

Artigo REF: 11A012

ELEMENTOS PARA O DESENHO DE ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM E MOVIMENTAÇÃO DE GPL: UMA ABORDAGEM SOB O PONTO DE VISTA ATEX

Manuel F. T. Sousa^{1(*)}, Jorge J. G. Martins² e Regina Tristão da Cunha³

¹Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, S. A. - Açores, Portugal

²Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Mecânica - Guimarães, Portugal

³CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade dos Açores, Portugal

(*)Email: manuel.sousa@saaga.pt

RESUMO

A armazenagem e manuseamento de substâncias perigosas, designadamente, Gases de Petróleo Liquefeito (GPL), impõem um elevado rigor e a adopção de práticas que permitam atingir os padrões de qualidade pretendidos e que, ao mesmo tempo, garantam a segurança de pessoas, equipamentos e infra-estruturas, no integral respeito pelo meio envolvente.

No enquadramento legislativo desenvolvido pela Comunidade Europeia, com vista a harmonizar as várias perspectivas existentes na área das atmosferas explosivas (ATEX), impõe-se às organizações que desenvolvem a sua actividade nesses ambientes, uma análise das soluções existentes e dos respectivos sistemas de controlo, não apenas como resposta à legislação mas sobretudo como ferramentas de gestão dos riscos.

Este projecto, que incidiu na área da armazenagem e movimentação de GPL do Parque da Nordela (São Miguel, Açores), da Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, pretendeu desenvolver uma metodologia para classificação das zonas com atmosferas explosivas e determinação da sua extensão, tendo como base o equipamento instalado nessas zonas, os parâmetros reais de funcionamento, as restrições do espaço envolvente e as variáveis ambientais.

1. INTRODUÇÃO

O cenário legislativo actual, enquadrado pelas Directivas 94/9/CE, de 23 de Março e 1999/92/CE, de 16 de Dezembro, da União Europeia, impõe a necessidade de classificação de áreas com atmosferas potencialmente explosivas, a existência de critérios para a selecção de equipamentos, e a adopção de práticas operativas que evidenciem a resposta aos vários requisitos das referidas directivas.

Assim, para sectores como a armazenagem e movimentação de GPL, importa realizar uma análise das soluções existentes e dos respectivos sistemas de controlo, não apenas como forma de resposta à legislação, mas sobretudo como ferramenta de gestão dos riscos associados à operação nesse tipo de atmosferas. Tal processo passará pela necessidade de redefinir as metodologias existentes, normalmente utilizadas na abordagem às atmosferas explosivas, para que estas possam continuar a permitir uma correcta gestão dos equipamentos instalados, a par das práticas operacionais.

As abordagens mais convencionais às exigências das directivas ATEX, geralmente, partem de um layout pré-definido ou existente, e realizam uma análise cujo objectivo é a resposta aos vários pontos da legislação, sendo o resultado normalmente um conjunto de protecções e restrições ao funcionamento das estruturas, mantendo, no entanto, tanto a forma como o conteúdo dos sistemas instalados. Na fase de dimensionamento e desenho de estruturas, processos e postos de trabalho, não são considerados os aspectos relacionados com a existência de atmosferas potencialmente explosivas, sendo esta uma tarefa realizada quase sempre numa etapa posterior.

Neste trabalho propusemo-nos partir do comportamento singular de um conjunto de equipamentos de uma estrutura de armazenagem e movimentação de GPL, seleccionados pela influência, representatividade e importância nos processos mais comuns e, instalados em locais cuja atmosfera é considerada como potencialmente explosiva, para proceder a uma análise que, de acordo com o tipo de equipamento, características, fluidos a movimentar e regimes de funcionamento, permitisse compilar os elementos necessários:

- à classificação das várias zonas ATEX, por equipamento;
- à melhoria da gestão de alterações e/ou instalação de novos equipamentos/estruturas;
- a fornecer pistas conducentes à melhoria do desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL, permitindo optar, desde a fase de projecto, por traçados mais vantajosos, sob o ponto de vista das atmosferas explosivas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os cenários seleccionados para as simulações efectuadas, tiveram como base o Parque de armazenagem e movimentação de GPL da Nordela, da Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, S.A., situado a cerca de 2,5 km do centro da cidade de Ponta Delgada, na ilha de São Miguel (Açores). Esta estrutura, com uma área total de 27.500 m², tem uma capacidade de armazenagem de 2.450 m³, distribuída por três reservatórios superficiais, de configuração esférica. Das actividades aí desenvolvidas, fazem parte o enchimento de garrafas, quer do tipo doméstico, quer do tipo industrial, e o enchimento de carros cisterna. Nos Açores, apenas é utilizado butano, facto que justificou a selecção deste produto para a análise que realizamos.

Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização da envolvente climática do Parque da Nordela de GPL (IM, 2006).

Tabela 1. Resumo das variáveis climáticas utilizadas (IM, 2006).

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Observação</i>
Temperatura média do ar [°C]	16,8	Valores médios mensais registados no período de 1990 a 1994, das 0:00 às 23:00 horas
Humidade relativa média [%]	81,2	Valores médios mensais registados no período de 1990 a 1994, das 0:00 às 23:00 horas
Velocidade do vento [km/h]	13,6	Valores médios mensais registados no período de 1990 a 1994, das 0:00 às 23:00 horas
Direcção do vento	NNE	12,1 % das observações no período de 1990 a 1994, das 0:00 às 23:00 horas
Estabilidade atmosférica	D (neutra)	53,84 % das observações no período de 1990 a 1994, das 0:00 às 23:00 horas

Relativamente aos equipamentos, a selecção efectuada teve em consideração referências a estudos anteriores, onde se apresenta a probabilidade de ocorrência de fugas, por tipo de equipamento (Cox *et al.*, 2003). Como expectável, o valor da probabilidade de ocorrência de uma fuga num equipamento varia na razão directa da frequência de utilização/participação nos vários processos que integra, estando por isso, sujeito a um regime de funcionamento/utilização mais ou menos severo, o que resulta numa maior propensão para o aparecimento de fugas.

3. MODELAÇÃO DE UMA LIBERTAÇÃO DE GPL

A fase de selecção de um modelo matemático para descrever o comportamento de uma libertação de GPL, em condições normais de funcionamento, teve por base estudos de identificação e modelação matemática do comportamento de produtos com densidade superior ao ar, nos quais se integra o butano (Cox *et al.*, 2003; Dandrieux *et al.*, 2006).

O comportamento de uma libertação de uma nuvem de gás, com densidade superior ao ar, permite distinguir quatro fases, ou regiões: expansão, situada imediatamente após o ponto de libertação, caracterizada pela geometria sob a forma de jacto; decaimento, que resulta da acção gravitacional sobre as partículas da nuvem; transição e dispersão passiva, zona sob a influência das variáveis atmosféricas (Dandrieux *et al.*, 2006).

Os modelos matemáticos mais utilizados para a caracterização do comportamento deste tipo de libertações têm domínios de aplicação relativamente bem conhecidos. No caso presente, optou-se por utilizar modelos do tipo gaussiano, uma vez que os resultados disponíveis apontavam para um desempenho adequado ao pretendido (Dandrieux *et al.*, 2006). Outro factor que se teve em consideração foi a relativa simplicidade de utilização das equações de base, na elaboração de rotinas de cálculo automático.

Assim, foram estabelecidos alguns cenários, para os quais se definiu constrangimentos, e se efectuou a caracterização da libertação, em função dos equipamentos, estado de fluído (fase líquida ou gasosa), velocidade de emissão e duração da libertação.

A Tabela 2 lista alguns equipamentos comuns em estruturas de armazenagem e movimentação de GPL, e os respectivos cenários de libertação, em fases líquida e gasosa.

Tabela 2. Exemplos de equipamentos de um Parque de armazenagem e movimentação de GPL e respectivos cenários de libertação em fases líquida e gasosa.

<i>Fase da libertação</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Cenário (geometria da libertação)</i>
Gasosa	Compressor	Jacto gasoso
	Dreno de purga gasosa	Pluma
	Tubagem com ligação flangeada	Jacto gasoso
	Pontos de ligação de instrumentos	Jacto gasoso
	Válvulas	Jacto gasoso
Líquida	Bomba	Jacto e vaporização ou charco e vaporização
	Mangueira flexível	Jacto e vaporização ou charco e vaporização
	Dreno de purga líquida / ponto de amostragem	Jacto e vaporização ou charco e vaporização
	Tubagem com ligações flangeadas	Jacto e vaporização ou charco e vaporização
	Válvulas	Jacto e vaporização ou charco e vaporização

Para a modelação do comportamento dos equipamentos que constam dos cenários da Tabela 2, tomaram-se como equações principais (Cox *et al.*, 2003):

a. Emissão em Fase Gasosa – escoamento subsónico:

$$\dot{m} = \frac{C_D}{v_2} \sqrt{2p_1 v_1 \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (1)$$

b. Emissão em Fase Gasosa – escoamento supersónico:

$$\dot{m} = C_D \sqrt{\frac{k \cdot p_1}{v_1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (2)$$

c. Emissão em Fase Líquida:

$$\dot{m} = C_D \sqrt{2 \cdot \rho_L (p_1 - p_2)} \quad (3)$$

Em que:

\dot{m} – caudal mássico, por unidade de área [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

C_D – coeficiente de descarga

p – pressão absoluta [Pa]

v – Volume específico do gás [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]

k – factor de expansão isentrópica [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]

ρ_L – densidade do líquido [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$_1$ – índice, condições iniciais

$_2$ – índice, condições finais

d. Dispersão de jacto em Fase Gasosa – escoamento subsónico:

$$\frac{C_{CL}}{C_0} = 5 \frac{d_0}{x} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_0}} \quad (4)$$

Em que:

C – concentração [m^3/m^3]

d_0 – diâmetro equivalente do ponto de fuga [m]

x – distância ao ponto de libertação, ao longo da linha central [m]

ρ_a – densidade do ar ambiente [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_0 – densidade do gás no ponto de libertação [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

e. Dispersão de jacto em Fase Gasosa – escoamento supersónico:

$$\frac{m_{cl}}{m_e} = 1 - \exp \left(\frac{-1}{k' \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_{eq}} \frac{z^*}{r_{eq}}}} - X_c \right) \quad (5)$$

Em que:

m – fracção de massa [kg/kg]

d_0 – diâmetro equivalente do ponto de fuga [m]
 k', X_c – constantes
 ρ_a – densidade do ar ambiente [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 ρ_{eq} – densidade do gás sob condições equivalentes [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 z^* - distância axial corrigida [m]
 r_{eq} – raio equivalente [m]
 e – índice, condições no ponto de fuga
 cl - índice, condições ao longo da linha central

f. Dispersão de gás (em pluma):

$$\chi = \frac{\dot{m}}{\pi \cdot \sigma_y \sigma_z u} \quad (6)$$

$$\sigma = \exp[a + b \ln(x) + c(\ln(x))^2] \quad (7)$$

Em que:

χ – concentração [kg/m^3]
 \dot{m} – caudal mássico libertado [kg/s]
 u – velocidade da ventilação [m/s]
 σ – coeficientes da dispersão [m]
 x, y, z – distâncias segundo a direcção da ventilação, perpendicular à ventilação e vertical
 a, b, c – constantes

Em face do exposto, surge então a necessidade de caracterizar cada equipamento quanto ao tipo e dimensão dos pontos de fuga. Tal tarefa não se revela fácil, dado que não existe a prática de compilar/registar a existência de fugas de reduzida dimensão, designadamente, no que respeita à quantificação/estimativa da área de libertação, e uma avaliação posterior com base em relatórios de manutenção não é realizável.

Desta forma, cada ponto de fuga foi traduzido como um orifício padrão, de dimensão equivalente à do equipamento em questão. A Figura 1 mostra o caso de uma válvula de corte, cuja geometria é de macho cónico, onde se identificaram os possíveis pontos de fuga. A quantificação da área do ponto de libertação é a que se mostra na Tabela 3 (Cox *et al.*, 2003).

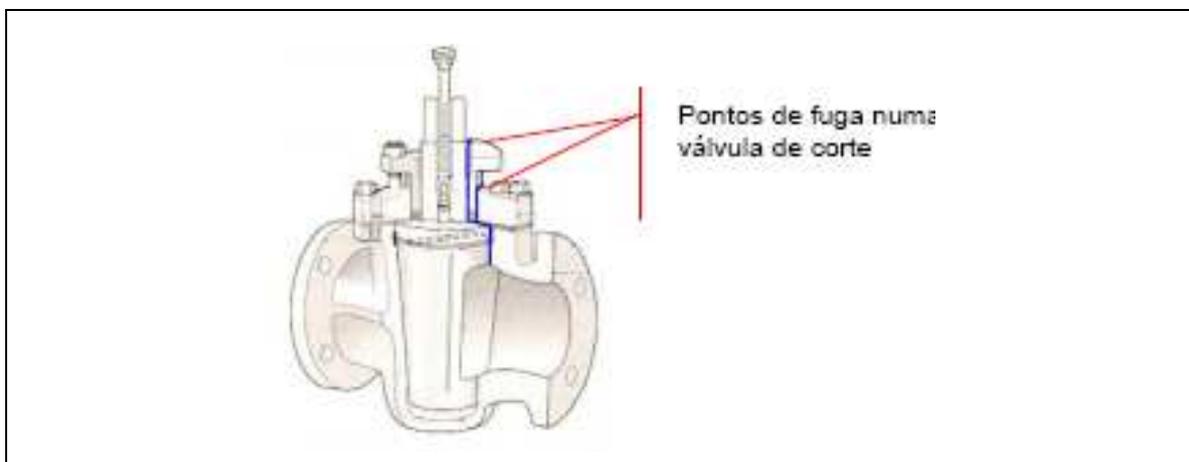


Figura 1. Válvula AUDCO – representação em corte, onde se evidenciam possíveis pontos de fuga (Nordstrom Audco, 2004).

Tabela 3. Valores adoptados para a caracterização dos pontos de fuga para alguns equipamentos.

<i>Equipamento</i>	<i>Ponto de fuga mais provável</i>	<i>Caracterização do ponto de fuga</i>
Bomba e/ou Compressor	Zona da chumaceira (vedação do veio em rotação)	Área do escoamento função do diâmetro do veio e da tolerância em relação ao vedante
Válvulas	Pela haste da válvula, devido a uma vedação deficiente entre o macho e a sede.	~ 0.250 mm ² ($\varnothing < 6''$; $n_{op} < 10$) ~2.500 mm ² ($\varnothing > 6''$; $n_{op} > 10$)
Ligações flangeadas	Zona da junta de ligação, por deterioração do material ou devido ao binário de aperto	Falha do material da junta numa secção compreendida entre dois Pernos consecutivos
Drenos de purga e pontos de amostragem	Válvula ou ligação flangeada que lhes está associada	--

Outra questão considerada na modelação foi o efeito da ventilação uma vez que esta vai influenciar os valores de concentração de uma substância e, em consequência, o nível de explosividade da atmosfera em causa, ou seja, a necessidade de classificação da zona, incluindo-a num dos níveis de zonas ATEX.

A determinação da influência da ventilação nos valores de concentração dependerá, essencialmente, dos seguintes factores: intensidade ou grau e disponibilidade.

Este tipo de controlo envolverá uma, ou a combinação das seguintes situações:

- Por diluição, gerando um nível de ventilação suficiente para evitar que os níveis de concentração atinjam o limite inferior de explosividade (LIE) da substância presente;
- Por redução da frequência de concentrações com valores superiores ao LIE, ou do tempo de permanência desses valores;
- Por exaustão, forçando a substituição do volume em questão, para posições localizadas.

Um dos efeitos práticos da análise das atmosferas explosivas é a definição de zonas, ou seja, a imposição de limites físicos em torno dos equipamentos ou sistemas, onde exista a probabilidade de ocorrer uma fuga, cuja concentração seja mensurável e que, quando comparada com os limites de inflamabilidade da substância em causa, se situe dentro desse intervalo. Essa classificação vai determinar o grau de protecção necessário, quer para os equipamentos a instalar, quer para as actividades a desenvolver nesse espaço, minimizando desta forma o risco de aparecimento de um ponto de ignição. Esta abordagem tem em consideração os potenciais pontos de ignição, que não se limitam nem se esgotam nos equipamentos eléctricos.

Atendeu-se ainda à relevância prática das noções apresentadas, uma vez que a ignição de uma fuga, por determinado ponto de ignição, não depende apenas do volume envolvente a esse ponto de fuga, mas de um volume composto, dadas as possíveis fontes de fuga existentes na vizinhança. Isto significa que não importa apenas a distância do ponto de fuga à localização da ignição, mas também a densidade dos possíveis pontos de fuga.

A classificação das zonas ATEX foi elaborada com base nas definições propostas na norma internacional IEC 60079-10, *Classification of hazardous areas*, (IEC, 2002), segundo a qual a extensão das zonas depende da distância, calculada ou estimada, desde o ponto de fuga até a

um ponto onde o valor da concentração seja inferior ao limite inferior de explosividade (LIE) da substância em causa. Esta distância pode ser de alguma forma “modelada”, impedindo a sua dispersão ou forçando a sua contenção, por interposição de barreiras físicas, pela injeção de um caudal de ar que seja suficiente para evitar a penetração da atmosfera exterior num determinado espaço, ou por meio do estabelecimento de uma condição de sobrepressão.

Segundo a mesma norma, a *zonagem* é feita em função da frequência com que ocorrem concentrações relevantes (superiores ao LIE), e da duração dessa condição de atmosfera explosiva, distinguindo-se as seguintes situações:

- Zona 0 – espaço onde a ocorrência de uma atmosfera explosiva pode tomar um carácter permanente, por períodos prolongados ou com muita frequência;
- Zona 1 – espaço onde é expectável a ocorrência ocasional de uma atmosfera explosiva, durante a operação normal;
- Zona 2 – espaço onde não é expectável que se verifique a existência de uma atmosfera explosiva, durante a operação normal, no entanto caso ocorra, a sua duração será por um período de tempo curto;
- Zona não classificada – espaço onde não se verifica qualquer das situações anteriores.

Para a quantificação destes conceitos foi utilizada a matriz que consta da Tabela 4, estabelecida de acordo com Cox *et al.* (2003). Esta metodologia tem por base um guia para a classificação de áreas perigosas, no âmbito da instalação de equipamento eléctrico, que toma como entradas a probabilidade de se detectar uma atmosfera explosiva, num período padrão de um ano, e a duração total da fuga.

Tabela 4. Classificação das zonas potencialmente explosivas em função da probabilidade de ocorrência de fugas e da duração (Cox *et al.*, 2003).

<i>Probabilidade (em 365 dias)</i>	<i>Duração total da fuga em 365 dias [horas]</i>	<i>Zona</i>
$p > 10^{-1}$	$t > 1000$	Zona 0
$10^{-3} < p \leq 10^{-1}$	$10 < t \leq 1000$	Zona 1
$10^{-5} < p \leq 10^{-3}$	$0.1 < t \leq 10$	Zona 2

A metodologia adoptada para a definição das zonas potencialmente explosivas cruzou a classificação em função da ocorrência de fugas e da duração respectiva (Tab. 4) com os valores para a quantificação de fugas, que resultaram da análise dos dados disponíveis sobre a frequência deste tipo de acontecimento (Tab. 5).

Tabela 5. Distribuição da frequência de fugas por ano (Cox *et al*, 2003). A – área equivalente do ponto de fuga ou libertação.

<i>Equipamento</i>	<i>Dimensão da fuga</i>	<i>Quantificação</i>	<i>Frequência [fugas/ano]</i>
Bomba	Fuga franca	A	3×10^{-5}
	Fuga média	0.1 A	3×10^{-4}
	Pequena fuga	0.01 A	3×10^{-3}
Válvula	Fuga franca	A	10^{-5}
	Fuga média	0.1 A	10^{-4}
	Pequena fuga	0.01 A	10^{-3}
Flange	Perda de secção	A	10^{-4}
	Pequena fuga	0.1 A	10^{-3}
Ligações e picagens para instrumentos	Fuga franca	A	5×10^{-4}
	Fuga média	0.1 A	5×10^{-3}

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi executado um programa informático, especificamente, para o cálculo e simulação. Este software, designado por *Zonas*, desenvolvido em ambiente Matlab, permitiu a criação de uma interface com o utilizador, para introdução/alteração dos dados de entrada, e a sua capacidade de cálculo permitiu a realização das iterações necessárias ao tipo de análise pretendida. Foi possível ainda, nessa mesma plataforma, aproveitar directamente as variáveis de saída, para a visualização dos resultados sob a forma gráfica, permitindo uma interpretação mais adequada. A Figura 2 mostra a interface com o operador que permite a introdução dos dados e o sumário dos resultados de cada simulação.

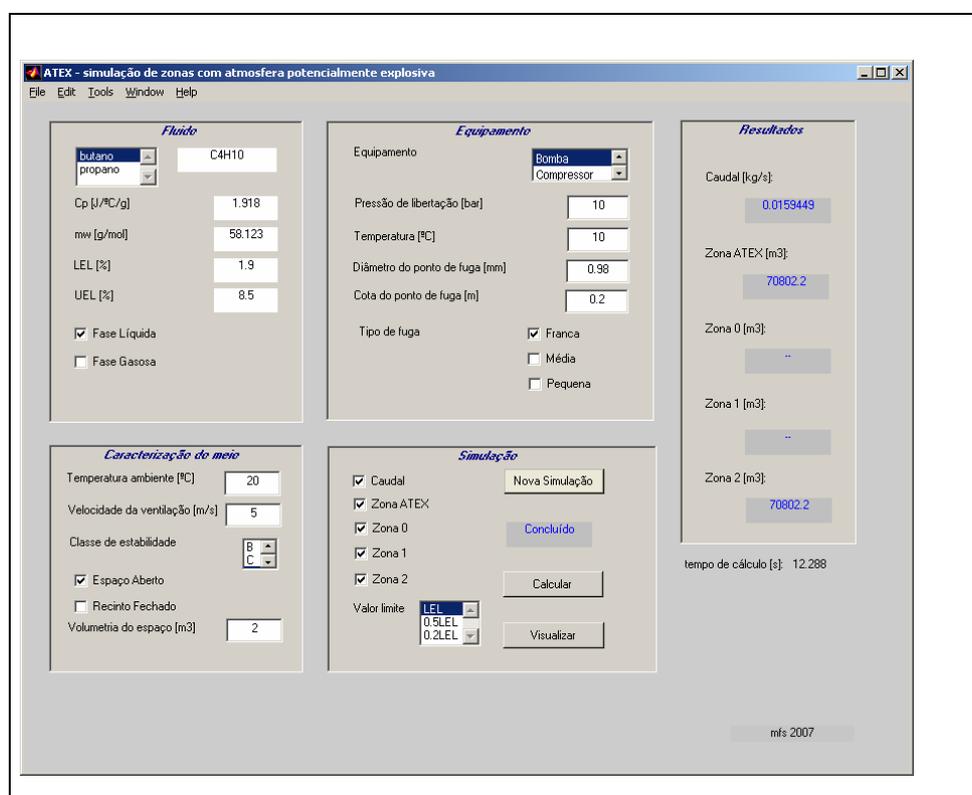


Figura 2. Programa informático Zonas - interface com o operador.

Para a realização das simulações, e determinação das variáveis, com vista à definição posterior das zonas ATEX - áreas com probabilidade de ocorrer uma atmosfera potencialmente explosiva -, foi seleccionado um conjunto de cenários (Tab. 6), que foram caracterizados face às condições reais de funcionamento e tipo de montagem e posicionamento no parque de armazenagem e movimentação de GPL da Nordela.

Tabela 6. Resumo dos cenários seleccionados.

<i>Cenário</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Fluído</i>	<i>Fase</i>	<i>Caracterização da fuga</i>
1	Bomba	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
2	Compressor	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva
3	Válvula	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
4	Válvula	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva
5	Flange	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
6	Flange	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva

A título de exemplo, apresenta-se os resultados do Cenário 1 referindo, em particular, as condições iniciais de funcionamento utilizadas (Tabela 7.), as etapas da rotina de cálculo e os resultados das simulações efectuadas.

Tabela 7. Cenário 1 - Caracterização do equipamento e condições de funcionamento.

Equipamento	Bomba SIHI CEH 6104
Regime de funcionamento	Contínuo (4+4)h/dia
Ø veio	32 mm
Velocidade de rotação	1450 rpm
Pressão à admissão	3 bar
Pressão de saída	10 bar
Cota do ponto de libertação	200 mm
Velocidade do vento	2 m/s (~7.2 km/h)
Temperatura ambiente	20 ° C
Classe de estabilidade	D (neutra)
Dimensão da fuga	Franca

Para o cenário referido, nas simulações realizadas no programa de cálculo *Zonas*, consideraram-se as seguintes etapas:

- a emissão dá-se em fase líquida. O cálculo do caudal libertado faz-se utilizando a equação (3), assumindo $C_D=0.62$ (Cox *et al.*, 2003).
- Como se trata de um gás liquefeito (butano), imediatamente após a libertação em fase líquida, dá-se uma descompressão instantânea (*flash*). Efectua-se o cálculo da parcela que vaporiza imediatamente após a libertação.
- A parcela que *flashes* dispersa-se como uma pluma. Utilizando a equação (6), efectua-se o cálculo da concentração em função da distância ao ponto de libertação.
- Com base no resultado obtido no ponto anterior, determina-se a distância DI_{LIE} , desde o ponto de libertação até que se atinja um valor de concentração correspondente ao LIE do butano.
- A restante parcela libertada é projectada sob a forma de *spray*. Assumindo que o jacto de líquido forma um ângulo de 60° com a projecção vertical do ponto de libertação, e é dirigido para o solo, determina-se a distância d , de alcance desse jacto, onde se formaria um charco. Porém, as gotículas de *spray* evaporam ao entrar em contacto com o solo, dispersando como pluma. Utilizando a equação (6), calcula-se a concentração em função da distância a esse ponto de contacto com o solo.
- Finalmente, determina-se o raio R_{LIE} da calote esférica que circunscreve a dispersão que corresponde a um valor de concentração igual ao limite inferior de explosividade do butano, a partir de um ponto situado à distância d , calculada no ponto anterior.

Para as condições iniciais descritas para o Cenário 1, resultam valores que indicam que teremos concentrações inferiores ao LIE do butano, para uma distância de 1,07 m da origem do ponto de libertação. Esta distância é uma consequência da dispersão da parcela que é projectada sob a forma de *spray* que atinge o solo à distância de 0,346 m (Fig. 3).

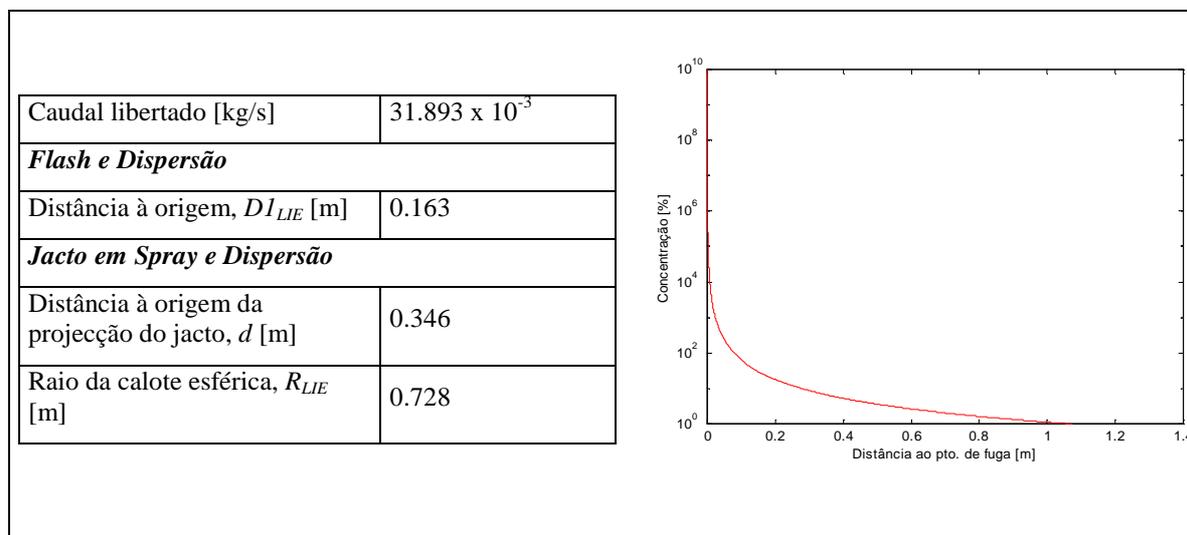


Figura 3. Resultados obtidos para o Cenário 1.

Em face destes resultados, a classificação da Zona ATEX decorre dos pressupostos teóricos apresentados nas Tabelas 4 e 5, designadamente, os critérios de classificação face à probabilidade de ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva e a probabilidade de ocorrência de fugas num equipamento com esta tipologia.

Realizando nova iteração para o cenário 1, considerando os outros tipos de fugas, que se caracterizou para o equipamento em questão (bomba de GPL), iremos obter a classificação e extensão das zonas ATEX, representadas na Figura 4, onde se visualiza, em planta e em corte, o volume confinado pela atmosfera explosiva resultante das libertações avaliadas. Desta forma, obtemos uma Zona 1 (a traço de cor laranja) originada pela maior probabilidade de ocorrência de uma fuga de pequenas dimensões, e uma Zona 2 originada pela probabilidade de ocorrência de fugas francas (volume representado a traço de cor azul).

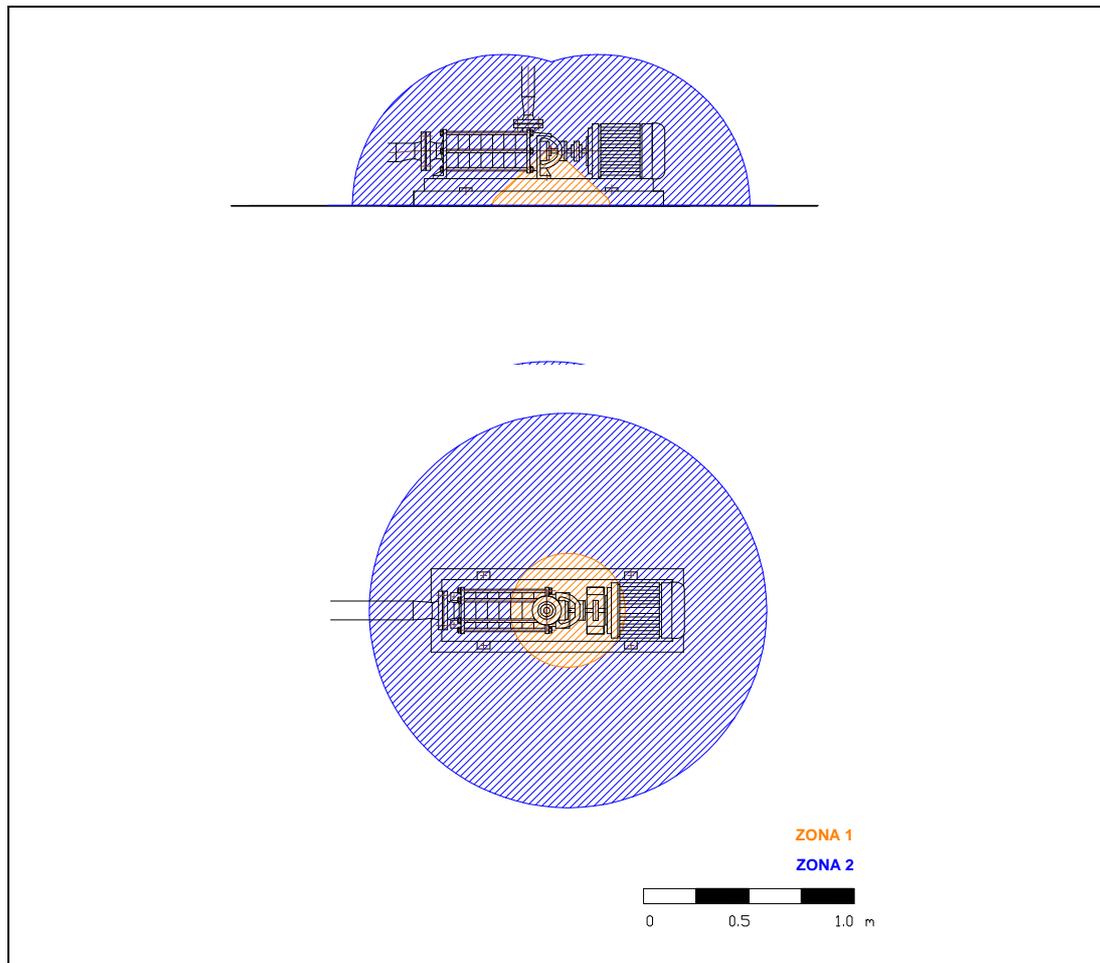


Figura 4. Zonagem para o Cenário 1, bomba de GPL, em condições de operação normal.

Aplicando esta metodologia para cada elemento e respectivo cenário, obtém-se a resposta individual desse elemento e o volume ATEX que lhe está associado. Estendendo esta metodologia de *zonagens parciais* a uma instalação ou a parte desta, o volume ATEX resultará da composição dos volumes obtidos para cada elemento singular.

A Figura 5 apresenta a zonagem resultante do desenvolvimento deste processo, numa estação de bombagem de GPL, constituída por duas bombas de GPL, um colector de admissão comum, um colector de retorno, também comum, e pelos troços de saída de cada uma das bombas. Os resultados das simulações efectuadas para cada um dos elementos em separado, permitiu determinar tanto a extensão como a classificação, do sistema na sua globalidade, resultando em *Zonas 1*, junto às bombas de GPL (traço a cor laranja, na Fig. 5), e uma *Zona 2*, também representada na Figura 5 (traço de cor azul).

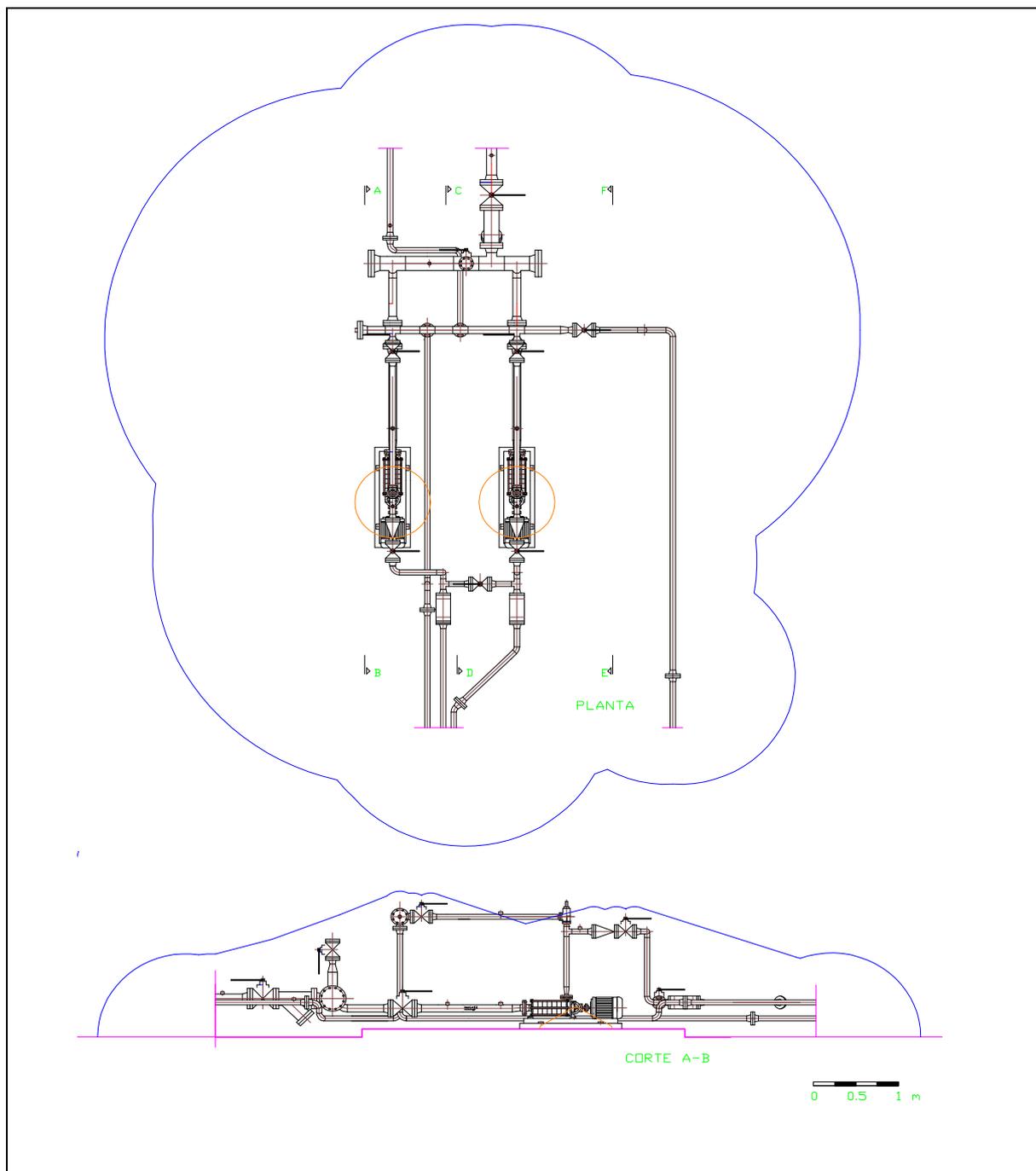


Figura 5. Resultado do estudo da zonagem para a estação de bombagem de GPL, em condições de operação normal.

Se alterarmos os pressupostos iniciais, por exemplo no caso de situações de manutenção, corresponderão resultados diferentes, já que se alteram tanto as condições de funcionamento, como a probabilidade de ocorrência de fugas. Tal mudança configura alterações na extensão, e/ou na classificação da zona e, conseqüentemente, vem realçar o conceito de *zonagens dinâmicas* (Sousa, 2007), ou seja, adequadas às condições reais de funcionamento do(s) equipamento(s) e instalações no seu global.

Cruzando os resultados obtidos para a operação normal (Fig. 5), com os de uma situação de manutenção (no exemplo, de um elemento filtrante à entrada de uma das bombas), obtiveram-se as diferenças traduzidas na Figura 6.

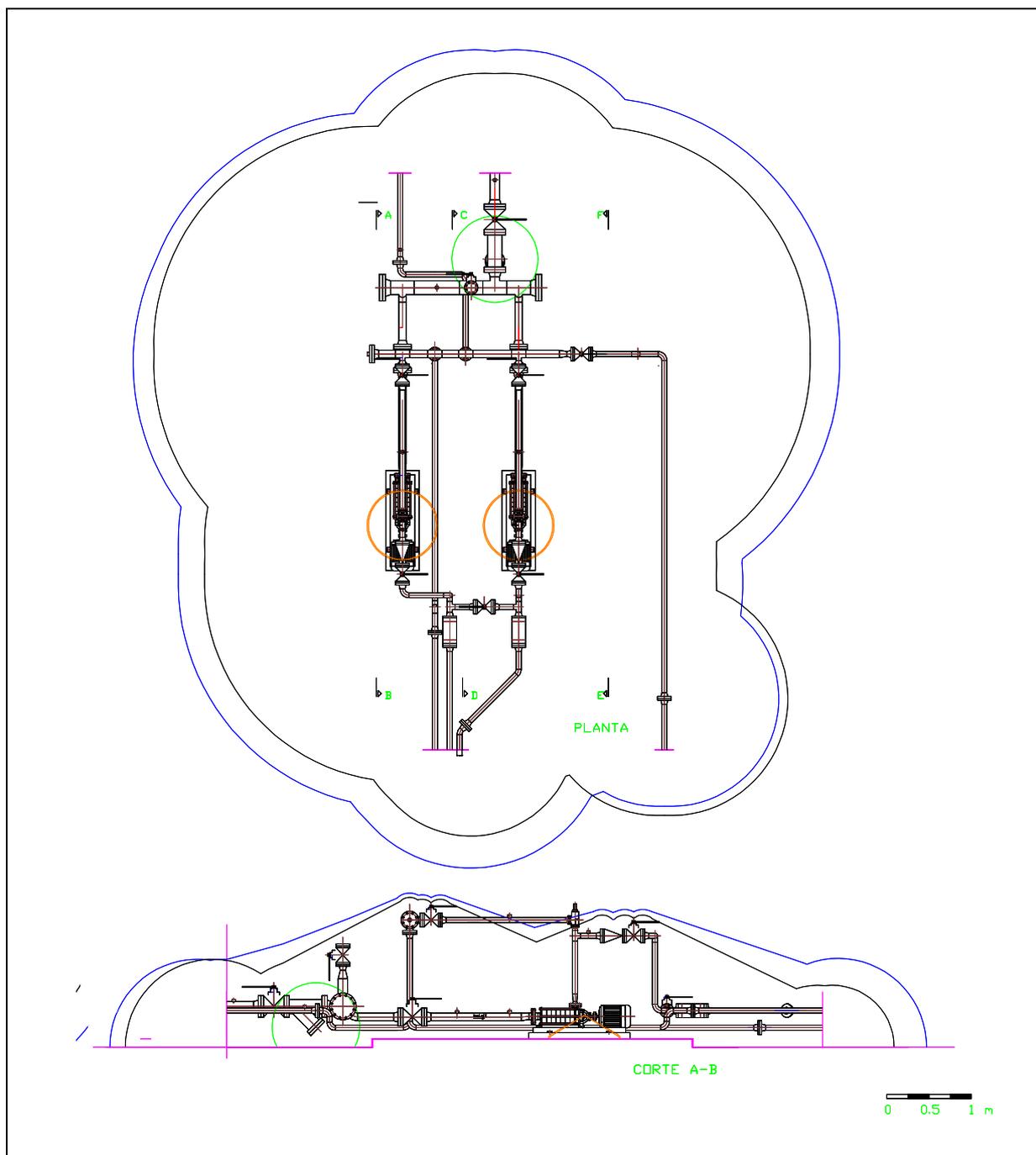


Figura 6. Comparação entre a zonagem obtida para a situação de operação normal (traço a azul) e uma operação de manutenção ao filtro à entrada das bombas (traço preto).

Essa diferenças verificam-se na classificação das zonas, nomeadamente o aparecimento de uma Zona 0, que circunda o elemento alvo da intervenção (traço de cor verde na Fig. 6), e na continuidade de uma Zona 2. Em termos de extensão, embora a zonagem nas duas situações apresente uma configuração semelhante, esta resultou com uma dimensão menor aquando da situação de manutenção (traço de cor preto na Fig. 6), o que se explica pelo facto dos valores de pressão a que está sujeito o conjunto ser também menor.

5. CONCLUSÕES

Em consequência dos resultados obtidos neste estudo, uma das conclusões importantes é a constatação da necessidade de ajustar o processo de análise, quando se alteram as condições de funcionamento, os parâmetros físicos da instalação ou a envolvente, dado a dependência quer em termos de extensão, quer em termos de classificação das zonas ATEX.

A adopção de uma metodologia como a que foi descrita, que assenta no comportamento de cada tipo de fuga, permite mesmo numa fase de projecto ou alteração de estruturas de armazenagem e movimentação de produtos potencialmente perigosos, testar as várias hipóteses de desenho, optando pelas mais vantajosas, ao mesmo tempo que possibilita que se equacionem várias soluções para controlo das zonas classificadas como potencialmente explosivas.

6. REFERÊNCIAS

Cox, A. W., F. P. Lees & M. L. Ang. *Classification of hazardous locations*. 7th Ed. Institution of Chemical Engineers. U.K. 2003.

Dandrieux, A., J. P. Dimbour & G. Dusserre. A simple model for calculating chlorine concentrations behind a water spray in case of small releases. *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 18: 245-253. 2005.

Dandrieux, A., J. P. Dimbour & G. Dusserre. Are dispersion models suitable for simulating small gaseous chlorine releases? *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 19: 683-689. 2006.

Directiva 94/9/CE, de 23 de Março de 1994. Relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros sobre aparelhos e sistemas de protecção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Directiva 1999/92/CE, de 16 de Dezembro de 1999. Relativa às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores susceptíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas.

Health and Safety Executive. *Modelling of dense gas dispersion in tunnels*. Health and Safety executive. United Kingdom. 2001.

International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC 60079-10 – Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 10: Classification of hazardous locations*. International standard. 4ª Ed. 2002.

Sousa, M. F. T. *Elementos para o desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL: uma abordagem sob o ponto de vista ATEX*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Ambiente, Saúde e Segurança. Universidade dos Açores. Ponta Delgada. 2007