



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

TÍTULO DO TRABALHO: Análise de Riscos do Laboratório de Análise de Combustíveis da Universidade Federal do Paraná / Agência Nacional do Petróleo

Felipe Rodrigues Chote, Prof. Dr. Georges Kaskantzis

UFPR- Universidade Federal do Paraná

Setor de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

Centro Politécnico - Jardim das Américas- Curitiba, PR

lipao@demec.ufpr.br; kaska@engequim.ufpr.br ;

Resumo – A Análise de Riscos consiste no exame sistemático de uma instalação industrial (projeto ou existente) de sorte a se identificar os riscos presentes no sistema e formar opinião sobre ocorrências potencialmente perigosas e suas possíveis conseqüências. Seu principal objetivo é promover métodos capazes de fornecer elementos concretos que fundamentem um processo decisório de redução de riscos e perdas de uma determinada instalação industrial, seja esta decisão de caráter interno ou externo à empresa. Existem dois tipos de análise de risco: a análise qualitativa e a quantitativa. A análise qualitativa estuda todos os possíveis riscos existentes do local, e relaciona estes riscos de acordo com a probabilidade de tais acidentes acontecerem e com as conseqüências provenientes de tais acidentes. Os riscos que apresentam alta probabilidade de acontecer e que provoquem grandes danos à estrutura ou as pessoas são analisados, então, de maneira quantitativa. A análise quantitativa busca determinar os efeitos causados por estes possíveis acidentes. Ambas as análises devem ser feitas no local estudado. Assim é possível identificar e remediar os riscos existentes. Foram estipulados 2 cenários para a utilização de técnicas quantitativas. Os cenários estudados estão relacionados com os riscos existentes no armazenamento de gasolina em tambores armazenados no Laboratório de Análise de Combustíveis da UFPR / ANP. Os modelos associados aos cenários em estudos foram obtidos da literatura. Os cenários estudados foram Incêndio em poça e Explosão não confinada. Para cada cenário estudado foi possível avaliar as conseqüências de danos materiais, humanos e ambientais associados aos acidentes. Os resultados mostram que no caso do incêndio em poça para uma distância de 61,35 e 42,8 metros a partir do centro da chama ocorrem queimaduras em terceiro grau e primeiro grau, respectivamente, em pessoas que não estejam protegidas e, para a explosão não confinada os resultados mostram que para uma distância de 15,43 metros do centro da explosão uma pessoa tem 90% de chance de ter ruptura de tímpano, e para uma distância de 9,5 metros do centro da explosão uma pessoa tem 99% de chance de falecer.

Palavras-Chave: Análise de Riscos, Segurança, Combustível

Abstract – Risks Analysis consists of the systematic exam of an industrial installation (I project or existent) to identify the present risks in the system and to form opinion about potentially dangerous occurrences and its possible consequences. There are two types of risks analysis: the qualitative and the quantitative. The qualitative analysis studies all the possible existent risks of the place, and it relates these risks in agreement with the probability of such accidents happen and with the coming consequences of such accidents. The risks that present high probability of happening and that provoke great damages to the structure or the people are analyzed, then, in a quantitative way. The quantitative analysis search to determine the effects caused by these possible accidents. Two sceneries were specified for the use of quantitative techniques. The studied sceneries are related with the existent risks in the storage of gasoline in barrels stored in the Laboratory of Analysis of Fuels of UFPR / ANP. The models associated to the sceneries in studies were obtained of the literature. The studied sceneries were Fire in pools and Unconfined Explosion. For each studied scenery it was possible to evaluate the consequences of material damages, humans and environmental associated to the accidents. The results show that in the case of the fire in pool, for a distance of 61,35 and 42,8 meters starting from the center of the flame, burns happen in third degree and first degree, respectively, in people that are not protected and, for the Unconfined explosion the results show that for a distance of 15,43 meters of the center of the explosion a person has 90% of chance of having tympanum rupture, and for a distance of 9,5 meters of the center of the explosion a person has 99% of chance of dying.

WORD-KEY: Analysis of Risks, Safety, Fuel

1. Introdução

O aumento dos riscos de acidentes industriais de grande periculosidade, provenientes da utilização de tecnologias mais avançadas e complexas, maior número de matérias primas e insumos, criação de novos processos e produtos, grandes capacidades de armazenamento e transporte de produtos perigosos, fez com que aumentasse a pressão sobre as empresas no sentido de reduzirem seus riscos, esclarecerem os cidadãos sobre os mesmos e adotarem medidas de emergência e contenção de riscos eficientes. Além do mais, com a evolução do tecido social, temas notadamente ligados às áreas ecológicas e de acidentes do trabalho passaram a preocupar o público ao redor das indústrias e, conseqüentemente, as autoridades governamentais. Como conseqüência, as indústrias foram obrigadas a examinar com mais acuidade os efeitos de suas operações intra e extra-muros.

Neste sentido, o gerenciamento de riscos surgiu como instrumento de mitigação e administração de riscos presentes no meio industrial, oferecendo filosofias e ferramental técnico que visam otimizar o uso da tecnologia, a qual sofre avanço acelerado e, não raramente, inconsistente com os padrões mínimos de segurança que devem estar presentes dentro de atividades industriais. O gerenciamento de riscos dentro de uma empresa representa a possibilidade de se atribuir segurança e confiabilidade aos processos e procedimentos, constituintes do seu ambiente operacional, permitindo a integração de dois pólos que, até então, se relacionavam indiretamente: a segurança do trabalho e a segurança patrimonial.

Este trabalho busca contribuir para o aperfeiçoamento operacional do Laboratório de análise de combustíveis da ANP, através do estudo de alguns cenários de incêndio e explosão de tambores de gasolina. A Figura 1 mostra o Laboratório de Análise de Combustíveis da UFPR/ANP.



Figura 1. Laboratório de Análise de Combustíveis

O Laboratório de análise de combustíveis da UFPR / ANP teve suas atividades iniciadas em maio de 2000. Localiza-se nas Usinas Piloto A e B da UFPR. Atualmente são analisadas, aproximadamente, 200 amostras de combustíveis por mês. Cerca de 2500 postos do Paraná são visitados no total, em faixa 500 por mês. O laboratório atende além do Monitoramento, a Fiscalização da ANP e o PROCON.

2. Materiais e Métodos

2.1 Incêndio em poça

Neste cenário é admitido que toda a gasolina contida em um tambor vaze para o chão, seja por qual for o motivo, e forme uma poça. Esta poça então pega fogo, causando um incêndio, como mostrado na figura 2.

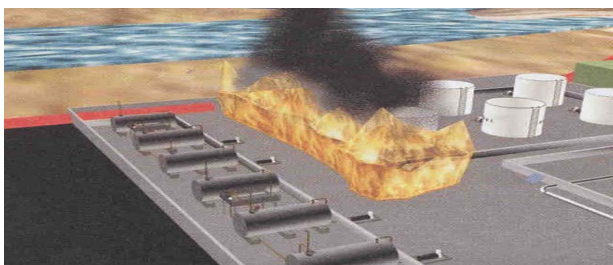


Figura 2. Incêndio em poça

Foi feito um estudo bibliográfico a fim de se determinar as propriedades da gasolina.

Começamos então pelo incêndio em poça. Alguns dados são pertinentes para os cálculos que serão realizados, e estão na tabela 1.

Tabela 1. Algumas propriedades físico-químicas da gasolina e do ar

Volume do tambor	0,159	m ³
densidade da gasolina	750	kg/m ³
densidade do ar	1,1614	kg/m ³

A primeira coisa a ser feita é estimar a área da poça formada quando vazou todo o combustível do tambor. Assumiu-se que o terreno é plano e impermeável, e que a poça formada é circular. De acordo com o software de análise de riscos “ARCHIE”, a área da poça é dada por:

$$\log(A) = 0,492 \log(m_p) + 1,617 \quad (1)$$

onde A é área da poça em ft² e m_p é a massa da poça em lbs. Depois se calcula a velocidade de queima da superfície líquida da poça. De acordo com Brown, Wesson e Welker (1975), tem-se:

$$m = m_\infty [1 - \exp(-k_3 d)] \quad (2)$$

onde d é o diâmetro da poça em ft, m é a velocidade de queima da superfície líquida da poça em in/min, m_∞ é a velocidade de queima da superfície líquida de uma poça de diâmetro muito grande em in/min (= 0,6), k₃ é uma constante em ft⁻¹ (= 0,2). Feito isso, calcula-se a relação L/D, que relaciona a altura da chama com o diâmetro da poça. De acordo com Thomas (1963), temos:

$$\frac{L}{D} = k_4 \cdot \left(\frac{m_T}{\rho_a (gD)^{1/2}} \right)^{0,6} \quad (3)$$

onde D é o diâmetro da poça e L é o comprimento da chama ambos em metros, m_T é a taxa de queima de massa de combustível em kg/m²s, g é a aceleração da gravidade em m/s², ρ_a é a densidade do ar ambiente em kg/m³ e k₄ é uma constante (adotada neste trabalho igual a 42). O próximo passo é calcular a emissividade da superfície da poça. De acordo com J. Cook, Z. Bahrami e R. J. Whitehouse (1989), a emissividade da superfície da poça para um combustível que produza fumaça é dada abaixo:

$$E_s = 140 \exp(-0,12D) + 20 [1 - \exp(-0,12D)] \quad (4)$$

onde E_s é a emissividade da poça em kW/m² e D é o diâmetro da poça em m. Por fim, calcula-se as distancias para os fluxos de calor de 5 e 10 kW/m². Uma pessoa exposta a um fluxo de calor de 5 kW/m² terá queimaduras de até primeiro grau e uma pessoa exposta a um fluxo de calor de 10 kW/m² terá queimaduras de até terceiro grau, com probabilidade de morte de 1%.

$$X_{10} = 0,3 \frac{Rp}{0,3048} Ep^{0,57} \quad (5)$$

$$X_5 = 0,43 \frac{Rp}{0,3048} Ep^{0,57} \quad (6)$$

onde X₅ é a distancia para um fluxo de calor de 5kW/m² em m, X₁₀ é a distancia para um fluxo de calor de 10kW/m² em m, Rp é o raio da poça em m e Ep é a emissividade da poça em kW/m².

2.2 Explosão não confinada

Explosões que ocorrem ao ar livre são ditas não confinadas, conforme mostrado na figura 3.



Figura 3. Explosão não confinada

O vazamento acidental de gases ou líquidos inflamáveis na atmosfera pode resultar na formação de uma nuvem de uma mistura explosiva vapor/ar. A ignição da nuvem originará uma frente de chama que se propagará através da região explosiva da nuvem. Dependendo da velocidade da frente de chama, pode ser criada uma onda de pressão.

2.2.1 Modelos para estimativa dos efeitos de uma UVCE

Para o cenário de explosão não confinada foram feitas algumas considerações, localizadas na tabela. 2.

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas da gasolina e do ar utilizados na simulação dos cenários.

LEL da gasolina no ar	1,4	(%v/v)
PCI da gasolina	43961	kJ/kg
pressão atmosférica de Curitiba	90,68	kPa
volume do Laboratório	614,22	m ³
temperatura ambiente	25	°C
massa molecular da gasolina	98	kg/kmol
massa molecular do ar	29	kg/kmol

Vários modelos têm sido propostos, porém o modelo mais simples e mais conhecido é o chamado “equivalente TNT”.

2.2.1.1 O Modelo “Equivalente TNT”

Este modelo consiste em transformar uma UVCE numa explosão de uma certa massa de TNT (trinitrotolueno) com os mesmos efeitos. Uma vez conhecida a “massa equivalente de TNT”, pode-se, a partir de ábacos bastante simples, conhecer a sobrepressão desenvolvida a uma distância dada pela explosão. Desta forma:

$$MequivalenteTNT = \frac{a \cdot M \cdot Q}{4690} \quad (7)$$

onde M é a massa de produto (kg) e Q é o calor de combustão do produto (kJ/kg), e a é a relação entre a energia de combustão da massa equivalente de TNT e a energia de combustão potencialmente disponível liberada na explosão. Entende-se massa de produto como toda a massa que formou a nuvem de vapor. No caso de vazamentos de hidrocarbonetos, geralmente usa-se a=10%.

O próximo passo é encontrarmos a distância reduzida Z. A figura 4 fornece um gráfico da sobrepressão de uma explosão de TNT versus a distância reduzida. Estudos anteriores demonstraram que as probabilidades de morte igual a 99% e probabilidades de ruptura de tímpano igual a 90% são dadas para picos de pressão de 2 e 0,84 bar, respectivamente. Entrando com estes valores no gráfico da figura 4, encontramos a distância reduzida Z em metros. Para encontrarmos, finalmente, as distâncias para as probabilidades de morte e ruptura de tímpano de 99% e 90%, respectivamente, usa-se a seguinte equação:

$$Z = \frac{D_{desejada}}{(MequivalenteTNT)^3} \quad (8)$$

onde Z é a distância reduzida em metros e D_{desejada} é a distância desejada em metros.

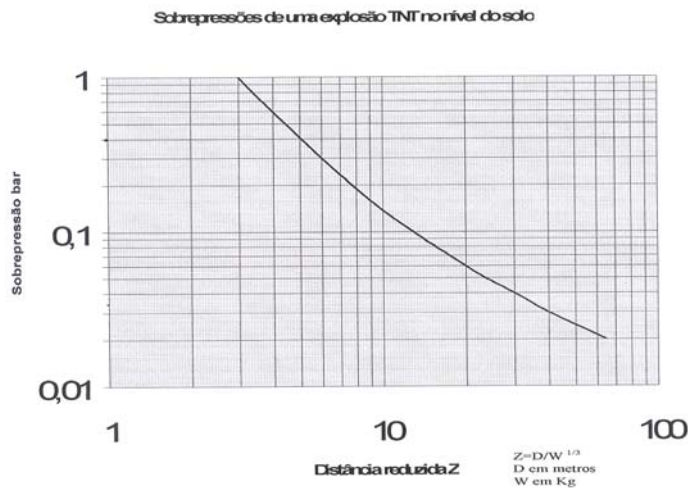


Figura 4. Sobrepções de uma explosão ao nível do solo

2.2.1.2 O modelo de M.J. Tang e Q.A. Baker

O método desenvolvido por M.J. Tang e Q. A. Baker é baseado em dados experimentais, e apresenta resultados mais precisos, em comparação com o método do equivalente TNT, para pequenas distâncias do centro da explosão.

Conhecido o limite inferior de explosividade do combustível (LIE), deseja-se saber a porcentagem em volume de combustível que irá vaporizar. Para isso torna-se necessário determinar o volume do recinto onde este combustível está presente. Utilizando a equação dos gases ideais, pode-se determinar a massa de combustível em forma de vapor.

O próximo passo é determinar a pressão escalar ou “scaled overpressure” (\bar{P}). Ela é dada pela razão do pico de pressão pela pressão atmosférica absoluta. Feito isso se calcula a energia dissipada pela nuvem de vapor na explosão.

$$E = PCI_G m_G \quad (9)$$

onde E é a energia dissipada pela nuvem de vapor em kJ, PCI_G é o poder calorífico inferior da gasolina em kJ/kg e m_G é a massa de gasolina suspensa no ar em kg. Agora calcula-se o parâmetro \bar{R} , visto que a scaled overpressure já é conhecida. O parâmetro \bar{R} é obtido da fórmula:

$$\bar{P} = \frac{0,34}{\bar{R}^{4/3}} + \frac{0,062}{\bar{R}^2} + \frac{0,033}{\bar{R}^3} \quad (10)$$

Por fim, encontra-se a distância desejada, chamada “stand-off distance” (R). Ela é obtida da equação abaixo:

$$\bar{R} = \frac{R}{(E/p_0)^{1/3}} \quad (11)$$

onde p_0 é a pressão atmosférica.

3. Resultados

Os resultados obtidos para os cenários de incêndio em poça e explosão não confinada estão demonstrados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Incêndio em poça

altura da poça (m)	raio da poça (m)	altura da chama (m)	distância para um fluxo de calor de 5 kW/m ² (m)	distância para um fluxo de calor de 10 kW/m ² (m)
0,003	3,99	30,53	61,35	42,80

Tabela 4. Explosão não confinada

Método de Baker			
Probabilidade de fatalidade = 99%		Probabilidade de ruptura de tímpano = 90 %	
pico de pressão (kPa)	distância para probabilidade de 99% de fatalidade (m)	pico de pressão (kPa)	distância para probabilidade de 90% de ruptura de tímpano (m)
200	9,5	84	15,43

Método TNT equivalente			
Probabilidade de fatalidade = 99%		Probabilidade de ruptura de tímpano = 90 %	
pico de pressão (kPa)	distância para probabilidade de 99% de fatalidade (m)	pico de pressão (kPa)	distância para probabilidade de 90% de ruptura de tímpano (m)
200	11,65	84	17,36

Para o cenário de incêndio em poça, variou-se a altura da poça desde 0,001 metro até 0,01 metro. O valor calculado aproximado foi de 0,003 metro. Para esta altura de poça calculada, encontrou-se as distâncias para um fluxo de calor de 5 kW/m² e 10 kW/m². Caso uma pessoa fique exposta a um fluxo de calor de 5 kW/m² sem as proteções devidas por mais de um minuto, ela terá queimaduras de 1º grau. Caso esta mesma pessoa fique exposta a um fluxo de 10 kW/m² por mais de um minuto, esta pessoa terá queimaduras graves de 3º grau. Para uma altura de poça de 0,003 metro, a altura teórica da chama formada seria de 30,53 metros.

Para o cenário de explosão confinada, utilizou-se dois modelos matemáticos diferentes. Ambos modelos obtiveram resultados aproximados, no entanto o modelo de Tang e Baker é mais preciso para pequenas distâncias do centro da explosão do que o modelo do TNT equivalente. Com ambos os modelos foi possível encontrar as distâncias do centro da explosão onde uma pessoa localizada teria probabilidade de ruptura de tímpano igual a 90% e probabilidade de morte igual a 99%, por exemplo.

4. Conclusão

Através dos resultados obtidos, foi possível concluir que para o cenário de incêndio em poça, uma pessoa localizada a 61,35 metros do centro do incêndio e sem as proteções adequadas sofreria queimaduras de primeiro grau se fosse exposta a esse fluxo de calor por mais de 1 minuto. Caso esta pessoa estivesse a 42,80 metros de distância do centro do incêndio, e permanecesse lá sem as devidas proteções por mais de 1 minuto, teria queimaduras sérias de 3º grau, com grande probabilidade de óbito.

Já para o cenário de explosão não confinada conclui-se que uma pessoa localizada a 15,43 metros do centro da explosão tem probabilidade de ruptura do tímpano igual a 90%, e uma pessoa localizada a 9,5 metros do centro da explosão tem probabilidade de morte de 99%.

5. Agradecimentos

Agradecimentos à Associação Nacional do Petróleo pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelo apoio financeiro, aos funcionários do Laboratório de Análise de Combustíveis pela ajuda prestada, ao Prof. Dr. Georges Kaskantzis pela orientação no desenvolvimento do presente trabalho, e ao PRH 24.

6. Referências

- BENEDETTI, R. P., *Flamable and Combustible Liquids Code Handbook*, National Fire Protection Association, Massachusetts, fifth edition, USA, p 483-496, 1994.
- DUARTE M., *Riscos Industriais – Etapas para a Investigação e a Prevenção de Acidentes*, Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil 2002.
- LEES, F. P., *Loss prevention in the process industries*, Vol. 1, Loughborough University of Technology, Great Britain, p. 477-618, 1980.
- METROPOLO, P. L., *Análise de Conseqüências*, CPDEC, Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil, 1999.