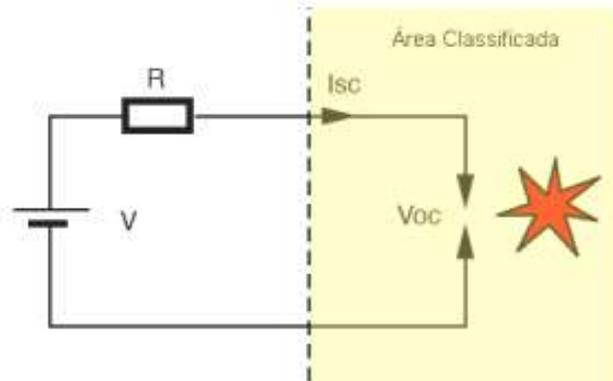


Figura 14 - Circuito com limite de corrente elétrica.

Esse tipo de limitador não é suficiente para segurar a área.

Limitador de Tensão

O diodo zener pode ser usado no circuito para limitar a tensão de chaveamento ou de contato do circuito. A Figura 15 apresenta um circuito com limitador de corrente e de tensão.

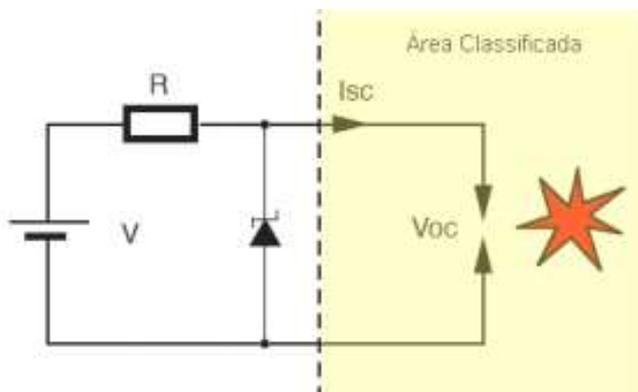


Figura 15 - Circuito com limite de corrente e de tensão.

Armazenadores de Energia

Capacitores e indutores podem ser colocados no circuito de forma a armazenar energia para usá-la em menores doses, conforme a figura 16.

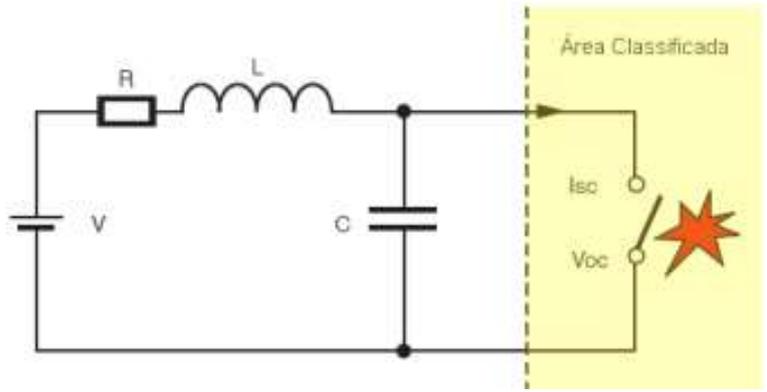


Figura 16 - Circuito com elementos armazenadores de energia.

Circuitos à Prova de Falhas

O fusível é colocado no circuito com a função de abrir caso a corrente seja excessiva. Um diodo com defeito pode queimar antes que o fusível abra. Para assegurar que o diodo queimado não irá prejudicar a segurança do circuito, pode-se colocar outro diodo zener em paralelo. Caso um diodo apresente problema, o outro irá atuar para limitar a tensão. Essa proteção é chamada de barreira zener, conforme a figura 17.

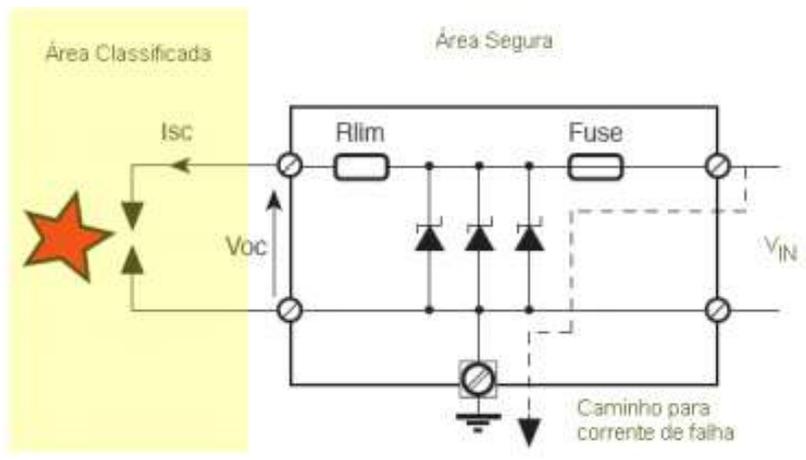


Figura 17 - Barreira Zener.

Resumo

O resumo dos métodos de proteção é descrito na tabela 11 a seguir:

Tabela 11 - Tipos de Proteção para equipamentos Ex.

Método de Proteção	Simbologia	Zonas	Normas
À Prova de Explosão	Ex d	1 e 2	NBR 5383 IEC 60079-1
Pressurizado	Ex p	1 e 2	NBR 5420 IEC 60079-2
Encapsulado	Ex m	1 e 2	IEC 60079-15
Imerso em Óleo	Ex o	1 e 2	NBR 8601 IEC 60079-5 IEC 60079-6
Imerso em Areia	Ex q	1 e 2	NBR 8601 IEC 60079-5
Intrinsecamente Seguro	Ex ia	0, 1 e 2	NBR 8447 IEC 60079-11
	Ex ib	1 e 2	
Segurança Aumentada	Ex e	1 e 2	NBR 9883 IEC 60079-7
Não Acendível	Ex n	2	IEC 60079-15
Especial	Ex s	0, 1 e 2 (Depende da Certificação)	

Marcação em equipamentos Ex

A marcação em equipamentos elétricos deve ser feita num local visível na parte principal do invólucro. Serão apresentados, de forma resumida, os itens de uma marcação de equipamento para atmosfera explosiva conforme a NBR 9518.

Como exemplo, na figura 18 será apresentada a marcação de um equipamento elétrico à prova de explosão que faz parte do Grupo IIC e classe de temperatura T3.



Figura 18 - Marcação em Equipamentos Ex.

Manutenção e Inspeção em áreas classificadas

As atmosferas explosivas necessitam de cuidados durante a fase de projeto, instalação e sobre toda sua vida útil.

Essa norma deixa claro que a inspeção e manutenção de equipamentos em áreas classificadas devem ser feitas apenas por pessoal qualificado.

A inspeção exige, além da qualificação, que o pessoal possua informações detalhadas do desenho de classificação de áreas, a classe de temperatura e grupo dos equipamentos, o tipo de proteção dos equipamentos e a rota dos cabos da instalação.

Há três graus de inspeção:

- ✓ **Inspeção Visual (V)**: As não conformidades são detectadas sem o uso de ferramentas especiais, ou seja, somente são observados os defeitos visíveis (ausência de parafusos, equipamentos abertos, invólucros rachados, etc).
- ✓ **Inspeção Apurada (A)**: Além da inspeção visual, são usados equipamentos de acesso como escada ou ferramentas para identificar melhor os defeitos. Na inspeção apurada não é necessário desenergizar o equipamento ou abri-lo.
- ✓ **Inspeção Detalhada (D)**: Além da inspeção apurada, identifica defeitos internos ao equipamento (abertura do invólucro) e faz uso de ferramentas e equipamentos de teste. Essa inspeção requer que o equipamento seja desenergizado.

Exemplos de Inspeção e Manutenção

Inspeção em Instalações Ex i

As inspeções são realizadas em campo através de formulários. Um exemplo de formulário é apresentado na tabela 12 a seguir.

Verificar se:		Grau de Inspeção		
		D	A	V
A	EQUIPAMENTO			
1	O equipamento está em conformidade com a sua documentação e com a classificação de áreas	X	X	X
2	O equipamento instalado é o especificado na documentação (somente equipamentos fixos)	X	X	
3	A categoria e grupo do equipamento e/ou circuito estão corretos	X	X	
4	A classe de temperatura do equipamento está correta	X	X	
5	A instalação está claramente marcada	X	X	
6	Não há modificações não-autorizadas	X		
7	Não há modificações não-autorizadas visíveis		X	X
8	As unidades de barreira de segurança, os relés e outros dispositivos limitadores de energia são do tipo aprovados, instalados de acordo com os requisitos da certificação e firmemente aterrados onde necessário	X	X	X
9	As conexões elétricas estão apertadas	X		
10	Placas de circuito impresso estão limpas e não danificadas	X		
B	INSTALAÇÃO			
1	Os cabos estão instalados de acordo com a documentação	X		
2	A blindagem dos cabos está aterrada de acordo com a documentação	X		
3	Não há danos evidentes nos cabos	X	X	X
4	A selagem de eletrodutos, dutos e elementos de passagem está satisfatória	X	X	X
5	Todas as conexões ponto-a-ponto estão corretas	X		
6	A continuidade de aterramento está satisfatória (por exemplo, as conexões estão apertadas e os condutores têm seção adequada)	X		
7	As conexões de aterramento mantêm a integridade do tipo de proteção	X	X	X
8	O circuito de segurança intrínseca está isolado da terra ou aterrado em somente um ponto (referir a documentação)	X		
9	Está mantida a separação entre os circuitos intrinsecamente seguros e os circuitos não intrinsecamente seguros em caixas de distribuição ou painel de relés	X		
10	Onde aplicável, a proteção contra curto-circuito da fonte de suprimento está de acordo com a documentação	X		
11	As condições especiais de uso (se aplicáveis) estão conformes	X		
12	Os cabos que não estão em uso estão com os terminais adequadamente isolados	X	X	X
C	AMBIENTE			
1	O equipamento está adequadamente protegido contra corrosão, intempérie, vibração e outros fatores adversos	X	X	X
2	Não há acúmulo indevido de poeira ou sujeira	X	X	X

Motores Trifásicos

Motores são muito usados na indústria e por isso será usado o exemplo neste tópico. Antes de apresentar as rotinas de manutenção para motores trifásicos, é importante lembrar as partes que constituem um motor.

A Figura 19 e a Figura 20 apresentam as partes constituintes de um motor Trifásico.

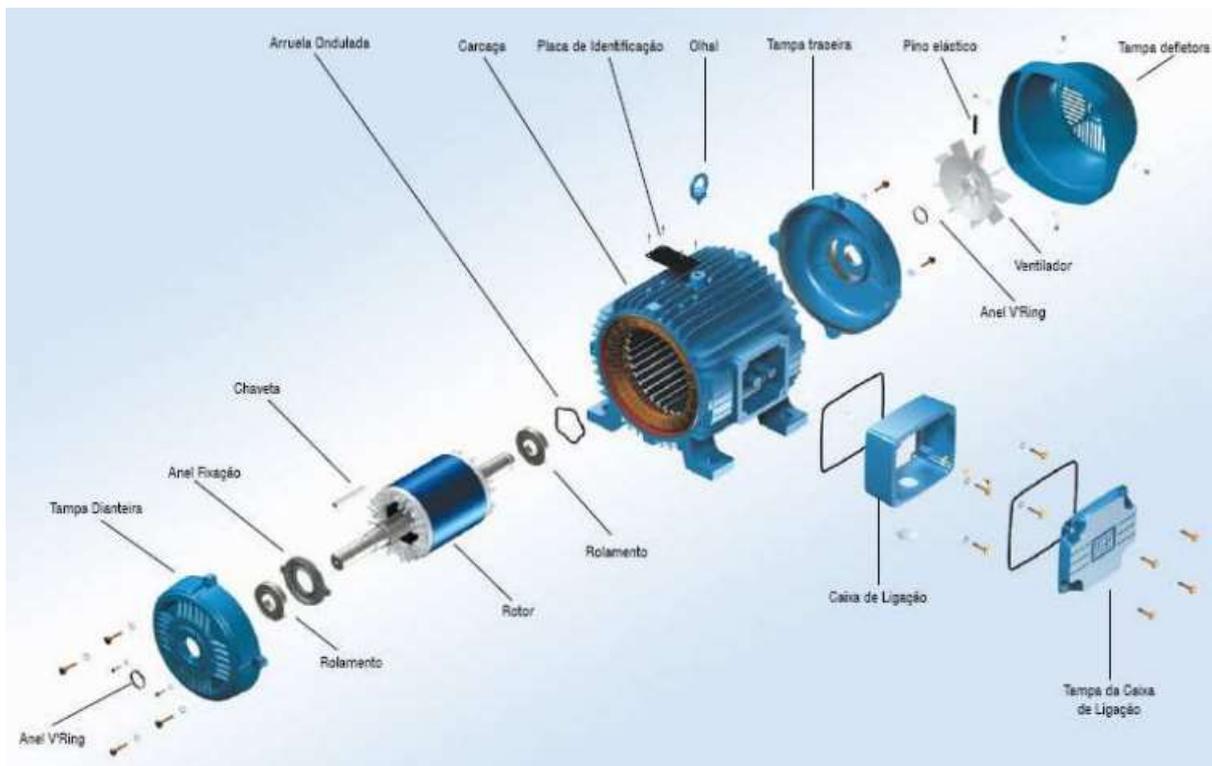


Figura 19 - Motor Trifásico Desmontado.

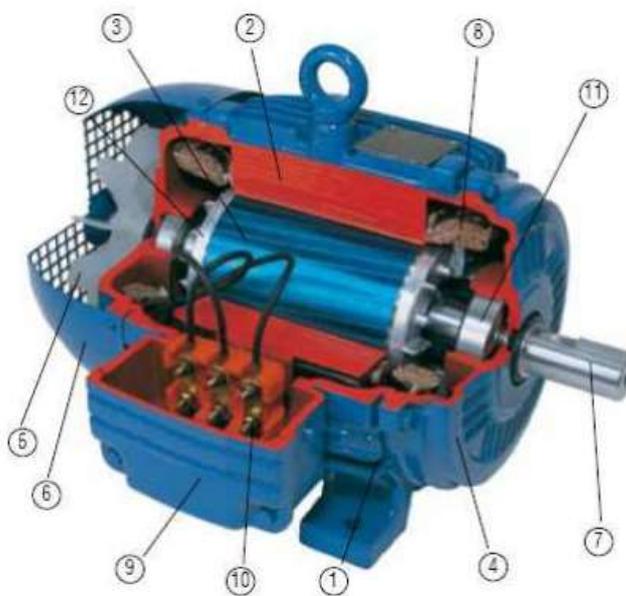


Figura 20 - Motor Trifásico



Da Figura 20, tem-se:

- 1 - Carcaça;
- 2 - Núcleo de Chapas (Estator);
- 3 - Núcleo de Chapas (Rotor);
- 4 - Tampa;
- 5 - Ventilador;
- 6 - Tampa Defletora;
- 7 - Eixo (Rotor);
- 8 - Enrolamento Trifásico (Estator);
- 9 - Caixa de Ligação;
- 10 - Terminais;
- 11 - Rolamentos;
- 12 - Barras e Anéis de Curto-Circuito (Rotor).

Os motores elétricos industriais, como qualquer outro motor, podem apresentar defeitos variados, porém, as peças danificadas ou gastas pelo uso em motores usados em atmosferas explosivas devem ser substituídas por peças originais novas. Não é aconselhável realizar o conserto de peças com trincas, superfícies usinadas danificadas ou roscas defeituosas.

A Tabela 13 apresenta a rotina de manutenção e inspeção que deve ser seguida em motores trifásicos utilizados em atmosferas explosivas.

Tabela 13 - Plano de manutenção de motores trifásicos.

Periodicidade	Parte do Motor	Serviço
<i>Diária</i>	Motor completo	Inspecionar o ruído
	Mancais	Controlar o ruído e a vibração
<i>Semanal</i>	Mancais	Reengraxar: respeitar intervalos, conforme placa de lubrificação
	Acoplamento	Após a primeira semana: checar alinhamento e fixação; eventualmente reapertar
	Dispositivo de monitoração	Registrar os valores da medição
	Filtro	Limpe (quando necessário)
<i>Anual (Revisão Completa)</i>	Motor completo	Reapertar parafusos
	Enrolamento do estator e do rotor	Inspecção visual; Medir resistência de isolamento
	Caixa de ligação, aterramentos	Limpar interior da caixa de ligação; Reapertar parafusos
	Acoplamento	Checar o alinhamento; Reapertar os parafusos
	Filtro	Limpe (quando necessário)
<i>Cada 3 anos (Revisão Total)</i>	Motor completo	Desmontar todo o motor; Checar partes e peças
	Enrolamento do estator e do rotor	Limpar; Checar fixação do enrolamento e as estecas; Medir resistência de isolamento
	Mancais	Limpar os mancais e, se necessário, trocar; Inspecionar casquilho e, se necessário, substituir; Inspecionar acento do eixo e, se possível, recuperar
	Caixa de ligação, aterramentos	Limpar seu interior; Reapertar parafusos
	Acoplamento	Checar o alinhamento e reapertar os parafusos
	Dispositivos de monitoração	Se possível, desmontar e testar sua capacidade de funcionamento
	Filtro	Limpar
	Trocador de calor ar-ar	Limpar os tubos do trocador

Anexo

Substância	Densidade do vapor (ar=1)	Ponto de Fulgor (°C)	Limite de Inflamabilidade (% volume)		Temperatura de ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo
			Inferior	Superior			
Acetaldeído	1,52	-38,00	4,00	57,00	140,00	T4	IIA
Acetato de Amila	4,48	25,00	1,00	7,10	375,00	T2	IIA
Acetato de Butila	4,01	22,00	1,40	8,00	370,00	T2	IIA
Acetato de Etila	3,04	-4,00	2,10	11,50	460,00	T1	IIA
Acetato de Isobutila	4,00	18,00	2,40	10,50	420,00	T2	-
Acetato de Metila	2,56	-10,00	3,10	16,00	475,00	T1	IIA
Acetato de Vinila	2,97	<0,00	2,60	13,40	385,00	T2	-
Acetilacetona	3,50	34,00	1,70	-	340,00	T2	IIA
Acetileno	0,90	-	1,50	100,00	305,00	T2	-
Acetoacetato de Metila	4,00	67,00	-	-	280,00	T3	IIA
Acetona	2,00	-19,00	2,15	13,00	535,00	T1	IIA
Ácido Acético	2,07	40,00	5,40	16,00	485,00	T1	IIA
Acrilato de Etila	3,45	9,00	1,80	-	-	-	IIB
Acrilato de Metila	3,00	-3,00	2,80	25,00	-	-	IIB
Acrilonitrila	1,83	-5,00	3,00	17,00	480,00	T1	IIB
Acroleína	1,94	<0,00	2,80	31,00	278,00	T3	-
Álcool Alílico	2,00	21,00	2,50	18,00	378,00	T2	-
Álcool Butílico-N	2,55	29,00	1,40	11,20	340,00	T3	IIA
Álcool Butílico Secundário	2,55	24,00	1,70	9,80	390,00	T2	-
Álcool Butílico Terciário	2,55	11,00	2,30	8,00	408,00	T2	-
Álcool Isoamílico Primário	3,04	43,00	1,20	9,00	343,00	T3	-
Álcool Isobutílico	2,55	27,00	1,68	10,90	427,00	T2	IIA
Álcool Isopropílico	2,10	11,00	2,00	12,00	400,00	T2	IIA
Álcool Tetrahydrofurfurílico	3,52	70,00	1,50	9,70	280,00	T3	IIB
Álcooldiacetona	4,00	58,00	1,80	6,90	640,00	T1	IIA
Aldeído Butírico	2,48	<0,00	1,40	12,50	230,00	T4	IIA
Aldeído Crotonico	2,41	13,00	2,10	15,50	232,00	T4	-
Alileno	1,38	-	1,70	-	-	-	IIB
Amil Metil Cetona	3,94	49,00	-	-	-	-	IIA
Amônia	0,59	-	15,00	28,00	630,00	T1	IIA
Anfetamina	4,67	<100,00	-	-	-	-	IIA
Anilina	3,22	75,00	1,20	8,30	617,00	T1	IIA
Benzaldeído	3,66	65,00	1,40	-	190,00	T4	IIA
Benzeno	2,70	-11,00	1,20	8,00	560,00	T1	IIA
Bromobutano	4,72	<21,00	2,50	-	265,00	T3	IIA
Bromoetano	3,76	<20,00	6,70	11,30	510,00	T1	IIA
Butadieno	1,87	-	2,10	12,50	430,00	T2	IIB
Butano	2,05	-60,00	1,50	8,50	365,00	T2	IIA
Butanol	2,55	29,00	1,70	9,00	340,00	T2	IIA
Buteno	1,94	-	1,60	10,00	440,00	T2	IIB
Butil Cetil Cetona	3,46	23,00	1,20	8,00	530,00	T1	IIA
Butila Amina	2,52	-9,00	-	-	312,00	T2	IIA
Butildigol	5,59	78,00	-	-	225,00	T3	IIA
Butiraldeído	2,48	<-5,00	1,40	12,50	230,00	T3	IIA
Ciclobutano	1,93	-	1,80	-	-	-	IIA
Ciclohexano	2,90	-18,00	1,20	7,80	259,00	T3	IIA
Ciclohexanol	3,45	68,00	1,20	-	300,00	T2	IIA

Substância	Densidade do vapor (ar=1)	Ponto de Fulgor (°C)	Limite de Inflamabilidade (% volume)		Temperatura de ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo
			Inferior	Superior			
Ciclohexanona	3,38	43,00	1,40	9,40	419,00	T2	IIA
Ciclohexeno	2,83	<20,00	1,2	-	310,00	T2	IIA
Ciclohexilamina	3,42	32,00	-	-	290,00	T3	IIA
Ciclopropano	1,45	-	2,40	10,40	495,00	T1	IIB
Cloreto de Acetila	2,70	4,00	5,00	-	390,00	T2	IIA
Cloreto de Alila	2,64	<20,00	3,20	11,20	485,00	T1	IIA
Cloreto de Benzila	4,36	60,00	1,20	-	585,00	T1	IIA
Cloreto de Vinila	2,25	-	3,80	29,30	472,00	T2	-
Clorobenzeno	3,88	28,00	1,30	7,10	637,00	T1	IIA
Clorobutano	3,20	<0,00	1,80	10,10	460,00	T1	IIA
Cloroetano	2,22	-	3,60	15,40	510,00	T1	IIA
Clorometano	1,78	-	10,70	13,40	625,00	T1	IIA
Cloropropano	2,70	<20,00	2,60	11,10	520,00	T1	IIA
Cresol	3,73	81,00	1,10	-	555,00	T1	IIA
Decahidronaftaleno	4,76	54,00	0,70	4,90	260,00	T3	IIA
Dilsobutileno	3,87	2,00	-	-	305,00	T2	IIA
Diaminoetano	2,07	34,00	-	-	385,00	T2	IIA
Diclorobenzeno	5,07	66,00	2,20	9,20	640,00	T1	IIA
Dicloroetano	3,42	<10,00	5,60	16,00	440,00	T2	IIA
Dicloroetano	3,55	<10,00	9,70	12,80	440,00	T2	IIA
Dicloropropano	3,90	15,00	3,40	14,50	555,00	T1	IIA
Dietilamina	2,53	<20,00	1,70	10,10	310,00	T2	IIA
Dietilaminoetanol	4,04	60,00	-	-	-	-	IIA
Dimetilamina	1,55	-	2,80	14,40	400,00	T2	IIA
Propano	1,56	-	2,00	9,50	470,00	T1	IIA
Propanol	2,07	15,00	2,15	13,50	405,00	T2	IIA
Propil Metil Cetona	2,97	16,00	1,50	8,20	505,00	T1	IIA
Propilamina	2,04	<20,00	2,00	10,40	320,00	T2	IIA
Propileno	1,50	-	2,00	11,70	455,00	T1	IIA
Querosene	-	38,00	0,70	5,00	210,00	T3	IIA
Sulfato Dietílico	5,31	104,00	-	-	-	-	IIA
Sulfeto de Hidrogênio	1,19	-	4,30	45,50	270,00	T3	IIB
Tetrahydrofurano	2,49	<17,00	2,00	11,80	260,00	T3	IIB
Tolueno	3,18	6,00	1,20	7,00	535,00	T1	IIA
Toluidina	3,70	85,00	-	-	480,00	T1	IIA
Trietilamina	3,50	<0,00	1,20	8,00	-	-	IIA
Trimetilamina	2,04	-	2,00	11,60	190,00	T4	IIA
Trimetilbenzeno	4,15	-	-	-	470,00	T1	IIA
Trioxano	3,11	45,00	3,60	29,00	410,00	T2	IIB
Turpentina	-	35,00	0,80	-	254,00	T3	IIA
Xileno	3,66	30,00	1,00	6,70	464,00	T1	IIA
Dimetilamila	4,17	63,00	1,20	7,00	370,00	T2	IIA
Dioxano	3,03	11,00	1,90	22,50	379,00	T2	IIB
Dioxolano	2,55	2,00	-	-	-	-	IIB
Disulfeto de Carbono	2,64	<20,00	1,00	60,00	100,00	T5	-
Epoxipropano	2,00	<20,00	2,80	37,00	430,00	T2	IIB
Estireno	3,60	30,00	1,10	8,00	490,00	T1	IIA
Etano	1,04	-	3,00	15,50	515,00	T1	IIA
Etolol	1,59	12,00	3,30	19,00	425,00	T2	IIA
Etanolamina	2,10	85,00	-	-	-	-	IIA
Eteno	0,97	-	2,70	34,00	425,00	T2	IIB

Substância	Densidade do vapor (ar=1)	Ponto de Fulgor (°C)	Limite de Inflamabilidade (% volume)		Temperatura de ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo	
			Inferior	Superior				
Eter Clorodimetil	-	-	-	-	-	-	IIA	
Eter Diamílico	5,45	57,00	-	-	170,00	T4	IIA	
Eter Dibutílico	4,48	25,00	1,50	7,60	185,00	T4	IIB	
Eter Dietílico	2,55	<-20,00	1,70	36,00	170,00	T4	IIB	
Eter Diexílico	6,43	75,00	-	-	185,00	T4	IIA	
Eter Dimetilico	1,59	-	3,70	27,00	-	-	IIB	
Eter Dipropílico	3,53	<-21,00	-	-	-	-	IIB	
Eter Isopropílico	3,53	<0,00	1,40	21,00	443,00	T2	-	
Etil Mercaptan	2,11	<-20,00	2,80	18,00	295,00	T3	IIA	
Etil MetilCetona	2,48	+1,00	1,80	11,50	505,00	T1	IIA	
Etil MetilEter	2,07	-	2,00	10,10	190,00	T4	IIB	
Etilbenzeno	3,66	15,00	1,00	6,70	431,00	T2	IIA	
Etildigol	4,62	94,00	-	-	-	-	IIA	
Etoxietanol	3,10	95,00	1,80	15,70	235,00	T3	IIB	
Fenol	3,24	75,00	-	-	605,00	T1	IIA	
Formaldeído	1,03	-	7,00	73,00	424,00	T2	IIB	
Formívimetilamida	2,52	58,00	2,20	16,00	440,00	T2	IIA	
Formato de Etila	2,55	+20,00	2,70	16,50	440,00	T2	IIA	
Formato de Metila	2,07	<-20,00	5,00	23,00	450,00	T1	IIA	
Gás D'Água	-	-	-	-	-	-	T1	IIC
Gás de Coque	-	-	-	-	-	-	-	-
Gás de Rua (deCarvão) (1)	-	-	-	-	-	-	T1	IIB
Gasolina - 56 a 60 Octanas	3,4	+48,00	1,4	7,6	280,00	T3	IIA	
Gasolina - 100 Octanas	3,4	+38,00	1,4	7,4	456,00	T2	IIA	
Heptano	3,46	+4,00	1,10	6,70	215,00	T3	IIA	
Hexano	2,79	+21,00	1,20	7,40	233,00	T3	IIA	
Hexanol	3,50	63,00	1,20	-	-	-	IIA	
Hidrogênio	0,07	-	4,00	75,60	560,00	T1	IIC	
Isopreno	2,35	<0,00	1,00	7,00	220,00	T4	-	
Isopropilnitrato	-	20,00	2,00	100,00	175,00	T4	IIB	
Metaldeído	6,07	36,00	-	-	-	-	IIA	
Metano (Grisu)	0,55	-	5,00	15,00	595,00	T1	I	
Metano Industrial (1)	-	-	-	-	-	-	T1	IIA
Metanol	1,11	11,00	6,70	36,00	455,00	T1	IIA	
Metilamina	1,07	-	5,00	20,70	430,00	T2	IIA	
Metilciclohexano	3,38	+4,00	1,15	6,70	260,00	T3	IIA	
Metilciclohexanol	3,93	68,00	-	-	295,00	T3	IIA	
Metiletilcetona (butanona)	2,48	<0,00	1,80	10,00	530,00	T2	IIA	
Metilisobutylcetona	3,45	23,00	1,40	7,50	459,00	T2	-	
Metoxietanol	2,63	39,00	2,50	14,00	285,00	T3	IIB	
Monóxido de Carbono	0,97	-	12,50	74,20	605,00	T1	IIB	
Nafta de Carvão	-	-	-	-	272,0	T3	IIA	
Nafta de Petróleo	2,50	<-17,00	1,10	5,90	288,00	T3	IIA	
Naftaleno	4,42	77,00	0,90	5,90	528,00	T1	IIA	
Nitrobenzeno	4,25	88,00	1,80	-	480,00	T1	IIA	
Nitroetano	2,58	27,00	-	-	410,00	T2	IIB	
Nitrometano	2,11	36,00	-	-	415,00	T2	IIA	
Nitropropano	3,06	49,00	-	-	420,00	T2	IIB	
Nitropopano-2	3,06	39,00	2,06	-	420,00	T2	-	
Nonano	4,43	30,00	0,80	5,60	205,00	T3	IIA	
Nonanol	4,97	75,00	0,80	6,10	-	-	IIA	

Substância	Densidade do vapor (ar=1)	Ponto de Fulgor (°C)	Limite de Inflamabilidade (% volume)		Temperatura de ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo
			Inferior	Superior			
Octaldeído	4,42	52,00	-	-	-	-	IIA
Octano	3,94	12,00	0,80	6,50	210,00	T4	IIA
Octanol	4,50	81,00	-	-	-	-	IIA
Oxalato Dietílico	5,04	76,00	-	-	-	-	IIA
Óxido de Eteno	1,52	-	3,70	100,00	440,00	T2	IIB
Óxido de Mesitila	3,40	31,00	-	-	344,00	T3	-
Óxido de Propileno	2,00	<0,00	2,10	21,50	430,00	T2	-
Paraformaldeído	-	70,00	-	-	300,00	T2	IIB
Paraldeído	4,56	17,00	1,30	-	235,00	T3	IIA
Pentano	2,48	<-20,00	1,40	8,00	285,00	T3	IIA
Pentanol	3,04	34,00	1,20	10,50	300,00	T2	IIA
Petróleo	-	<-20,00	-	-	-	-	IIA
Piridina	2,73	17,00	1,80	12,00	550,00	T1	IIA

Referencias

1. JORDÃO, Dácio M. Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2002.
2. OLIVEIRA, Adalberto Luiz de Lima; Fundamentos e Princípios de Segurança Intrínseca. Apostila: SENAI/CST (Companhia Siderurgica de Tubarão). Espírito Santo, 1999.
3. Atmosferas Explosivas. Guia: Nutsteel.
4. Equipamento para Ambientes Explosivos. Guia: Asco Joucomatic.
5. Informações Técnicas Áreas Explosivas. Guia: Maccomevap.
6. Manual Básico Ex. Catálogo: Blinda.
7. Motores Elétricos Trifásicos para Atmosferas Explosivas (Baixa e Alta Tensão). Manual de Instalação e Manutenção: WEG.
8. IEC 60079-10 – Classification of hazardous areas.
9. NBR 5363 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – invólucros a prova de explosão – tipo de proteção “d” – especificação.
10. NBR 5418 – Instalações elétricas em atmosferas explosivas – procedimento.
11. NBR 6146 – Invólucros de equipamentos elétricos – proteção – especificação.
12. NBR 8447 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – segurança intrínseca – tipo de proteção “i” – especificação.
13. NBR 8601 – Equipamentos elétricos imersos em óleo para atmosferas explosivas – especificação.
14. NBR 9518 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – requisitos gerais.
15. NBR 9883 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – segurança aumentada –



tipo de proteção “e” – especificação.

16. NBR 54230 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – invólucros com pressurização ou diluição contínua – tipo de proteção “p” – especificação.

17. NBR IEC 60079-17 – Inspeção e manutenção de instalações elétricas em áreas classificadas (exceto minas).

18. NM-IEC 60050-426 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – terminologia.

19. Apostila PROMINP – Instrumentista Reparador – Áreas Classificadas.

20. Buffon, Lucas – Estudo da adequação de uma área classificada a norma vigente - Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.