

# AS INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS NA DETERMINAÇÃO CORRETA DAS ÁREAS CLASSIFICADAS OU PERIGOSAS NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E OFFSHORE.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem o objetivo de analisar de forma detalhada os impactos das possíveis interferências elétricas e eletromagnéticas na definição segura das áreas classificadas em instalações industriais da indústria petroquímica, tais como refinarias e unidades petroquímicas, bem como nas plataformas de produção marítima (offshore). Nesses ambientes, são comumente manipuladas e armazenadas grandes quantidades de substâncias inflamáveis como gases, vapores e líquidos derivados do petróleo. A presença desses materiais em conjunto com as atividades do processo representam riscos significativos de ocorrência de acidentes por explosão, considerando que basta uma pequena faísca ou fonte de calor para acender uma nuvem inflamável.



Desta forma, é essencial que todos os possíveis fatores que possam desencadear uma ignição sejam adequadamente levados em conta nos estudos de classificação e projetos de engenharia das áreas, de modo a dimensionar com segurança as delimitações espaciais entre as zonas 0, 1 e 2 de risco de explosão. Somente o mapeamento completo de todas as fontes potenciais, incluindo aquelas decorrentes de interferências transientes, permitirá estabelecer os limites corretos entre as áreas classificadas e, conseqüentemente, o nível apropriado de proteção a ser implementado nos equipamentos e sistemas.

Os principais desafios na determinação das áreas classificadas ou perigosas na indústria petroquímica ou offshore são:

- Mapeamento preciso de todas as fontes potenciais de ignição, incluindo transientes elétricos e induções eletromagnéticas: Necessita levantamento detalhado utilizando equipamentos como gerador de campos, analisador de espectro e sensoriamento, além de pesquisa em documentos, considerando todos os sistemas elétricos, mecânicos, de radiofrequência, além de descargas atmosféricas.
- Consideração dos diversos fatores ambientais que podem ampliar os riscos, como umidade, ventos, raios, atividades próximas etc.: Requer estudo do microclima local, mapeamento das áreas que podem influenciar com dispersão de gases ou poeira, restrições para construções e operações a montante/jusante.
- Modelagem adequada da propagação de explosões em três dimensões, levando em conta estruturas, equipamentos e obstáculos reais: Demanda capacidade de simulação **CFD** acoplada à física de explosões utilizando softwares como **ANSYS**, **COMSOL** ou **PHAST** com modelos **BIM/CAD** fiéis.
- Avaliação criteriosa dos limites de inflamabilidade e toxidez de todos os fluidos presentes na planta ou plataforma: Requer ensaios laboratoriais, revisão das **FIS/MSDS** e trabalho em planta pilot para maior acurácia nos limites considerados.
- Determinação precisa dos limites de zona para cada tipo específico de risco presente: Envolve aplicação rigorosa das normas, análise dos resultados de simulação e medidas de campo.
- Definição clara das responsabilidades e manutenção atualizada da delimitação física das zonas.
- Gerenciamento das mudanças no layout ou processos que podem desatualizar os cálculos iniciais.
- Monitoramento contínuo para identificação precoce de novas fontes potenciais decorrentes de falhas ou operação.

## 2. INTERFERÊNCIAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

As interferências elétricas e eletromagnéticas nas instalações petrolíferas podem ocorrer através de diferentes mecanismos e originar-se de diversas fontes, conforme descrito anteriormente. Se não devidamente avaliadas, tais interferências representam fontes potenciais adicionais de ignição, comprometendo a segurança da delimitação das zonas classificadas.

Campos elétricos transientes induzidos por descargas atmosféricas ou gerados por falhas de isolamento em sistemas de controle e painéis elétricos estão sujeitos à indução de tensões e correntes parasitas nos circuitos próximos, podendo desencadear arcos elétricos. A norma **IEC 60079-32** estabelece requisitos para a proteção de equipamentos elétricos contra a ocorrência de tais sobretensões.

Já ondas eletromagnéticas de sistemas de telecomunicações, radar e outros dispositivos operando nas redondezas induzem, por acoplamento eletromagnético, correntes nos cabos de potência, estruturas metálicas e chassis de motores e quadros elétricos. Tais correntes surgem pelo efeito antena e podem causar superaquecimento conforme definido na norma **IEC 60079-25**.

Aquecimento anormal de superfícies por indução eletromagnética é capaz de provocar a ignição de uma atmosfera inflamável desde que se eleve a temperatura acima do ponto de ignição da substância, normalmente entre **200°C** e **650°C**. A **IEC 60079-14** especifica requisitos de proteção térmica para equipamentos em áreas com esse tipo de interferência.

Logo, é de suma importância que estes fenômenos sejam mapeados e considerados nos cálculos de propagação de substâncias inflamáveis segundo os princípios estabelecidos pela **NBR IEC 60079-10**, de modo a dimensionar adequadamente o tamanho e nível de proteção nas **zonas 0, 1 e 2**.



As principais normas técnicas que abordam o tema de interferências elétricas e eletromagnéticas em instalações industriais, particularmente em áreas classificadas, são:

- **IEC 60079-0**: Classificação das áreas onde explosivos da atmosfera podem ocorrer.
- **IEC 60079-10-1**: Classificação das áreas - Considerações sobre a presença de poeiras.
- **IEC 60079-14**: Equipamentos elétricos para ambientes com perigo de explosão por nuvens inflamáveis - Requisitos de projeto, fabricação, inspeção e ensaios.
- **IEC 60079-15**: Especifica requisitos para proteção de equipamentos contra combustão da poeira.
- **IEC 60079-25**: Equipamentos elétricos usados para aplicações específicas - Considerações sobre a proteção contra ignição por ondas eletromagnéticas radio frequentes.
- **IEC 60079-30-1**: Procedimentos de ensaio - Proteção contrária Radio Frequency Wireless Devices (**RFFD**). Define os métodos de teste para verificar a conformidade com requisitos de proteção contra RF.
- **IEC 60079-30-2**: Procedimentos de ensaio - Proteção contra descargas eletrostáticas. Prescreve os procedimentos para testar a proteção contra descargas acionadas por efeitos eletrostáticos.
- **IEC 60079-32-1**: Equipamentos de proteção - Requisitos e métodos de ensaios - Proteção contra choques elétricos.
- **IEC 60079-5**: Equipamentos de proteção por enchimento com areia.
- **IEC 60079-6**: Tipos de proteção "e".
- **IEC 60079-11**: Equipamentos de proteção à prova de explosão.
- **NBR IEC 60079-10**: Classificação das áreas e seleção dos equipamentos.
- **IEC 61000-4-3**: Ensaios de imunidade - RF em faixas de frequência estritamente definidas. Norma de teste para verificar imunidade de equipamentos em condições específicas de RF.
- **NFPA 499**: Norma norte-americana que estabelece requisitos de segurança contra riscos elétricos e eletrostáticos.
- **API RP 500**: Padrão do Instituto Americano do Petróleo sobre áreas classificadas em instalações petroquímicas.

Essas normas estabelecem os requisitos técnicos de proteção dos equipamentos frente a ambiente explosivos e interferências associadas.

## **2.1. COMO AS INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS PODEM COMPROMETER A SEGURANÇA DAS ZONAS CLASSIFICADAS**

Há alguns modos pelos quais as interferências elétricas podem comprometer a segurança das zonas classificadas:

- Gerando fontes adicionais de ignição não consideradas nos cálculos. Descargas elétricas induzidas por transientes podem causar arcos em locais não projetados.
- Aquecendo equipamentos além da temperatura de ignição por indução eletromagnética. Isto pode ocorrer em regiões afastadas das fontes originais.
- Propagando energias capazes de inflamar misturas em áreas maiores que as delimitadas, já que a extensão real dos riscos não foi captada.
- Induzindo tensões e correntes em circuitos próximos capazes de superaquecer superfícies ou desencadear arcos em locais imprevistos.

- Comprometendo sistemas de proteção elétrica que podem falhar em conter eventuais explosões dentro dos limites calculados.
- Gerando campos eletrostáticos ou eletromagnéticos de maior intensidade do que o suposto nos cálculos de propagação de chamas.
- Não considerando fatores ambientais que podem potencializar os efeitos de indução e propagação de incêndios, como umidade, ventos, objetos próximos etc.
- Podem ocultar ou mascarar fontes reais de ignição, dificultando sua detecção e correção. Isso porque induzem aquecimentos ou descargas em locais diferentes.
- Podem danificar progressivamente equipamentos elétricos sem que falhas sejam notadas, levando a superaquecimentos e arcos em tempo imprevisível.
- A propagação não intencional de energias elétrica/eletrostática por condução através de estruturas, cabos e mangueiras não é adequadamente dimensionada.
- Não há mapeamento suficiente de todas as possíveis fontes de interferência dentro e fora da área, como linhas de transmissão, antenas, indústrias vizinhas etc.
- O funcionamento variável de maquinários e equipamentos muda seu grau de susceptibilidade às induções ao longo do tempo.
- Eventos climáticos extremos como raios e ventos fortes potencializam transiente não considerados nos projetos originais das áreas.
- Equipamentos de proteção projetados para alguns tipos de risco podem não ser eficientes contra outros mecanismos de interferência.

Portanto, interferências não avaliadas podem subestimar os reais limites das zonas classificadas, colocando em risco a segurança contra explosões.

### **3. PRINCIPAIS PONTOS DE INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS NA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS:**

- **Campos elétricos e magnéticos transientes:** Essas perturbações são de curta duração, porém de alta magnitude, e podem ser induzidas a distância através dos sistemas de aterramento por descargas atmosféricas ou falhas elétricas. Se acoplados aos circuitos, são capazes de gerar arcos pelo transiente de tensão.

Estes campos ocorrem durante descargas atmosféricas, onde correntes da ordem de dezenas de kA fluem no solo por centenas de microssegundos. A intensidade de picos de tensão pode ultrapassar 1MV, induzindo em circuitos próximos por acoplamento capacitivo/indutivo.

Normas como **IEC 61000-4-4** e **IEC 61000-4-5** especificam os testes de imunidade a transientes elétricos rápidos (**BURST**) e ondas de choque, respectivamente. Sua energia se dissipa por condução/radiação em distâncias que variam de acordo com a impedância do solo e blindagens existentes.

- **Sinais de telecomunicações:** Os sinais de rádio, micro-ondas etc. podem induzir correntes alternadas ou contínuas nos equipamentos, cabos e estruturas metálicas pelo acoplamento eletromagnético. Essas correntes parasitas podem aquecer superfícies acima dos pontos de ignição sob certas condições.

Os sinais de RF como **Wi-Fi (2,4GHz)**, **3G/4G(0,8-2,6GHz)** e **Bluetooth(2,4GHz)** induzem correntes por acoplamento eletromagnético conforme definido nas equações de Maxwell. A intensidade depende do campo elétrico E incidente, da área A e da impedância característica Z do meio, conforme a fórmula  $P=E^2*(A/Z)$ .

A **IEC 61000-4-3** especifica os testes de imunidade a campos eletromagnéticos de RF. Normas como **IEC 60079-25** e **IEC 60079-30-1** determinam os níveis máximos de exposição para diferentes grupos de equipamentos.

- **Equipamentos sensíveis:** Motores, quadros elétricos e demais equipamentos instalados próximo a fontes de interferência estão mais expostos a aquecimento anormal de partes isoladas ou condutivas pelo efeito antena.
- **Estruturas offshore:** Na proximidade do mar, a umidade e salinidade facilitam a ionização da atmosfera e acúmulo de cargas estáticas que podem descarregar em equipamentos pelo solo ou pessoas.

A umidade elevada reduz a resistividade do ar, solo e materiais à medida que moléculas d'água são adsorvidas em sua superfície. Já os sais ionizam-se em solução aquosa, aumentando a condutividade elétrica. Ambos os efeitos facilitam a condução de cargas elétricas, ampliando as possibilidades de aquecimento por indução eletrostática em equipamentos offshore.

- **Fatores ambientais:** A maresia aumenta a condutividade do solo e a probabilidade de descargas atmosféricas, que por sua vez aumentam o risco de indução eletromagnética.
- **Fontes adicionais de ignição:** As interferências geram novas possibilidades de ignição que precisam ser consideradas nos cálculos de propagação de explosão entre as zonas.

As interferências elétricas e eletromagnéticas geram fontes transientes capazes de induzir tensões, correntes e aquecimentos em equipamentos localizados fora das áreas de risco originalmente mapeadas e protegidas.

Durante uma descarga atmosférica, por exemplo, picos de tensão na ordem de MV podem se propagar por condutores aéreos e subterrâneos além de estruturas metálicas, atingindo painéis de controle em zonas consideradas livres de perigo.

Da mesma forma, sinais de RF de sistemas de telecomunicação próximos podem induzir correntes parasitas superiores aos limites definidos na **IEC 60079-25**, gerando pontos quentes

em motores, cabos ou estruturas localizadas fora das zonas previstas originalmente nos estudos de propagação de explosão da planta.

A ocorrência de tais fontes de acendimento Transientes ainda mais distantes dos equipamentos originais demandam uma reavaliação dos cálculos de distância entre as **Zonas 0, 1 e 2**, conforme preconizam normas como a **IEC 60079-10** e **NBR IEC 60079-14**.

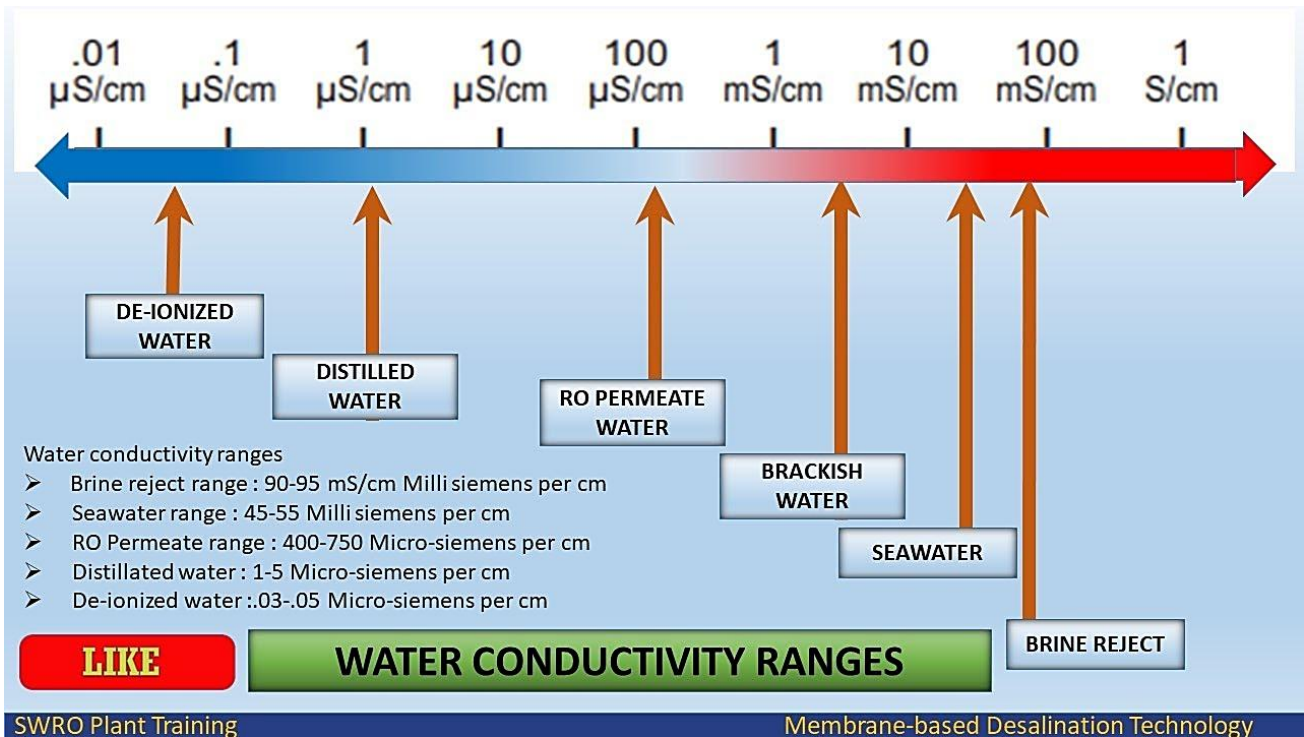
Portanto, o mapeamento criterioso dessas novas possibilidades de ignição é essencial para garantir a segurança das delimitações entre as áreas classificadas conforme sua categoria de risco real.

- **Subestimativa de limites:** Se não levantadas, as fontes transitórias podem subestimar a verdadeira extensão das zonas classificadas.
- **Mapeamento detalhado:** É necessário identificar e localizar com precisão todas as possíveis fontes para projetar adequadamente a proteção.

### **3.1. PRINCIPAIS FATORES AMBIENTAIS QUE PODEM AUMENTAR O RISCO DE INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS**

Diversos fatores ambientais podem influenciar o nível de risco de interferências elétricas e eletromagnéticas em instalações industriais, caso não sejam adequadamente considerados nos projetos de proteção.

1. **Proximidade do mar em plataformas offshore** - A umidade e salinidade elevadas facilitam a ionização da atmosfera e condutividade do solo, ampliando induções eletrostáticas. A umidade e salinidade elevadas facilitam a ionização da atmosfera e condutividade do solo de diferentes formas:
  - a) A água e sais dissolvidos tornam o ar e o solo mais condutores, ou seja, aumentam a mobilidade de íons e elétrons. Isso facilita a propagação de cargas elétricas.
  - b) Na presença de umidade, pequenas partículas de pó ou poeira no ar passam a conter um filme fino de água em volta. Esse filme ionizado torna as partículas condutoras.
  - c) Gotículas de água ou cristais de sal na atmosfera servem como sítios de ionização preferenciais. São regiões onde cargas elétricas se concentram mais facilmente, gerando campos eletrostáticos.
  - d) No solo, a água e sais formam um eletrólito que permite a livre migração de íons positivos e negativos sob influência de campo elétrico.
  - e) Zonas mais úmidas atuam como condutores preferenciais no solo, guiando correntes laterais até estruturas ou equipamentos.
  - f) Em estruturas como plataformas, a umidade da atmosfera aumenta a condutividade superficial, facilitando o acúmulo e descarga de cargas.



Assim, a presença de água e sais na atmosfera e no solo torna o meio mais propenso à ionização e condução de correntes estáticas.

2. **Chuvas frequentes** - aumentam significativamente a umidade tanto do ar quanto do solo em uma região. Essa alta umidade facilita a ocorrência de perturbações elétricas transientes, como descargas atmosféricas. Isso porque o ar úmido e o solo encharcado tornam-se mais condutores, permitindo a fácil propagação de cargas eletrostáticas.
3. **Neblina/nuvens baixas** - Esses fenômenos reduzem a taxa de dissipação natural de cargas estáticas acumuladas no ar, aumentando o tempo de vida delas e elevando o risco de descargas.
4. **Ventos fortes** – Podem carrear partículas condutoras de poeira pela atmosfera, o que aumenta o risco de pequenas descargas localizadas por efeito **corona\*** em protuberâncias ou arestas de equipamentos.
5. **Temperaturas elevadas** - diminuem a resistividade do solo e a rigidez dielétrica do ar, tornando esses meios mais propícios à condução e ionização, respectivamente. Isso facilita a ocorrência de arcos elétricos.
6. **Terreno acidentado** - dificultam o aterramento e equipotencialização adequados, gerando pontos de tensão que podem ocasionar falhas em equipamentos.
7. **Vegetação próxima** - Árvores servem como ponto centralizador de cargas até descargas.
8. **Edificações/estruturas próximas** - Podem induzir campos eletromagnéticos externos nos circuitos elétricos.

9. **Atividades industrial próxima** - As atividades industriais próximas podem aumentar o risco de interferências elétricas em outra instalação da seguinte forma:

- ✓ Geradores elétricos: Podem induzir ruídos e pulsos transitórios que se propagam pelo solo ou via condutores aéreos até outras áreas.
- ✓ Motores elétricos de maquinários: Quando em operação, podem gerar interferências eletromagnéticas de radiofrequência pelo efeito inversor de frequência.
- ✓ Linhas de transmissão elétrica: Caso próximas, as linhas aéreas de alta tensão são fontes potenciais de indução transientes muito energéticas.
- ✓ Sistemas de comunicação industrial: Equipamentos como rádios, antenas de radar e micro-ondas induzem campos eletromagnéticos que podem acionar equipamentos receptores.
- ✓ Grandes cargas elétricas consumidas: Subestações ou fábricas com alto consumo podem influenciar as tensões nos circuitos vizinhos durante variações de carga.
- ✓ Manutenção elétrica: Pequenas falhas ou arcos em reparos próximos podem gerar transientes capazes de se propagarem.
- ✓ Emissões de poeiras e partículas: Podem conduzir descargas por efeito corona em equipamentos de outras áreas próximas.

### 3.2. O QUE É O EFEITO CORONA\*

O efeito corona é um fenômeno físico onde pequenas descargas elétricas ocorrem na superfície de condutores energizados em altas tensões, especialmente em regiões com geometrias pontiagudas ou difícil acesso, como espaços reduzidos.

Isso acontece porque nestas regiões a intensidade do campo elétrico é maior do que no restante do condutor. Ao ultrapassar determinado limiar, o ar ao redor dos condutores passa a ionizar, gerando pequenas descargas superficiais com formato de coroa (daí o nome corona).

Estas descargas geralmente ocorrem em tensões a partir de **10 kV** e partem de protuberâncias, fios, arestas vivas ou regiões com depósitos de sujeira. Elas consomem potência e podem produzir ozônio, óxidos de nitrogênio e outros gases, além de ruídos ultrassônicos.

O efeito corona também libera partículas carregadas que podem se depositar nos isoladores poluindo-os, ou se propagar pelo ar em forma de aerossóis condutivos. Com ventos, estas partículas podem se deslocar sobre longas distâncias.

Em ambientes com estações de grande porte ou linhas de transmissão, o efeito corona pode induzir interferências elétricas e eletromagnéticas em equipamentos próximos, além de degradar o sistema ao longo do tempo por erosão. Isso se deve ao potencial de chama gerado pelas descargas.

Portanto, é essencial o projeto e manutenção cuidadosa destas regiões para se evitar o surgimento do efeito corona e suas consequências.

Os principais efeitos negativos do efeito corona em sistemas elétricos são:

- **Perdas de potência:** As descargas superficiais consomem energia elétrica, reduzindo a eficiência do sistema.
- **Erosão de materiais:** A ação corrosiva dos gases e partículas geradas pelo efeito corona ocasiona o desgaste prematuro de condutores, isoladores e estruturas.
- **Envelhecimento precoce:** A deterioração dos materiais devido à erosão corona reduz significativamente a vida útil dos equipamentos.
- **Ruídos e interferências:** O zumbido ultrassônico e campos eletromagnéticos gerados podem interferir em sistemas de comunicação, radares, entre outros.
- **Tripulação de disjuntores:** O aumento local do campo elétrico induz correntes de fuga que podem acionar falsos disparos de alarmes.
- **Poluição de isoladores:** Os depósitos das partículas liberadas pelo corona reduzem a rigidez dielétrica dos isoladores.
- **Descargas parciais:** Quando severo, o efeito corona pode originar descargas elétricas que evoluem para falhas de isolamento.
- **Riscos de falhas:** Promove envelhecimento prematuro que pode comprometer a confiabilidade do sistema no longo prazo.

Existem algumas tecnologias que podem ser aplicadas para mitigar os efeitos do efeito corona em sistemas elétricos:

- ✓ Geometrização cuidadosa: Projetar condutores e isoladores com redução de pontas agudas, arestas e curvaturas acentuadas.
- ✓ Revestimentos: Aplicar materiais semicondutores ou condutores em áreas críticas, como silicone, zinco ou grafite, para uniformizar o campo elétrico.
- ✓ Anéis de guarda: Instalar anéis conectados à terra ao redor de protuberâncias ou regiões de alto campo elétrico.
- ✓ Óleos em compressão: Usar óleos transformadores nos isoladores que formam um fluido homogêneo para igualar o campo elétrico.
- ✓ Óleos dopados: Adicionar compostos em óleos isolantes capazes de inibir a ionização do ar como carbonetos de silício.
- ✓ Monitores de descargas parciais: Detectar prematuramente a ocorrência de efeito corona para solucionar defeitos na proteção.
- ✓ Filtros de Noise: Equipamentos para eliminar os ruídos e interferências do sinal de efeito corona.
- ✓ Sistemas de limpeza: Pneumáticos e líquidos para remoção periódica de sujeiras e substâncias poluentes.

O uso combinado dessas tecnologias ajuda a mitigar a formação e efeitos do efeito corona.

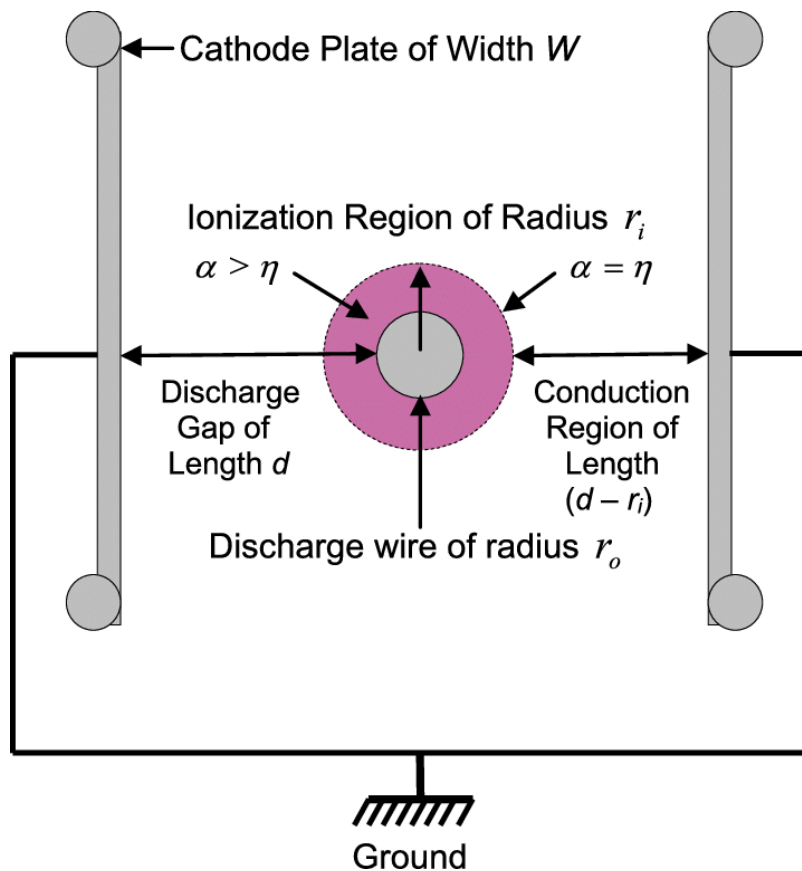


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DESCREVE A DESCARGA DE CORONA

#### 4. PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA

- **Descargas atmosféricas:** Os raios induzem transientes elétricos e magnéticos de altas amplitudes e rápidas variações. Estes podem se propagar através dos sistemas de aterramento e proteção de descargas até os circuitos elétricos internos, induzindo sobretensões perigosas capazes de causar ignições em locais não considerados.
- **Equipamentos elétricos:** Pequenos defeitos de isolamento em motores, painéis ou disjuntores, por exemplo, podem não ser detectados em inspeções. Contudo, sob certas condições, podem gerar arcos ou pontos quentes internos capazes de provocar ignições que aumentem os limites das zonas classificadas.
- **Falhas elétricas:** como arcos em barramentos, painéis ou motores geram campos transientes de intensidade e duração variáveis, dependendo do ponto de falha e impedância do circuito.
- **Circuitos de alta tensão:** Os cabos aéreos de transmissão próximos ao local também são fontes potenciais que podem induzir interferências eletromagnéticas nos circuitos da

instalação através de acoplamento indesejado, subestimando a distância de segurança em relação aos limites das zonas.

- **Sistemas de comunicação:** Os sinais de rádio, radar e micro-ondas podem induzir correntes parasitas em equipamentos, cabos e estruturas pelo efeito antena, aquecendo-os acima dos pontos de ignição caso não protegidos adequadamente e estendendo os riscos para além dos limites planejados. Sinais de rádio, Wi-Fi, Bluetooth e telefonia móvel operando em diversas frequências induzem correntes parasitas conforme descrito na IEC 60079-25.
- **Geradores:** Em emergências, são mais suscetíveis a interferências que podem comprometer sua proteção e induzir sobre curtos/superaquecimento dos circuitos internos, ampliando as áreas de risco.
- **Fiação:** Projetos deficientes favorecem propagação indesejada de campos e correntes induzidas entre circuitos na instalação, subestimando a real abrangência das zonas.
- **Estruturas/equipamentos metálicos:** Atuam como antenas conduzindo correntes capazes de causar descargas ou aquecimento em situações anormais em locais imprevistos.
- **Maquinários:** Os motores rotativos também podem aquecer partes móveis por indução e causar faíscas/fagulhas em funcionamento que estendam os limites das zonas de risco.
- **Estruturas offshore:** A proximidade com o mar amplia os riscos de indução eletrostática pela alta umidade/salinidade do ambiente para áreas não projetadas

Em síntese, esses fenômenos precisam ser adequadamente mapeados e considerados para não subestimar as zonas classificadas.

## 5. CASOS REAIS

Relatos de acidentes em refinarias, onde explosões ocorreram por faíscas em motores induzidas por descargas atmosféricas ou aquecimento de cabos por ondas eletromagnéticas, demonstram como interferências podem levar a eventos catastróficos quando subestimadas nos projetos de engenharia.

1. **Em 1985**, uma explosão na Refinaria Duque de Caxias (Reduc) no Rio de Janeiro matou 18 pessoas. Uma descarga atmosférica induziu tensões que danificaram um gerador de emergência, gerando faíscas que se propagaram por uma nuvem de hidrogênio e vapor, detonando posteriormente um tanque de gasolina.
2. **Em 1993**, uma explosão seguida de incêndio na Refinaria de Paulínia (Replan) matou 3 trabalhadores e causou prejuízos de US\$ 2,5 milhões. Uma falha elétrica em um motor induziu faíscas em uma nuvem de acetona dentro dos limites de uma área classificada, provocando a ignição.
3. **Em 2003**, um incêndio na Refinaria Henrique Lage (Revap) no Guarujá teve início após uma tubulação romper próximo a uma subestação elétrica. O curto-circuito provocado induziu sobretensões em cabos próximos que se espalharam atingindo o duto e provocando a explosão da gasolina em chamas.
4. **Em 2009**, uma explosão em um polo petroquímico na Holanda matou 2 pessoas após ondas de rádio emitidas por radares militares aquecerem cabos de comunicação a cerca de 1km de

distância, provocando pontos quentes capazes de acender vapores de solventes dentro de uma torre de destilação.

5. **Em 2001**, na Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar), uma falha elétrica em um motor industrial propagou faíscas que acenderam vapores inflamáveis fora das especificações de segurança, gerando uma explosão com 4 fatalidades.
6. **Em 2006**, na Refinaria de Mataripe (Rlam), uma descarga atmosférica induziu sobre tensionamentos que danificaram equipamentos elétricos no polo petroquímico, liberando gases tóxicos que intoxicaram 14 trabalhadores.
7. **Em 2012**, uma refinaria nos EUA sofreu um incêndio quando ondas eletromagnéticas emitidas por radares militares próximos sobreaqueceram cabos subterrâneos a quase 1km de distância, fazendo com que faíscas se alastrassem até tanques de combustível.
8. **Em 2015**, instalações da empresa Shell no Canadá foram atingidas por um raio que danificou um transformador, originando um incêndio que consumiu parte da unidade de destilação após indução sobre voltagem nos sistemas de controle.
9. **Em 2019**, na Refinaria Getúlio Vargas no Paraná, uma pane elétrica propagou faíscas que iniciaram um vazamento de gás tóxico, intoxicando 12 trabalhadores antes que o problema fosse controlado.
10. **Em 2020**, na Malásia, uma refinaria foi parcialmente destruída após raios atingirem o local e desencadearem ondas eletromagnéticas que superaqueceram dutos carregados de gás, causando explosões.
11. **Em 2021**, em Cingapura, sobretensões originadas por tempestades danificaram painéis de controle de uma refinaria, liberando hidrogênio que se inflamou, ferindo 2 funcionários.
12. **Em 2022**, na Arábia Saudita, raios induziram faíscas elétricas que se propagaram por dutos de gás numa refinaria, incendiando tanques de combustível e paralisando a produção por meses.
13. **Recentemente**, na Índia, um incêndio atingiu uma refinaria após transientes originados por raios danificarem cabos elétricos perto de equipamentos rotativos.

Esses acidentes demonstram como interferências elétricas não mapeadas podem propagar riscos para além das zonas projetadas, com consequências trágicas quando os projetos de engenharia não consideram adequadamente esse tipo de fonte adicional de ignição.

## **6. COMO QUANTIFICAR AS INTERFERÊNCIAS NA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS**

Para quantificar as interferências elétricas na determinação de áreas classificadas, algumas abordagens podem ser utilizadas:

- Mapeamento de fontes de interferência: Levantamento das instalações, equipamentos e sistemas nas redondezas que possam induzir campos eletromagnéticos ou transientes elétricos. Isso permite quantificar a abrangência dessas influências externas. Isso de acordo com normas como **IEC 61000-6-1** e **CISPR 11**.

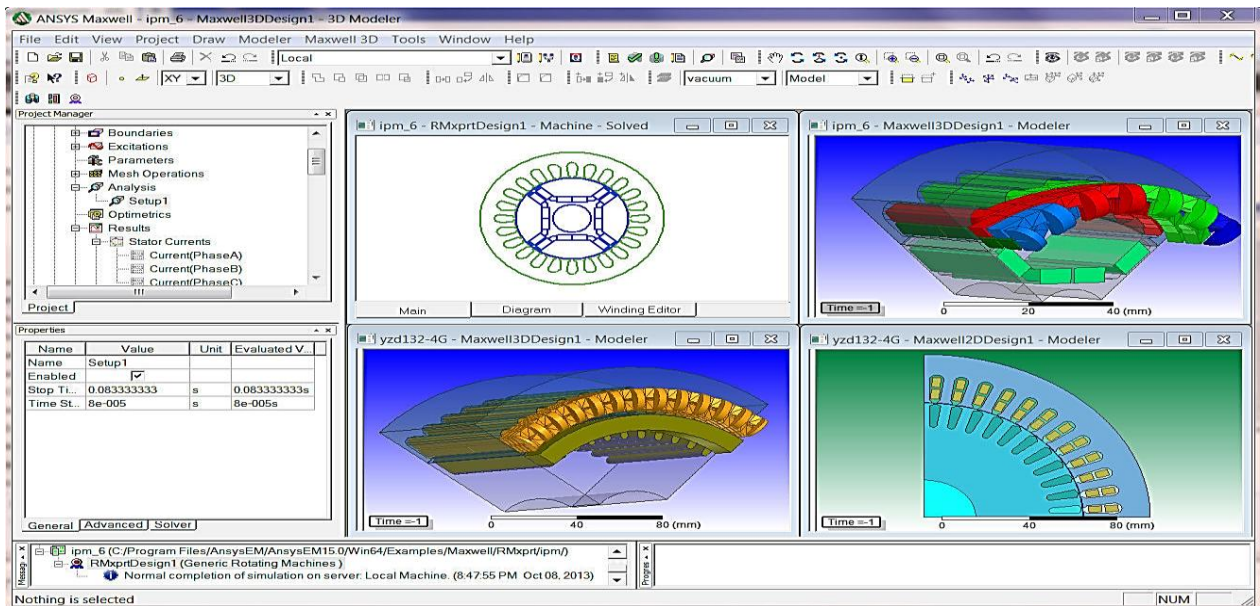
- Modelagem e simulação: Utilizando softwares de elementos finitos, modela-se a dispersão dos campos a partir das fontes mapeadas. Simulação computacional dos campos E/H induzidos para diferentes cenários de falha ou clima, utilizando softwares de elementos finitos como **COMSOL** ou **ANSYS** em modelos **3D** da planta.
- Ensaio em equipamentos: Simulações controladas que determinam limites máximos de indução sem comprometer a segurança dos equipamentos. Fornece dados sobre níveis e distâncias de interferência toleráveis.
- Cálculos de propagação: Utilizando softwares de simulação, calcular a dispersão teórica de campos e correntes induzidas a partir das fontes mapeadas, delimitando assim em metros/quilômetros as possíveis "zonas de interferência". Cálculo da corrente induzida em malhas condutoras a partir dos campos elétricos incidentes, usando as equações de Maxwell e estimando a impedância do circuito equivalente.
- Instrumentação online: Montagem de estações de monitoramento com sensores de campo elétrico/magnético que quantifiquem em tempo real níveis de interferência recebidos, **VALIDANDO AS ZONAS CALCULADAS**.
- Análise estatística de falhas: Avaliar possíveis correlações entre registros de intercorrências e picos de interferência detectados, para quantificar impactos em termos de probabilidade/risco.
- Normatização de valores-limite: Definir níveis máximos toleráveis de indução a serem respeitados nas zonas classificadas, com base no acervo técnico quantificado anteriormente.
- Previsão das temperaturas de superfície de equipamentos expostos a diferentes níveis de campo eletromagnético, considerando-se as propriedades dielétricas dos materiais e padrões de dissipação térmica.
- Ensaio de calorimetria em amostras representativas submetidas a diferentes frequências, potências e tempos de exposição para validação dos modelos.

Isso permite dimensionar adequadamente o tamanho e alcance das áreas classificadas.

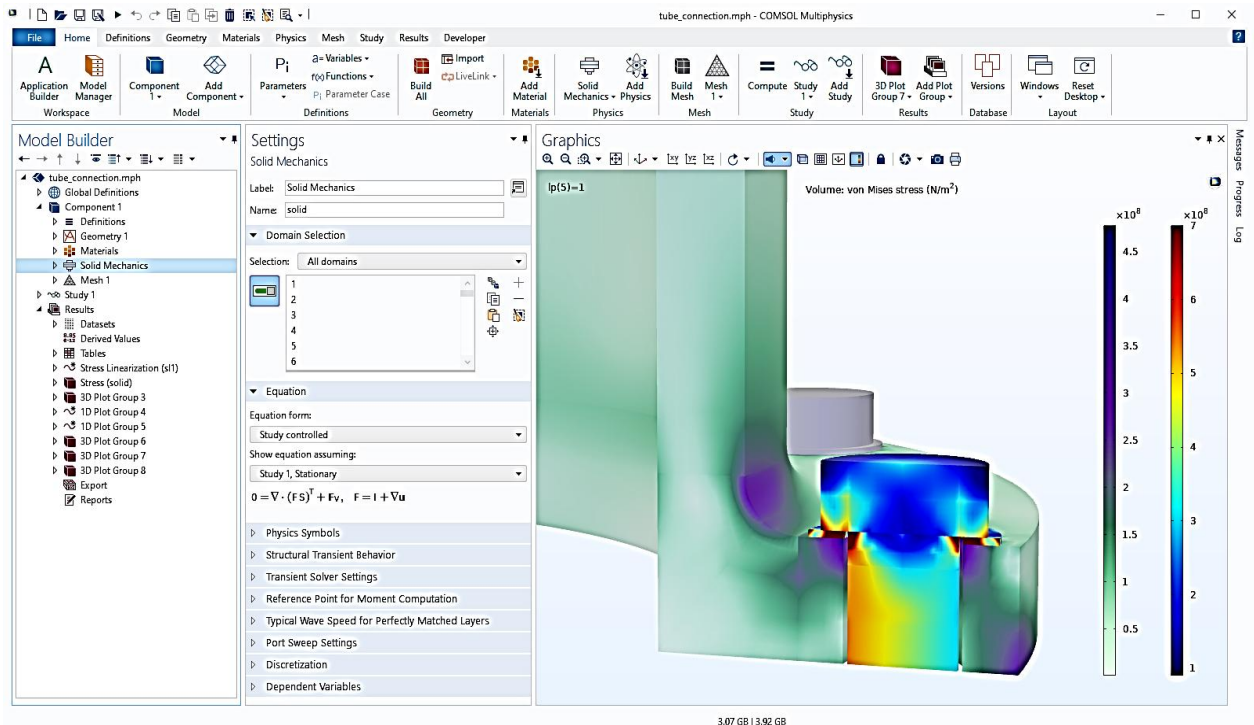
### **6.1. QUAIS SÃO OS SOFTWARES MAIS UTILIZADOS PARA A MODELAGEM E SIMULAÇÃO DAS INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS?**

Os principais softwares utilizados para a modelagem e simulação das interferências elétricas em áreas classificadas incluem:

- **ANSYS Maxwell**: Um dos mais utilizados, permite simular a propagação eletromagnética em domínios temporais ou de frequência. Analisa efeitos de blindagens, cabos, antenas etc. Ferramenta de simulação eletromagnética por elementos finitos, ideal para análise de campos estáticos e transientes.



- **COMSOL Multiphysics:** Poderoso simulador baseado em MEF que permite acoplar eletromagnetismo com outros fenômenos físicos. Possui módulos dedicados à eletromagnetismo que podem ser acoplados a fluidos, termal, mecânica dos fluidos etc. Útil para analisar propagação em sistemas complexos.



- **EMC Studio:** Desenvolvido pela SEMCAD, é referência para simulações CEM seguindo normas internacionais. Também da SEMCAD, mais específico para análise de interferências em cabines, painéis e dispositivos elétricos industriais.

- **CST Studio Suite:** Software especializado em projeto e análise de antenas, cabines e componentes eletromagnéticos. Focado em antenas, estruturas de radiocomunicação e compatibilidade eletromagnética (CEM). Simula induções e campos eletromagnéticos.
- **Etap/Operation Technology:** PLC integrado com módulos de simulação de redes elétricas e transientes.
- **Matpower:** Ferramenta open source para modelagem de sistemas de potência elétrica.
- **InCa3D:** Dedicada exclusivamente à modelagem e simulação por MEF de propagação de incêndios.
- **Fluidyn-PANACHE:** Simula dispersão de gases tóxicos, vapores e explosões em grandes infraestruturas.
- **FEKO:** Referência em simulações de alta frequência e antenas integrada com CST e outros softwares. Ferramenta avançada para eletromagnetismo de alta frequência, com extensos bancos de dados de materiais. Analisa blindagens em equipamentos e estruturas.
- **SEMCAD X:** Desenvolvido pela SEMCAD, é referência em normas de compatibilidade eletromagnética. Simula ensaios e testes CEM.
- **CIDRAP HAZARDS:** Simula propagação de incêndios, explosões e liberação de gases tóxicos acoplando com a física eletromagnética.

O uso combinado de dois ou mais programas é o mais indicado.

## 7. RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS

Medidas como mapeamento detalhado de fontes de interferências, ensaios em equipamentos, uso de blindagens em cabos e maior distanciamento de equipos sensíveis devem ser adotadas para assegurar a identificação de todos os fatores que possam tornar um local uma fonte potencial de ignição.

### Mapeamento detalhado de fontes de interferências:

- Levantamento exaustivo utilizando sistemas GIS ou CAD de sistemas eletromecânicos como motores, quadros elétricos, transformadores, instalações elétricas aéreas e subterrâneas, antenas, radares, linhas de transmissão, ferrovia nas redondezas que possam induzir campos eletromagnéticos transiente.
- Considerar também interferências naturais como raios atmosféricos.
- Delimitar geometricamente essas "zonas de influência" nos mapas de propagação de riscos da área, considerando também modelagem das estruturas.

### Ensaio em equipamentos:

- Testes periódicos nos limites de indução eletromagnética de cada equipamento através de simulações no domínio do tempo e frequência em câmaras de ensaios CEM.

- Simulações controladas de transientes elétricos de descarga para validar níveis de proteção dos MCBs, SPDs e aterramentos.
- Substituição antecipada de itens próximos ao fim de vida útil obtido por análise de vulnerabilidade e inspeção.

#### **Uso de blindagens em cabos e estruturas:**

- Blindagens individuais de cabos, uso de canalizações metálicas com aterramento, cabinas blindadas e gaiolas de Faraday se houver induções de alto nível.
- Aterramento efetivo das blindagens para rápida dissipação de correntes através de condutores de baixa impedância.

#### **Maior distanciamento de equipamentos sensíveis:**

- Respeitar distâncias mínimas estabelecidas em normas como NFPA77, IEC60079-14 e API500 para cada nível de proteção.
- Evitar proximidade com sistemas de alta/média tensão aéreos e subterrâneos, antenas de comunicação, dutos aéreos.

#### **Monitoramento constante:**

- Equipamentos portáteis ou estações fixas com sondas eletromagnéticas e termopares para detecção precoce de transientes elétricos, aquecimento anormal de componentes ou variação dos campos eletromagnéticos.
- Manutenção preditiva e revisões periódicas dos itens de proteção como SPDs, aterramentos, MCBs e disjuntores para garantir a integridade dos mesmos.
- Implantação de sistema de para-raios completo (SPDA) em toda a área da refinaria e nas proximidades com reação via termo visionamento, detectores de campo e laços de solo.
- Uso de dispositivos de limitação de transientes como filtros passa-baixa/passa-alta, varistores, supressores de surtos instalados nos circuitos elétricos sensíveis como controladores lógicos programáveis (PLCs), drives de motores e interfaces de comunicação.
- Projeto detalhado de painéis e quadros elétricos considerando sobretensões transientes por descargas atmosféricas ou manobras com cabos enterrados/aéreos e adoção de material isolante de alta resistência.
- Barreiras de segurança galvânica entre sistemas operando em tensões nominalmente distintas para evitar equalizações de potencial por acoplamento capacitivo.
- Circuitos elétricos de controle e instrumentação instalados sob tubulações ou túneis devidamente blindados com adoção de raios X para detecção de danos.
- Classificação minuciosa dos locais e equipamentos conforme padrões API 500, NFPA 499, considerando grau de proteção oferecido contra explosões e riscos elétricos.
- Revisões continuadas dos cálculos e simulações de propagação de explosões considerando novas fontes detectadas ou modificações implantadas.
- Treinamentos periódicos de campo com simulações práticas para validação de protocolos de emergência e procedimentos de isolamento seguro de áreas.

- Coordenação interna com outras indústrias próximas visando monitoramento mútuo quando áreas de influência se sobrepuerem.

#### **Algumas outras ações importantes:**

- Realização de Auditorias periódicas para avaliação contínua da eficiência das medidas implementadas e identificação de possíveis gargalos.
- Monitoramento online dos parâmetros elétricos e magnéticos dos sistemas através de sensoriamento e plataformas SCADA, permitindo tomada rápida de decisões.
- Implantação de software de Gestão da Integridade dos Ativos com predição de falhas baseada em modelos probabilísticos fedidos por sensores.
- Desenvolvimento de cultura preventiva através de programa permanente de conscientização de todos os envolvidos.
- Contratação de empresas especializadas em Inspeções Não Destrutivas periódicas para avaliação do estado real das instalações elétricas.
- Parcerias com instituições de pesquisa para desenvolvimento contínuo de soluções inovadoras customizadas para cada ambiente.
- Realização de Simulacros que repliquem cenários de risco para validação das ações em emergências.
- Criação de Documentação Técnica de referência com procedimentos, normas, registros de medições etc.
- Seguro obrigatório que cubra danos humanos, ambientais e patrimoniais decorrentes de eventuais incidentes.

O objetivo é prevenir acidentes através de um programa robusto e evolutivo de Gestão de Riscos Elétricos.

#### **8. PRINCIPAIS MEDIDAS DE SEGURANÇA UTILIZADAS PARA MINIMIZAR OS RISCOS DE INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS EM ZONAS CLASSIFICADAS**

As principais medidas de segurança utilizadas para minimizar os riscos de interferências elétricas em zonas classificadas incluem:

- **Projeto e instalação adequada de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)**

Os SPDA são sistemas projetados para proteger estruturas e equipamentos contra danos causados por descargas atmosféricas. Eles consistem em dispositivos condutores que direcionam a corrente da descarga para o solo, dissipando-a de forma segura.

Em zonas classificadas, os SPDA são essenciais para proteger equipamentos e instalações sensíveis a choques elétricos. Os sistemas devem ser projetados de acordo com as normas vigentes e instalados por profissionais qualificados.

- **Utilização de barreira de segurança galvânica entre circuitos em alta tensão e zonas classificadas**

Barreiras de segurança galvânica são dispositivos que impedem a passagem de corrente elétrica entre circuitos em alta tensão e zonas classificadas. Elas são essenciais para proteger os trabalhadores e o meio ambiente contra o risco de choques elétricos.

As barreiras de segurança galvânica podem ser construídas com materiais diversos, como cerâmica, vidro ou plástico. Elas devem ser dimensionadas de acordo com a tensão nominal dos circuitos envolvidos e instaladas de acordo com as normas vigentes.

- **Aterramento efetivo de estruturas, equipamentos e cabos com baixa impedância**

O aterramento é uma medida essencial para garantir a segurança elétrica de qualquer instalação. Em zonas classificadas, o aterramento deve ser especialmente eficiente, pois a presença de gases inflamáveis aumenta o risco de incêndios e explosões.

O aterramento deve ser realizado com cabos de cobre de baixa impedância e conectados a uma malha de aterramento eficaz. A malha de aterramento deve ser dimensionada de acordo com a tensão nominal dos circuitos envolvidos e instalada de acordo com as normas vigentes.

- **Implementação de projetos eletrostáticos apropriados para dissipação de cargas**

As cargas eletrostáticas podem causar incêndios e explosões em zonas classificadas. Por isso, é importante implementar projetos eletrostáticos apropriados para dissipar essas cargas de forma segura.

Os projetos eletrostáticos devem considerar o tipo de material utilizado na construção das estruturas e instalações, o nível de umidade do ambiente e a presença de fontes de ignição. Eles devem ser implementados de acordo com as normas vigentes.

- **Blindagem e blindagem comum de cabos, dutos e painéis contra indução eletromagnética**

A indução eletromagnética pode causar interferências elétricas em equipamentos e instalações sensíveis. Em zonas classificadas, essas interferências podem aumentar o risco de incêndios e explosões.

A blindagem e blindagem comum são medidas que podem ser adotadas para proteger equipamentos e instalações contra a indução eletromagnética. A blindagem consiste na

utilização de materiais condutores para envolver os cabos, dutos e painéis. A blindagem comum consiste na conexão elétrica de todos os cabos, dutos e painéis entre si.

- **Seleção de equipamentos elétricos intrinsecamente seguros ou à prova de explosão**

Equipamentos elétricos intrinsecamente seguros ou à prova de explosão são projetados para operar em zonas classificadas sem risco de incêndios ou explosões.

Os equipamentos intrinsecamente seguros são projetados para operar sem gerar faíscas ou arco elétrico. Os equipamentos à prova de explosão são projetados para suportar a explosão de gases sem causar danos aos seus componentes.

- **Delimitação física das zonas classificadas com placas de advertência**

A delimitação física das zonas classificadas é importante para alertar os trabalhadores sobre os riscos de incêndios e explosões. As zonas classificadas devem ser delimitadas com placas de advertência que indiquem o tipo de gás inflamável presente e os limites da zona.

- **Inspecções periódicas de sistemas e componentes para detecção precoce de defeitos**

As inspecções periódicas de sistemas e componentes elétricos são essenciais para garantir a segurança de qualquer instalação. Em zonas classificadas, essas inspecções devem ser realizadas com maior frequência, pois o risco de acidentes é maior.

As inspecções devem ser realizadas por profissionais qualificados e devem incluir a verificação de todos os componentes elétricos, incluindo cabos, equipamentos, sistemas de proteção e aterramento.

- **Monitoramento contínuo de parâmetros elétricos e proteção contra sobre/subcorrentes**

O monitoramento contínuo de parâmetros elétricos é importante para detectar e corrigir falhas antes que elas causem acidentes. Em zonas classificadas, o monitoramento deve incluir a verificação de parâmetros como tensão, corrente, temperatura e umidade.

O monitoramento pode ser realizado por meio de sistemas automáticos ou de forma manual. Os sistemas automáticos são mais eficientes, pois permitem a detecção de falhas em tempo real.

- **Treinamento dos operadores sobre riscos e procedimentos de segurança**

O treinamento dos operadores sobre riscos e procedimentos de segurança é essencial para garantir a segurança. Alguns pontos importantes sobre o treinamento dos operadores em relação às interferências elétricas e eletromagnéticas e áreas classificadas:

- Compreensão dos principais mecanismos de interferência e suas fontes, como acoplamento capacitivo, indução magnética, radiação eletromagnética etc.
- Conhecimento das normas e legislação aplicáveis, em especial IEC 60079 e suas especificações sobre aquecimento, sobretensão e proteção de equipamentos.
- Importância do correto mapeamento destas interferências e uso em modelagem e delimitação das zonas de risco.
- Procedimentos de identificação visual e aferição dos parâmetros elétricos e magnéticos com equipamentos portáteis.
- Sinalização e isolamento apropriado das áreas caso ocorram leituras fora dos padrões estabelecidos.
- Ações seguras a serem tomadas durante eventuais ocorrências como descargas atmosféricas.
- Localização e significado da sinalização das diferentes zonas classificadas.
- Restrições operacionais específicas para cada zona quanto a equipamentos, ferramentas e liberação de energia.
- Registros e documentação requerida para manutenção da segurança.
- Treinamentos de reciclagem periódica para atualização com novas normas, mudanças nas plantas e simulações práticas.

## 9. CONCLUSÃO

Ao longo desta discussão, foram abordados diversos aspectos relevantes sobre a identificação e quantificação das interferências elétricas e eletromagnéticas nas áreas classificadas da indústria de petróleo e gás.

Em resumo, a correta quantificação das interferências elétricas é fundamental para a determinação precisa das áreas classificadas e, portanto, para a implantação segura de projetos e operações nesta indústria. É necessário um programa completo e contínuo de gestão de riscos para lidar adequadamente com este desafio.

**author: Elcio J. Blanco**

CEO at **Grenmark Consulting**

Consultor Sênior de ESG / EHS/Explosive Atmosphere