

# DISPERSÃO GASOSA E A CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA PERIGOSA

P. E. Pascon

Instalações industriais onde uma atmosfera inflamável de gás ou vapor pode surgir são normalmente classificadas como zona 0, 1 ou 2 dependendo da probabilidade de ocorrência. Com isso podemos selecionar equipamentos elétricos adequados e evitar o perigo de ignição. Os procedimentos mais adotados para classificação de áreas perigosas são as normas IEC 79-10 e NEC-500. Muitas das recomendações contidas nestas normas, e outras do mesmo assunto, não estão baseados em evidência científica e freqüentemente tem sido suspeitas de não **fornecer o dimensionamento** adequado. A experiência indica que uma abordagem mais técnica, que **reflita de forma mais coerente** a extensão real da área perigosa, melhoraria de forma considerável a precisão da **classificação e consequentemente a utilização do espaço e dos equipamentos**, proporcionando um considerável retorno econômico. **Este artigo sugere o uso da modelagem da dispersão gasosa como uma ferramenta de trabalho.**



## Introdução

Toda vez que um produto na forma gasosa perde sua contenção primária e alcança o ambiente, será carregado pelo vento, e há muito pouco que a intervenção humana possa fazer para controlar o seu destino. Produtos na forma líquida são mais previsíveis e basicamente vão escoar com a inclinação do terreno ou acumular em pontos baixos. Isto significa que derrames acidentais podem ser contidos por diques, depressões e canaletas, ou seja, medidas de proteção podem ser estabelecidas através das boas práticas de projeto. Dependendo da pressão de vapor alguns líquidos podem evaporar e causar uma emissão na fase gasosa. A emissão de sólidos normalmente ocorre durante a transferência de um recipiente para outro. Quanto menor for o tamanho das partículas do sólido maior será o arraste pelo vento.

Alguns dos métodos utilizados para dispersão de gases, com algumas modificações, também

podem ser aplicados para dispersão de poeiras. Aqui visamos apenas analisar a dispersão atmosférica de gases e vapores.

As normas para classificação de área perigosa atualmente em uso são bastante limitadas no que tange ao cálculo da extensão das áreas, o que na realidade deveria constituir a parte mais importante das mesmas. Observa-se apenas alguns exemplos, onde as diversas extensões aparecem já definidas, sem nenhuma justificativa, independentemente das condições de projeto e operação. O capítulo (4.1) da IEC 79-10 afirma que a classificação deveria ser elaborada por profissionais com conhecimento das propriedades dos materiais inflamáveis, mas não faz nenhuma menção quanto ao conhecimento de perda de contenção e dispersão gasosa. É comum observarmos a elaboração de classificação de área perigosa sem quaisquer participação de Engenheiros Químicos, que são os profissionais

normalmente incumbidos de determinar as condições de projeto e operação em plantas químicas e petroquímicas e que dispõem de treinamento específico nos fenômenos de transporte.

O uso de modelos para se prever o que vai acontecer com uma certa quantidade de gás liberada para a atmosfera não é recente, e na realidade os estudos sobre o assunto já tem mais de 100 anos. Nas últimas décadas, diante da evolução nos padrões exigidos para segurança e proteção ambiental, e do avanço brutal na ciência da computação, estes modelos foram incorporados em diversos software e conquistaram definitivamente o uso corrente, sendo desta forma impensável, e as vezes impraticável, uma análise de conseqüências ou uma análise quantitativa de risco (QRA) sem o uso destes modelos. Entretanto, poucas organizações lançam mão deste recurso na elaboração de uma classificação de área perigosa, restringindo-se ao uso e incertezas das prescrições normativas.

## **Princípios da classificação de área**

As instalações nas quais produtos inflamáveis são manuseados ou armazenados deveriam ser projetadas, operadas e mantidas de forma que quaisquer emissão de produto inflamável, e conseqüentemente a extensão de áreas perigosas, sejam minimizadas em relação a sua frequência, duração e quantidade, tanto em operação normal como anormal.

Atividades de manutenção podem afetar a extensão destas áreas, mas espera-se que as mesmas estejam cobertas por um sistema apropriado de permissão para trabalho. As situações de emergência deveriam ser atendidas com o isolamento dos equipamentos elétricos

inadequados, a parada da operação, o isolamento dos equipamentos principais (tanques, bombas,.....), a contenção de derramamentos e, se possível, ventilação adicional de emergência. Nas situações em que uma atmosfera inflamável pode ocorrer, deveríamos a princípio tomar as seguintes medidas: (a) eliminar a probabilidade dessa ocorrência ao redor de uma fonte de ignição, ou, (b) eliminar a fonte de ignição.

Quando nenhuma das duas alternativas for possível, deveríamos selecionar e preparar medidas de proteção, equipamentos de processo, sistemas e procedimentos de forma que a probabilidade de uma atmosfera inflamável coincidir com uma fonte de ignição seja tão pequena quanto possível para ser aceitável.

O objetivo da classificação de área perigosa é dividir uma determinada instalação em áreas específicas em função da probabilidade da presença de misturas [ar + produtos] dentro da faixa de inflamabilidade, tanto em condições normais como anormais de operação. Com base nesta classificação é possível especificar os equipamentos elétricos adequados para o serviço em questão.

O nível de proteção requerido para um determinado equipamento elétrico operando numa certa área deve ser tal que, a probabilidade deste equipamento se constituir numa fonte de ignição para a atmosfera inflamável circundante esteja reduzida ao um nível aceitável.

As áreas perigosas em epígrafe são denominadas **zonas** e estão divididas em **0, 1 e 2**, e segundo a norma IEC 79-10 devem ser interpretadas como:

**Zona 0:** Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, está presente continuamente ou presente por longos períodos.

**Zona 1:** Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, pode ocorrer durante operação normal.

**Zona 2:** Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, dificilmente ocorrerá durante operação normal, e se ocorrer persistirá por um curto período.

Quando uma atmosfera inflamável numa determinada área somente ocorrerá em circunstâncias catastróficas adotamos a designação de **zona não perigosa**

## A atmosfera

O entendimento da atmosfera propriamente dita é essencial diante do fato de qualquer gás ou vapor liberado fica imediatamente a sua mercê. O vento é um fator familiar para todos e muitos de nós também sabemos que o vento é causado por diferenças de pressão na atmosfera terrestre. A velocidade do vento varia com a altitude, com o tipo de terreno e com a direção. Dado esta variação com a altura, as estações meteorológicas normalmente medem esta velocidade numa altura padrão de 10 m.

A principal fonte de turbulência atmosférica é a interação entre o vento e o solo. Quanto maior for a rugosidade do terreno e maior for a velocidade do vento, maior será o atrito e portanto maior será a turbulência criada. Além desta, existe uma outra fonte de turbulência – a temperatura do solo.

Num dia quente, o solo está mais quente que o

ar e provoca correntes de convecção, aumentando a turbulência. Numa noite fria e clara, quando o solo está mais frio que o ar, um mecanismo similar possibilita que a energia seja retirada da turbulência atmosférica, conduzindo a situações muito estáveis. Esta turbulência é um fator muito importante quando tentamos prever o comportamento de uma nuvem em dispersão.

A turbulência depende de 3 fatores: velocidade do vento, a rugosidade do terreno e a presença ou ausência de correntes de convecção. O terceiro fator é normalmente estimado de outros parâmetros observáveis, e uma das melhores formas de se considerá-las é através das categorias de **Pasquill** (tabela 1). A categoria de tempo depende da velocidade do vento e da quantidade de calor que é ganho ou perdido para o solo. As categorias A, B e C são consideradas condições instáveis; a categoria D é considerada como condição neutra; e as categorias E e F são consideradas estáveis.

Velocidade do Vento (m/s)	Categoria	Descrição
< 2,0	A B F	Dia de verão muito ensolarado tempo ensolarado e quente noite clara
2,0 – 3,0	A B C E F	dia de verão muito ensolarado tempo ensolarado e quente dia parcialmente nublado noite parcialmente nublada noite clara
3,0 – 5,0	B C D E	tempo ensolarado e quente dia parcialmente nublado noite e dia nublado noite parcialmente nublada
5,0 – 6,0	C D	dia parcialmente nublado noite e dia nublado
> 6,0	C D	dia parcialmente nublado noite e dia nublado

Tabela 1 – Categorias de estabilidade atmosférica

## Mecanismos de dispersão

Existem vários mecanismos pelos quais um produto liberado de sua contenção primária irá se misturar com o ar. Aqui apresentamos 4 destes mecanismos. Turbulência é o mais importante deles. A turbulência reparte a massa de gás ou vapor, introduzindo ar nos espaços criados.

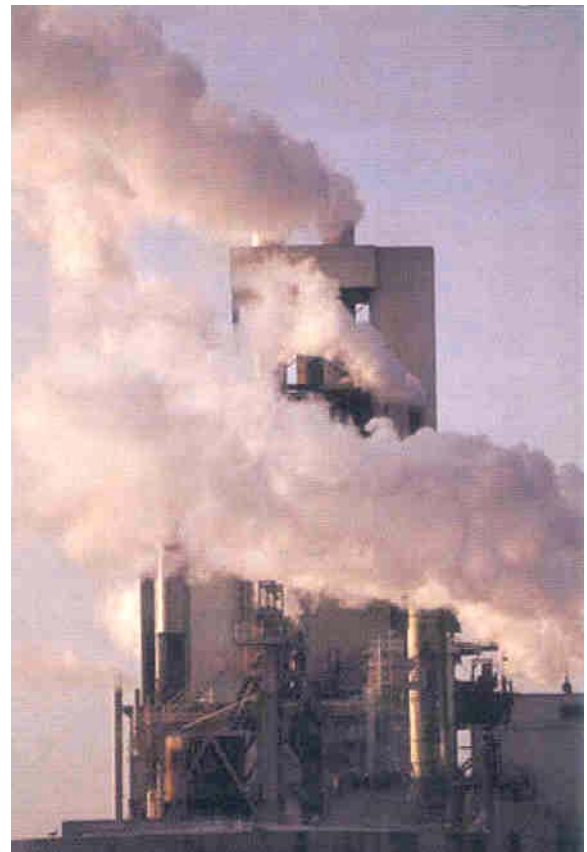
A eficácia de um redemoinho turbilhonar depende do seu tamanho em relação ao tamanho da nuvem de gás. Um redemoinho grande irá tombar a nuvem inteira de uma só vez e provocar uma mistura muito pequena. Entretanto, no caso de uma pluma contínua irá reduzir a concentração média no tempo espalhando a pluma ao redor. Redemoinhos pequenos são capazes de puxar as bordas de uma nuvem e provocar alguma diluição. Os redemoinhos mais eficazes são aqueles similares à nuvem em tamanho. Estes são capazes de rasgar a nuvem e abri-la para o efeito de homogeneização dos redemoinhos pequenos.

Uma parte dos escapes acidentais serão provenientes de fontes pressurizadas. Assim, o produto é liberado a uma certa velocidade. Este jato é capaz por si próprio de arrastar o ar, e pela própria turbulência criada garantir uma boa mistura através de sua extensão. Para gases inflamáveis esta mistura por jato frequentemente é suficiente para diluir o escape até concentrações inferiores ao limite inferior de inflamabilidade, ou seja, até um nível seguro.

Um gás denso, quando entra em contato com o solo, se espalha para os arredores sob ação do seu próprio peso. Com isso cria um redemoinho na frente de espalhamento, o qual arrasta o ar. Este mecanismo pode tornar liberações

acidentais de gases densos, tais como cloro ou GLP, menos perigosos do que imaginado anteriormente.

Uma pluma ascendente ou descendente, ou uma bufada de gás apresenta uma interface com o vento. O vento é então capaz de soprar diretamente dentro da pluma, e na realidade entrar nela por qualquer lado devido aos efeitos de turbilhonamento. Isto propicia um mecanismo adicional de diluição.



**Figura 1 – Exemplo do efeito da turbulência atmosférica em escapes contínuos de flutuabilidade positiva**

## Estimativa das concentrações

Os modelos para se prever o que vai acontecer com uma certa quantidade de gás liberada para a atmosfera podem ser empíricos, matemáticos ou semi-empíricos. A modelagem através do túnel de vento é o tratamento empírico mais

tradicional. Consiste em se fabricar um protótipo em miniatura do sistema onde se espera que ocorra um escape e colocar este protótipo num túnel de vento. Algum meio, tal como fumaça ou gás inerte, é então empregado para tornar visível o trajeto percorrido pelo gás. Sensores de concentração são usados para mapear a distribuição de concentrações. Os dados obtidos são então extrapolados para escala industrial com base nas exigências de similaridade geométrica, cinemática e dinâmica. Modelagem através de túnel de vento é uma técnica cara, mas pode se mostrar necessária quando efeitos de terrenos complicados devem ser levados em conta.

Os modelos matemáticos estão baseados tradicionalmente em equações diferenciais e variam muito em complexidade, mas todos eles tem que assumir hipóteses sobre a atmosfera e exigem o uso de soluções numéricas, com nível crescente de detalhes para fluxos turbulentos. Os efeitos provocados pela turbulência são melhor analisados pelo modo empírico. Podemos observar na prática que a pluma de fumaça de uma chaminé não segue uma trajetória uniforme, exceto em condições excepcionalmente estáticas.

A pluma vagueia nos arredores. Poucas técnicas de modelagem matemática podem atender uma

pluma vagueando, considerando as sinuosidades provocadas pela mudança do vento, enquanto que modelar uma pluma média é muito mais fácil. Esta técnica tem a vantagem de manter a densidade e concentração da pluma próximo do real.

O modelo matemático mais simples que se conhece é a fórmula do “Inspetor de Alcalis”, usada antigamente no Reino Unido para se determinar a altura de uma estaca com emissão contínua de gás tóxico:

$$H^2 = 11 M / P \quad \text{onde:}$$

H = altura da estaca de venteio em (m)

M = vazão mássica de emissão em (kg/h)

P = concentração admissível ao nível do solo em (mg/m<sup>3</sup>)

A dispersão de um gás cuja massa específica é similar a do ar ambiente é chamada de dispersão neutra. Para fins práticos, esta dispersão é habitualmente modelada de forma semi empírica usando uma distribuição Gaussiana para a pluma. Segundo Pasquill e Smith, a observação experimental de plumas com flutuabilidade neutra confirma que a forma Gaussiana é uma descrição satisfatória para uma distribuição de concentrações médias na direção perpendicular ao vento. Dessa forma, o modelo para uma pluma Gaussiana pode ser escrito como:

$$C = \frac{Q}{2 \pi \sigma_x \sigma_y u} \cdot \exp \left| -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right| \cdot \left\{ \exp \left| -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right| \cdot \exp \left| -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right| \right\}$$

onde:

C(x,y,z) = concentração num ponto de coordenadas x, y, e z em (kg/m<sup>3</sup>)

Q = vazão mássica da emissão em (kg/s)

σ = parâmetro de dispersão na respectiva direção, empírico, em (m)

u = velocidade do vento na altura padrão de 10 m

H = altura da fonte de emissão em (m)

Os modelos descritos até aqui se aplicam estritamente a terrenos planos e lisos. É difícil incorporar efeitos do terreno num modelo simples, e muitos dos dados experimentais de dispersão foram coletados em área planas. Estes também são limitados a 2 tipos ideais de

emissão: contínua e instantânea, e em alguns casos apenas um deles. Teoricamente, uma emissão contínua permanece por todo o tempo, mas na prática, uma emissão que continua por um intervalo maior que o tempo que o vento leva para transportá-la até o observador pode ser considerada contínua. De forma similar, uma emissão que ocorre durante um intervalo consideravelmente mais curto do que o intervalo necessário para transportá-la até o ponto de observação pode ser considerada instantânea.

Todos os modelos, matemáticos ou não, tem suas limitações. Além disso, a qualidade dos resultados obtidos será proporcional à qualidade dos dados utilizados. Dados sobre a atmosfera não estão disponíveis como valores precisos, mas apenas como médias e faixas. Portanto, os resultados normalmente são previsões médias apenas, sujeitas a alguma variação. Além disso, existe um número limitado de ensaios experimentais bem documentados para validação de modelos.

### **Alguns modelos tradicionais**

**DEGADIS** é um modelo desenvolvido pela “Environmental Protection Agency” (E.U.A.), apropriado para determinarmos concentrações tóxicas ou inflamáveis causadas por emissões de gases densos a partir de fontes pontuais, para uma determinada condição meteorológica. O comportamento da dispersão de um gás denso é diferente daquele em que o gás é mais leve que o ar. Numa emissão de gás denso com “momentum” zero a pluma cai para o solo e então se difunde horizontalmente. **DEGADIS** leva em conta este comportamento não-

Gaussiano e com o uso paralelo de outros modelos possibilita estudar os seguintes cenários: emissão contínua, emissão de duração finita, emissão transiente, emissão por jato vertical e emissão de poça.

**SLAB** é um modelo desenvolvido pelo “Lawrence Livermore National Laboratory’s” (E.U.A.), também apropriado para simular a dispersão de gases mais densos que o ar. Os tipos de emissão tratados por este modelo incluem: emissão de poça no solo, emissão por jato horizontal elevado, emissão por jato vertical elevado ou de estaca e uma emissão volumétrica instantânea. A dispersão é calculada resolvendo-se as equações de conservação de massa, “momentum” e energia. As equações calculam as médias no espaço de forma que a nuvem é tratada como uma pluma em regime permanente, uma bufada transiente ou uma combinação do dois dependendo da duração da emissão.

**AFTOX** é um modelo Gaussiano desenvolvido pela “U.S. Air Force’s” (E.U.A.), apropriado para plumas e bufadas de flutuabilidade neutra, servindo tanto para fontes de emissão gasosas como líquidos em evaporação. As fontes podem ser modeladas como contínuas, duração finita ou emissão instantânea. As taxas de evaporação podem ser obtidas a partir de um dos modelos populares Vossler, Shell e Clewell.

**INPUFF** é um modelo Gaussiano integrado desenvolvido pela “Environmental Protection Agency” (E.U.A.), apropriado para bufadas de gás com flutuabilidade neutra ou positiva. As fontes podem ser modeladas como contínuas ou emissão instantânea.

## Estudo de caso

Nosso caso é um tanque de estocagem de hexano, padrão API 650, volume 3200 m<sup>3</sup>, diâmetro 20 m, altura 10 m, com operação atmosférica, localizado numa bacia de contenção com largura de 50 m, comprimento de 50 m e altura de 1,2 m. O venteio deste tanque ocorre através de uma válvula de conservação de calibre nominal de 8" e a vazão de transferência é 400 m<sup>3</sup>/h. O software BREEZE HAZ PRO, onde temos disponíveis os modelos DEGADIS, SLAB, AFTOX e INPUFF, foi usado para simular as emissões e estimar as concentrações de vapor resultantes da dispersão nos arredores. As seguintes condições meteorológicas foram adotadas: temperatura = 21,8 oC, umidade relativa = 71,9 %, velocidade do vento = 2,1 m/s.

Uma vez que este tanque é atmosférico e não dispõe de inertização, teremos uma atmosfera inflamável presente por longos períodos, fazendo com que o espaço de vapor no seu interior seja classificado como **zona 0**. Dado ao pequeno volume das emissões fugitivas e à condição de boa ventilação no local não haverá formação de atmosfera inflamável ao redor do tanque durante a operação normal de estocagem.

Durante a transferência de produto para o tanque haverá escape de vapores pelo venteio. A vazão de escape pode ser considerada praticamente igual à vazão de transferência. Consideraremos um escape de 400 m<sup>3</sup>/h de vapor de hexano através de uma abertura de 200 mm, numa altura de 10 m pois esta é a altura do tanque. A simulação da dispersão deste escape através do software BREEZE HAZ PRO, adotando o modelo SLAB, nos mostra que a distância máxima para o limite

inferior de inflamabilidade (LFL) é 2,4 m a partir do ponto de venteio. Como a transferência de produto é uma operação normal, a região compreendida pelo raio de 2,4 m a partir do ponto de venteio é classificada como **zona 1**.

SLAB SUMMARY		
<b>METEOROLOGY:</b>		
ID		005
Name		Região Campinas
Ambient temperature		21.8 ° C
Ambient pressure		1.0 atm
Relative humidity		71.9 %
Wind direction		0 degrees
Wind speed		2.1 m/s
Anemometer height		10.0 meters
Surface roughness		0.1 meters
Stability option		Stability class
Stability class		5 (E)
<b>CHEMICAL:</b>		
ID		BRZ235
Name		Hexane
CAS number		110-54-3
Molecular weight		86.17 g/g-mole
Boiling point		341.9 K
IDLH		5000 ppm
LFL		12000 ppm
UFL		77000 ppm
<b>RELEASE:</b>		
Source type		Liquid spill
Release type		Continuous
Release rate		2.3 m**3/s
Spill area		2500 m**2
Pool temperature		294.5 K
Evaporation rate		435.01 kg/min
<b>OUTPUT:</b>		
Height of interest		1.0 meters
Averaging time		6.0 seconds
Lower contour		12000 ppm
Middle contour		44500 ppm
Upper contour		77000 ppm
<b>RESULTS:</b>		
Concentration ppm		Distance meters
-----		
12000 (LFL)	steady-state	45.964
-----		
44500	steady-state	0.000
-----		
77000 (UFL)	steady-state	0.000
-----		

Figura 2 – Relatório do BREEZE HAZ PRO, modelo SLAB, para derramamento na bacia de contenção, tomando-se concentrações a 1,0 m do piso.

No caso de uma ruptura de acessórios do tanque, parte do tanque ou tubulações anexas poderá haver um derramamento descontrolado e taxas anormais de emissão de vapores, gerando uma atmosfera inflamável na bacia de contenção e arredores devido a poça de líquido acumulada. Esta poça terá as mesmas dimensões da bacia de contenção, ou seja, uma largura e um comprimento de 50 m, que serão adotados para a simulação. A simulação da dispersão do vapor da poça de líquido através do BREEZE HAZ PRO, adotando o modelo SLAB, nos mostra que o limite inferior de inflamabilidade (LFL) estará presente nas seguintes distâncias máximas:

Altura do Piso (m)	Distância a partir do centro da poça (m)	Distância a partir da bacia de contenção (m)
0,5	55,0	30,0
1,0	45,9	20,9
1,5	29,6	4,6
2,0	não atinge LFL	não atinge LFL
2,5	não atinge LFL	não atinge LFL

**Tabela 2 – Distâncias máximas para o limite inferior de inflamabilidade em função da altura, no modelo SLAB**

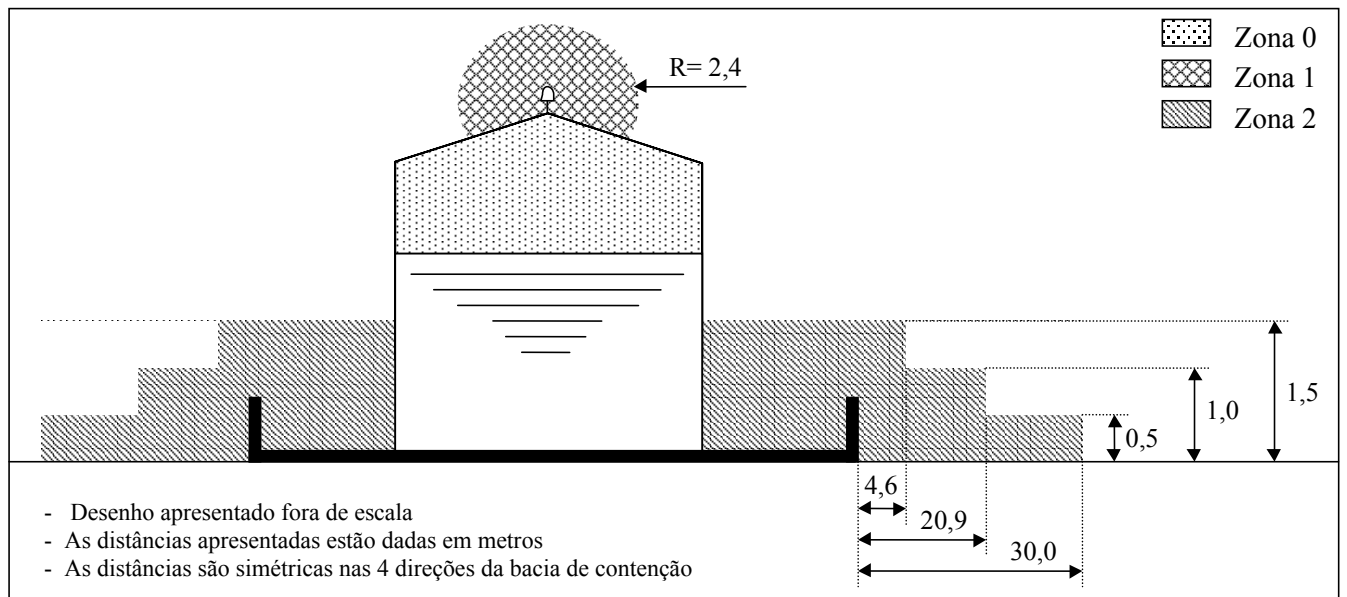
Como podemos verificar a extensão da área perigosa é uma função da altura. A região delimitada pelas distâncias horizontais da tabela acima nas 4 direções e pelas respectivas alturas constituem uma área perigosa. Como derramamento em bacia de contenção é uma ocorrência anormal esta área é classificada como **zona 2**.

### Autor :

**P. E. Pascon**, Eng. Químico, faz parte da equipe profissional da **Processos - Soluções de Engenharia**, empresa especializada nas disciplinas de segurança de processos, prevenção de perdas e proteção ambiental ([www.processos.eng.br](http://www.processos.eng.br)).

### Referências :

1. International Electrotechnical Commission, 1996, IEC 79-10 (Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Classification of Hazardous Areas), Geneva, Switzerland;
2. American Institute of Chemical Engineers - CCPS, 1995, Understanding Atmospheric Dispersion of Accidental Releases, New York, U.S.A.;
3. Environmental Protection Agency, 1993, Guidance on the Application of Refined Dispersion Models to Hazardous and Toxic Air Pollutants Releases, Research Triangle Park, NC, U.S.A.



**Figura 3 – Desenho de classificação de área para o tanque de estocagem de hexano, usando os resultados da modelagem da dispersão gasosa**