

ABORDAGEM TEÓRICA DE LIBERAÇÕES BIFÁSICAS A PARTIR DE GÁS LIQUEFEITO

Deborah Almeida dos Anjos

Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química,
deborah_almeida89@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da utilização da eletricidade pelas indústrias, no final do século XIX, equipamentos elétricos foram instalados em ambientes com presença de substâncias inflamáveis. Ainda nessa época, segundo OBE e MCLEAN (1999), surgiram os primeiros debates sobre o potencial dos equipamentos elétricos em se tornarem fontes de ignição de atmosferas explosivas. Percebeu-se que as máquinas elétricas, tão necessárias para a indústria emergente, também poderiam provocar explosões dentro de uma área industrial.

O processo industrial frequentemente envolve o uso, processamento ou armazenamento de materiais perigosos (inflamáveis). Evidentemente as plantas industriais associadas com estas operações necessitam ser dispostas e controladas de modo que estes materiais não se inflamem ou causem explosão, gerando danos às pessoas ou a própria planta. Deste modo, pode ocorrer em determinados locais a mistura de gases, vapores, poeiras, fibras inflamáveis, que associadas com o ar, em proporções adequadas, formam a atmosfera explosiva (GARSIDE, 1995; ERTHAL, 2004).

Muitos acidentes envolvem lançamentos bifásicos de produtos químicos perigosos para a atmosfera que são principalmente armazenados e transportados como líquidos pressurizados em condições acima da pressão de saturação. Dessa forma, é necessário um conhecimento prévio do processo para melhor compreensão de seu comportamento e desenvolvimento de novas operações que, segundo Mcmillan (1998), devem existir a um grau em que as explosões sejam tão raras que o risco é largamente compensado pelos benefícios dos processos em que pode ocorrer. Sendo assim, realizou-se um breve estudo acerca de liberações bifásicas no estado de gás liquefeito de forma a colaborar com a compreensão destes tipos de vazamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atmosferas inflamáveis podem ser formadas onde líquidos inflamáveis são manuseados abaixo do seu ponto de fulgor, na forma de neblina ou pulverizado, segundo o IP (Institute of Petroleum)-parte 15 (2002). Certos líquidos deverão ser tratados como inflamáveis, normalmente definidos como não perigosos, quando eles são bombeados ou estão sob pressão, sendo capazes de produzir neblina ou ser pulverizados como, por exemplo, na possibilidade de vazamento através de um pequeno orifício, de uma tubulação ou de uma falha de flange. Neste caso, eles devem ser tratados como um líquido perigoso, gerando uma área classificada adequada ao risco. Já para a norma Petrobras N-2166 (1999), as substâncias inflamáveis incluem os gases, os líquidos altamente voláteis (LAV) e os vapores de líquidos inflamáveis ou combustíveis.

A liberação de um material depende de:

- As propriedades físicas do material perigoso;
- O processo ou condições de armazenagem;
- A forma como a liberação (acidental) ocorre;
- Possível interação mecânica e física subsequente com o meio ambiente.

As substâncias inflamáveis podem escapar dos sistemas de armazenamento de forma diferente em relação ao estado e a taxa de emissão (BOSCH *et al.*, 2005).

a) Estado:

- Gás ou vapor (fase única);
- Líquido que dificilmente evapora durante o vazamento (fase única);
- Gás liquefeito ou líquido que se evapora durante o vazamento.

b) A velocidade do vazamento: que pode ser alta ou baixa.

2.1 Liberação Bifásica a Partir do Estado de Gás Liquefeito

Se um gás liquefeito pressurizado flui através de um tubo, a pressão local se tornará menor que a pressão de vapor do material líquido. Essa queda de pressão ocorre devido ao atrito com as paredes do tubo, causando o sobreaquecimento do líquido que flui, podendo aparecer uma fase gasosa devido à vaporização de parte do material.

Este mesmo comportamento pode ser observado na situação em que ocorre uma pequena ruptura de um vaso causando o surgimento de uma fenda ou um furo por onde o gás liquefeito pressurizado irá fluir para fora. Parte da fase liquefeita irá evaporar-se (*flashing*) até que a mistura vapor / líquido arrefeça atingindo uma temperatura abaixo do ponto de ebulição (BOSCH *et al.*, 2005).

Na liberação de gases liquefeitos pressurizados, depois do flash, que ocorre logo após a liberação do material líquido, as duas situações seguintes são possíveis de se desenvolver:

- I. Um jato de vapor com um spray de gotas de líquido;
- II. Um jato de líquido com bolhas de vapor.

O jato de vapor carregado de gotículas (*spray*) irá arrastar (*entrainment*) o ar e as gotas no jato irão evaporar devido ao calor trazido para o jato pelo ar. Uma parte dessas gotículas pode cair sobre o solo (*rainout*), em determinado tempo t , e formar uma (evaporação) poça líquida. O jato líquido com bolhas de vapor também formará (evaporação) a poça. O vapor de água no jato, presente devido a umidade relativa do ar, pode condensar. Finalmente todas as gotículas evaporam e um jato monofásico, que ainda possa conter vapor de água condensado, permanece. Essas etapas do vazamento podem ser observadas na Figura 1.

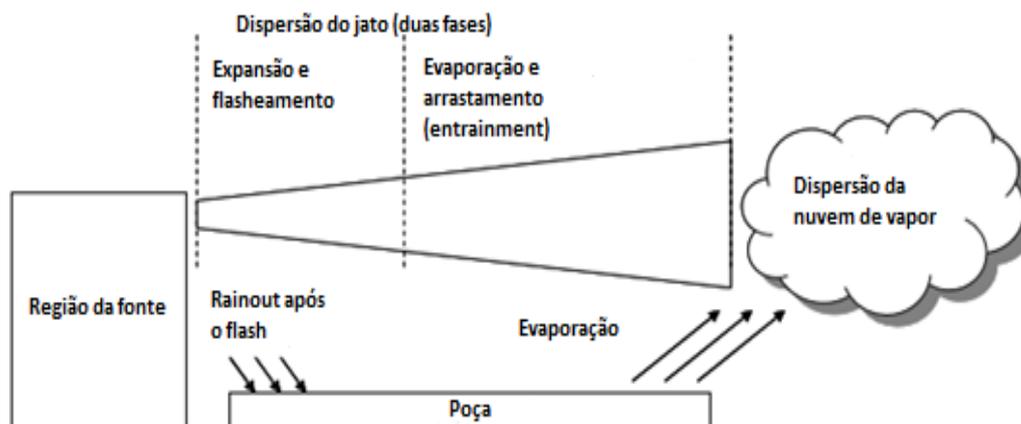


Figura 1 – Vista esquemática de um vazamento bifásico.

Fonte: Adaptado de Koornneef *et al.*(2009).

Tem sido observado experimentalmente que a região de 'expansão' é composta de gotas grandes movendo-se com o aumento da velocidade. A velocidade começa a diminuir na região de arrastamento devido à mistura com o ar ambiente à medida que o jato se propaga, como pode ser observado na Figura 2.

A temperatura axial mantém-se diminuindo bem abaixo da temperatura de ebulição à pressão ambiente atingindo seu mínimo com a evaporação das gotículas. Além desse ponto, a temperatura sobe para o valor ambiente. O tamanho e a velocidade média das gotículas também diminuem devido à evaporação na região de arrastamento (CALAY e HOLDO, 2007).

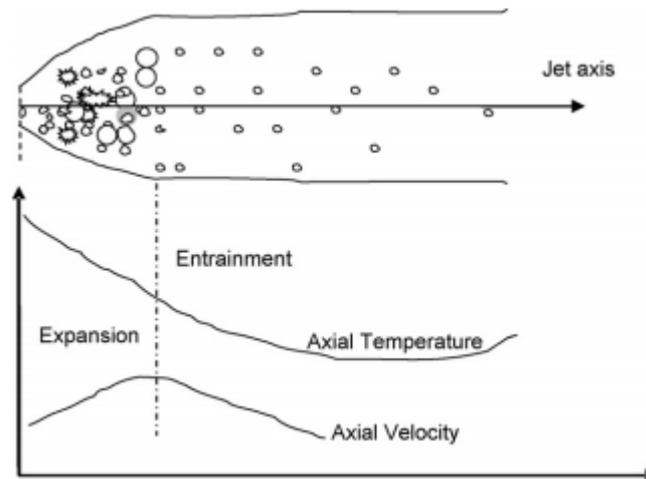


Figura 2 – Região de expansão e arrastamento, temperatura típica e variação de velocidade ao longo do jato.

Fonte: CALAY e HOLDO (2007).

Fausk (1988) realizou a modelagem desse sistema de vazamento, porém, também é possível modelar o jato a partir das correlações apresentadas em Bosch (2005) baseadas no Modelo de Equilíbrio Homogêneo (MEH ou HEM- *Homogeneous Equilibrium Model*).

2.1.1 Expansão e Flasheamento

Flashing é uma violenta quebra do gás liquefeito em pequenas gotículas que ocorre quando este gás entra em contato com as condições ambiente (temperatura atmosférica e pressão) no ponto de vazamento. A combinação de instabilidades hidrodinâmicas e condições de não equilíbrio térmico, levam ao flasheamento (CALAY e HOLDO, 2007).

Na região de expansão, o gás liquefeito, ao entrar em contato com o ambiente, expande a medida que sua pressão diminui. Esta, atinge um valor menor que a pressão de saturação provocando o flasheamento do produto liberado que resultará em uma fase vapor e uma fase líquida composta de gotículas com diferentes tamanhos.

Nesta região é realizado o cálculo da fração de vapor que pode ser obtida a partir de relações termodinâmicas ou pela aplicação de um algoritmo flash.

2.1.2 Evaporação e Arrastamento

A medida que o jato de duas fases se dispersa, as gotículas entram em contato com o ar provocando o arraste do mesmo. Neste contato haverá transporte de energia, devido ao gradiente de temperatura, provocando a evaporação das gotículas, que se encontram a uma temperatura inferior a ambiente, e conseqüente transporte de massa.

Nesta região pode haver a ocorrência de chuva ou *rainout*, onde gotículas com diâmetros maiores que um diâmetro máximo podem sair do eixo de propagação do jato e atingirem o solo. Para saber se ocorrerá a chuva, determina-se o tamanho da gota, a qual é considerada representativa de todas as outras, e o tamanho máximo abaixo do qual o fenômeno *rainout* não ocorre. As gotas remanescentes continuam arrastando o ar e evaporando, dessa forma, elas iram diminuir ao longo do jato até evaporarem completamente.

Ainda nesta região é possível haver vapor de água condensado devido a umidade relativa do ar. A medida que as gotículas se dispersam com o jato, podem entrar em contato com o vapor de água e condensá-lo, este pode evaporar-se novamente devido a transferência de energia com o ar. Ao final da região de arraste só haverá o vapor do componente químico que foi liberado, ar seco e vapor de água (podendo haver algumas gotas de água).

3. CONCLUSÕES

Os sistemas de liberações bifásicas possuem uma considerável complexidade e, a maioria das correlações existentes na literatura para modelagem do jato são empíricas. Dessa forma, ter um conhecimento prévio deste processo, de maneira a melhor compreendê-lo, é de suma importância uma vez que se torna possível prever situações adversas e, a partir destas, controlar as condições do sistema, com base na classificação da área de risco, afim de evitar acidentes.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH, C.J.H. van den; WETERINGS, R.A.P.M.; DUIJM, N.J.; BAKKU, E.A.; MERCX, W.P.M.; BERG, A.C. van den; ENGELHARD, W.F.J.M.; DOORMAN, J.C.A.M. van; WEES, R.M.M.. **Methods for the calculation of physical effects: due to releases of hazardous materials (liquids and gases)**. Yellow Book. 3.ed., 2005;

CALAY, R. K.; HOLDO, A. E. **Modelling the dispersion of flashing jets using CFD**. Science Direct, Journal of Hazardous Materials, p. 1198-1209, 2007;

FAUSKE, H.K.; EPSTEIN, M. **Source term considerations in connection with vapour cloud modelling**. *J Loss Prev Proc Ind.* 1988;

GARSIDE, R. **Electrical apparatus and hazardous areas**. Aylesbury, Buckinghamshire,UK: Hexagon Technology Limited, 2 ed.rev., 1995;

INSTITUTE OF PETROLEUM. **Model code of safe practice in the petroleum industry**. part 15: area classification code for installations handling flammable fluids.2. ed. London: The Institute of Petroleum, 2002;

KOORNNEEFA J.; SPRUIJT, M.; MOLAG, M.; RAMIREZ, A.; FAAIJ, A.; TURKENBURGA, W. **Uncertainties in risk assessment of CO₂ pipelines**. Science Direct. Energy Procedia, p. 1587-1594, 2009;

MCMILLAN, A.. **Electrical Installations in Hazardous Areas**. Oxford: Butterworth- Heinemann, 1998.

OBE, W. C.; MCLEAN, I. **Electrical equipment for flammable atmospheres**, Londres: International Conference on Explosion Safety in Hazardous Areas. England: Institute of Electrical Engineers, 1999.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS. Comitê de Normas Técnicas(CONTEC): **Norma PETROBRAS N-2166 – classificação de áreas para instalações elétricas em refinarias de petróleo**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2001.