

# ANÁLISE DE CONSEQÜÊNCIAS DE ACIDENTES COM INFLAMÁVEIS PARA EFEITO DE CARACTERIZAÇÃO DE ADICIONAL DE PERICULOSIDADE

## ANALYSIS OF ACCIDENT CONSEQUENCES FOR IGNITION EFFECT CHARACTERIZATION OF ADDITIONAL REMUNERATION

### ÉRIKA CRISTINA LOURENÇO DE OLIVEIRA

Engenheira Química (UFRN), Engenheira de Segurança do Trabalho (UnP).

E-mail: erikacristinaeq@yahoo.com.br

### JOÃO RUI BARBOSA ALENCAR

Mestre em Engenharia Química (UFPE, 2000), Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos (UFRJ, 2007), Engenheiro de Processamento da PETROBRAS.

E-mail: ruialencar@yahoo.com.br

Envio em: Março de 2013

Aceite em: Agosto de 2013

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar através da modelagem e simulação, as distâncias seguras das áreas consideradas de risco para o trabalho com inflamáveis, para atividades previstas pela NR-16 considerando possíveis cenários de acidentes. Os eventos com conseqüências de fogo e explosão são os mais comuns com estes químicos. As distancias seguras foram avaliadas para vários níveis de radiação e picos de sobre pressão comparando com os definidos pela lei. Os resultados mostram que as áreas de risco são função da magnitude do acidente e das condições operacionais de cada processo e instalação e que poderiam ter dimensões distintas das atuais constantes da legislação.

**Palavras-Chave:** NR-16. Riscos. Inflamáveis. Periculosidade. Modelagem. Simulação.

## ABSTRACT

*The aim of this study was to evaluate through modeling and simulation, the safe distances from areas considered at risk for work with flammable activities planned for the NR-16 considering possible accident scenarios. The events with consequences of fire and explosion are the most common with these chemicals. The safe distances were evaluated for various radiation levels and peak overpressure compared with those defined by law. The results showed that areas of risk are a function of the magnitude of the accident, the operating conditions of each process and installation and they might have different dimensions contained in the current legislation.*

**Keywords:** NR-16. Risks. Flammable. Dangerousness. Modeling. Simulation.

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades de produção, armazenamento e transporte de substâncias inflamáveis vem aumentando em nível global de forma significativa nos últimos anos e com isso comunidades, bem como, inúmeros trabalhadores estão cada vez mais exposto aos riscos.

Segundo Vichez *et al.* (1995), numa análise de 5325 acidentes ocorridos na indústria química e no transporte de seus produtos, desde o início do século passado até 1992, observa-se um aumento progressivo na frequência dos mesmos em função do tempo. A análise de diferentes fenômenos associados com estes acidentes, mostra que fogo, explosões e vazamentos de produtos com perda do confinamento, são os eventos mais comuns.

No âmbito ocupacional, a Legislação Brasileira estabelece que trabalhadores que desempenham atividades ou operações em contato permanente com substâncias inflamáveis ou explosivos, em condição de risco acentuado, fazem jus ao adicional de periculosidade, ou seja, um acréscimo de 30% sobre seu salário básico sem os acréscimos resultantes de gratificações, prêmios ou participações nos lucros da empresa. Os adicionais de exposição a riscos, sejam de insalubridade ou periculosidade, tem recebido muitas críticas ao longo do tempo, pois, considera que legitima o trabalho em condições de agressão à saúde, mediante pagamento, conferindo aparente legalidade às relações de "compra e venda" da saúde dos empregadores, patrimônio inalienável, cuja proteção constitui dever fundamental do Estado brasileiro. A despeito deste cenário, os adicionais vêm sendo mantidos na legislação, chegando a se constituir, para alguns autores, numa aberração em meio a uma legislação prevencionista tida como das mais completas e respeitadas no mundo (OLIVEIRA, 2002).

A Norma Regulamentadora (NR) 16 da Portaria N°3214 de 08.06.1978 do MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) (BRASIL, 1978) rege as questões relacionadas a atividades e operações perigosas envolvendo inflamáveis, explosivos e radiações ionizantes. Para o devido enquadramento à Norma, deve ser levada em consideração, a atividade em si, bem como a dimensão da área onde esta atividade é realizada. A norma é generalista, e colabora para avaliações simplistas e subjetivas por parte dos peritos, experts, designados em Juízo. Para cada atividade, as dimensões das áreas de risco valem para quaisquer condições dentro da atividade. Para tanto se faz necessário conhecer que tipo de eventos associados com produtos inflamáveis poderia justificar a dimensão da área de risco. Modelos matemáticos representativos de diversos tipos de acidentes, decorrentes de incêndios ou explosões com inflamáveis podem produzir resultados para esta avaliação.

Assim sendo, o objetivo deste estudo é realizar uma análise crítica das áreas consideradas de risco para inflamáveis fixadas pela NR-16, utilizando modelagem e simulação. Para tanto foram considerados sete cenários, onde os mesmos englobam as dezenove atividades presentes na NR 16.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 DA NORMA REGULAMENTADORA NR-16

As Tabelas 1 e 2 são parte integrantes da NR 16.

Na Tabela 1 vemos uma correlação entre as atividades e que trabalhadores fariam jus ao adicional objeto da Norma.

**Tabela 1:** Atividades e operação de risco

ATIVIDADES	ADICIONAL DE 30%
a) Na produção, transporte, processamento e armazenamento de gás liquefeito	Todos os trabalhadores nessas atividades ou que operem na área de risco
b) No transporte e armazenamento de inflamáveis líquidos e gasosos liquefeitos e de vasilhames vazios não desgaseificados ou decantados	Todos os trabalhadores da área de operação
c) Nos postos de reabastecimento de aeronaves	Todos os trabalhadores da área de operação.
d) Nos locais de carregamento de navios-tanques e caminhões-tanques e enchimento de vasilhames com inflamáveis líquidos ou gasosos liquefeitos.	Todos os trabalhadores dessas atividades ou os que operam na área de risco.
e) Nos locais de descarga de navios-tanques, vagões-tanques e caminhões-tanques com inflamáveis líquidos ou gasosos liquefeitos ou de vasilhames vazios não desgaseificados ou decantados.	Todos os trabalhadores nessas atividades ou que operem na área de risco.
f) Nos serviços de operação e manutenção de navios-tanques, vagões-tanques caminhões-tanques, bombas e vasilhames, com inflamáveis líquidos ou gasosos liquefeitos, ou vazios não desgaseificados ou decantados.	Todos os trabalhadores nessa atividade ou que operem na área de risco.

ATIVIDADES	ADICIONAL DE 30%
g) Nas operações de desgaseificação, decantação e reparos de vasilhames não desgaseificados ou decantados.	Todos os trabalhadores nessas atividades ou que operam na área de risco.
h) nas operações de testes de aparelhos de consumo de gás e seus equipamentos.	Todos os trabalhadores nessas atividades ou que operam na área de risco.
i) No transporte de inflamáveis líquidos e gasosos liquefeitos em caminhão-tanque.	Motorista ajudante
j) No transporte de vasilhames (em caminhões de carga) contendo inflamável líquido, em quantidade total igual ou superior a 200 litros.	Motorista e ajudante
l) No transporte de vasilhames (em carreta ou caminhão de carga) contendo inflamáveis gasosos líquido, em quantidade total igual ou superior a 135 quilos.	Motorista e ajudante
m) Na operação em postos de serviço e bombas de abastecimento de inflamável líquido.	Operadores de bomba e trabalhadores que operam na área de risco.

Fonte: (BRASIL, 1978).

Na Tabela 2, a Norma delimita a dimensão das áreas de risco ensejando que uma área maior que a fixada não seria considerada área de risco e que, trabalhadores que operam em área além da fixada na Norma, não fariam jus ao adicional. Nesta mesma Tabela, para avaliar a

dimensão da área de risco, foi acrescentada uma coluna constando um provável evento para cada cenário, cujas principais conseqüências são fogo e explosões. Tais eventos foram identificados em função de cada processo e de acidentes pregressos.

Tabela 2: Área de risco para cada atividade

ATIVIDADES	ÁREA DE RISCO	TIPO DE EVENTO ESTUDADO
a) Poços de petróleo em produção de gás.	Circulo com raio de 30 metros, no mínimo, com centro na boca do poço.	Jato de fogo e Explosão de nuvem de vapor
b) Unidade de processamento das refinarias.	Faixa de 30 metros de largura, no mínimo contornando a área de operação.	Incêndio em Poça, Jato de Fogo, Bola de fogo, Explosão de nuvem de vapor
c) Outros locais de refinaria onde se realizam operações com inflamáveis em estado de volatilização ou possibilidade de volatilização decorrente de falha ou efeito dos sistemas de segurança e fechamento das válvulas.	Faixa de 15 metros de largura, no mínimo, contornando a área de operação.	Bola de fogo, jato de fogo, incêndio em poça e nuvem de vapor explosiva.
d) Tanques de inflamáveis líquidos.	Toda a bacia de segurança	Incêndio em poça.
e) Tanques elevados de inflamáveis gasosos.	Circulo com raio de 3 metros com centro nos pontos de vazamento eventual (válvula registros, dispositivos de medição por escapamento, gaxetas).	Jato de Fogo e Explosão de nuvem de vapor.
f) Carga e descarga de inflamáveis líquidos contidos em navios, chatas e batelões.	Afastamento de 15 metros da beira do cais, durante a operação, com extensão correspondente ao comprimento da embarcação.	Incêndio em poça.
g) Abastecimento de aeronaves.	Toda área de operação	Incêndio em poça.
h) Enchimento de vagões – tanques e caminhões – tanque com inflamáveis líquidos.	Circulo com raio de 15 metros com centro nas bocas de enchimento dos tanques	Incêndio em poça.
i) Enchimento de vagões – tanques e caminhões – tanque inflamáveis gasosos liquefeitos.	Circulo com raio de 7,5 metros centro nos pontos de vazamento eventual (válvula e registro).	Jato de Fogo e Explosão de nuvem de vapor.
j) Enchimento de vasilhames com inflamáveis gasosos liquefeitos.	Circulo com raio de 15 metros com centro nas bocas de enchimento dos tanques.	Jato de Fogo e Explosão de nuvem de vapor.
k) Enchimento de vasilhames com inflamáveis líquidos,	Circulo com raio de 7,5 metros com centro nos	Incêndio em poça.

ATIVIDADES	ÁREA DE RISCO	TIPO DE EVENTO ESTUDADO
em recinto aberto.	bicos de enchimento.	
l) Enchimento de vasilhames com inflamáveis líquidos, em recinto fechado.	Toda área interna do recinto	Incêndio em poça.
m) Manutenção de viatura-tanque, bombas e vasilhames que continham inflamáveis líquidos.	Local de operação, acrescido de faixa de 7,5 metros de largura em torno dos seus pontos externos	Incêndio em poça.
n) Desgaseificação, decantação e reparos de vasilhames não desgaseificados ou decantados, utilizados no transporte de inflamáveis.	Local de operação, acrescido de faixa de 7,5 metros de largura em torno dos seus pontos externos	Incêndio em poça e Jato de Fogo e Explosão de Nuvem de Vapor.
o) Testes em aparelhos de consumo de gás e seus equipamentos.	Local de operação, acrescido de faixa de 7,5 metros de largura em torno dos seus pontos externos	Jato de Fogo e Explosão de nuvem de vapor.
p) Abastecimento de inflamáveis	Toda a área de operação, abrangendo, no mínimo, círculo com raio de 7,5 metros com centro no ponto de abastecimento e o círculo com raio de 7,5 metros com centro na bomba de abastecimento da viatura e faixa de 7,5 metros de largura para ambos os lados da maquina.	Incêndio em poça e Jato de Fogo e Explosão de Nuvem de Vapor.
q) Armazenamento de vasilhames que contenham inflamáveis líquidos ou vazios não desgaseificados ou decantados, em locais aberto.	Faixa de 3 metros de largura em torno dos seus pontos externos	Incêndio em poça e Jato de Fogo e Explosão de Nuvem de Vapor.
r) Armazenamento de vasilhames que contenham inflamáveis líquidos ou vazios não desgaseificados, ou decantados, em recinto fechado.	Toda a área interna do recinto	Incêndio em poça e Jato de Fogo e Explosão de Nuvem de Vapor
s) Carga e descarga de vasilhames contendo inflamáveis líquidos ou vasilhames vazios não desgaseificados ou decantados, transportados por navios, chatas ou batelões.	Afastamento de 3 metros e beira do cais, durante a operação, com extensão correspondente ao comprimento da embarcação.	Incêndio em poça e Jato de Fogo e Explosão de Nuvem de Vapor

Fonte: Modificada de BRASIL (1978)

## 2.2 DOS EVENTOS INICIADORES

As conseqüências da exposição a produtos inflamáveis são decorrentes do seu potencial para causar danos no caso de fogo, explosões associados ou não a exposição ao produto químico liberado. O fogo como evento iniciador tem como efeito principal a radiação, que é tanto maior quanto maior for à quantidade de material envolvida no acidente, bem como maior for à proximidade da fonte do acidente ao corpo receptor; para a explosão como evento iniciador, os efeitos danosos são resultados das sobre-pressões originadas das ondas de choques da nuvem de vapor explosiva envolvida no acidente.

No caso de fogo e explosões a magnitude dos impactos e conseqüentemente, da dimensão das áreas de risco, são também decorrentes da forma como o evento se manifesta. No caso de fogo, as formas de incêndio em poças (*pool fires*), incêndio em jatos (*jet fires*) e bolas de fogo (*fireballs*); no caso de explosões nuvens de vapor não confinadas podem ser considerados os eventos mais comuns.

Incêndio em poça (*pool fire*) ocorre a partir de um furo

ou rompimento de um tanque, esfera, tubulação, etc. O produto estocado é lançado ao solo, formando uma poça que se incendeia, sob determinadas condições.

O incêndio em jato de fogo (*jet fire*) ocorre quando um gás inflamável escapa a alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento, formando assim uma labareda na forma de jato.

O incêndio na forma de bola de fogo (*fireballs*) é normalmente associado com o vazamento de um gás sob pressão que ao vazarse inflama, impactando o ambiente na forma de uma bola. Normalmente este fenômeno se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido num recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à depressurização, forma um volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira eleva-se por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.

A explosão de nuvem de vapor (*Vapor Cloud Explosion*) é um processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases acarretando o aumento da pressão acima da pressão atmosférica, normalmente iniciada após um vazamento ser

atingido por uma fonte de ignição.

Nos casos de incêndios (*Pool fires*, *Jet fires* e *Fireballs*), os níveis de radiação térmica são tanto maiores quanto mais próximos estiverem da origem do fogo o que determina a dimensão da área de risco hipotética. Este nível de radiação é também função do produto químico inflamável envolvido, das condições ambientais, da geometria do tanque ou vaso de pressão e do lay-out da planta. O risco é o potencial para causar danos e este será tanto maior quanto mais próximo da origem do fogo. Assim sendo foram adotados neste trabalho 5,00 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> e 25 kW/m<sup>2</sup>, que representam, respectivamente, impactos de limiar da dor em 15 s de exposição, queimaduras de 1º grau após 10 s de exposição bem como rupturas de tubulações de plástico e risco de vida com danos severos a equipamentos e estruturas de madeira e “perigo à vida”. Para um determinado volume de inflamável envolvido no evento, foi determinado o afastamento capaz de atingir os níveis de radiação estudados, sendo este o parâmetro a ser comparado com os fixados na Norma.

Da mesma forma foi feito para os casos de explosão por nuvem de vapor para os quais foram adotados, como referência, os valores de sobre pressão de 0,3 bar e 0,7 bar, onde a primeira pressão é capaz de causar ferimentos leves e a segunda de causar ruptura dos tímpanos dos corpos receptores (AIChE, 1994; ALENCAR, 2005; CETESB, 2003; USA, 1989).

Apesar da complexidade que envolve cada um dos eventos, modelos matemáticos de fogo e explosões tentam identificar a dimensão das áreas de risco de modo a proporcionar ações mitigadoras, prover informações para o projeto das plantas, visando sempre a segurança e integridade das plantas, das pessoas e do ambiente como um todo. Para cada tipo de evento, uma modelagem específica foi adotada nas simulações do presente trabalho:

Incêndio em poça (*Pool fires*), (EPA, 2010; CETESB, 2003); Incêndio em Bolas de Fogo (*Fireballs*), (EPA, 2010); Incêndio em jato de fogo (*Jetfire*); Explosão em nuvem de vapor, (CETESB, 2003; USA(1989).

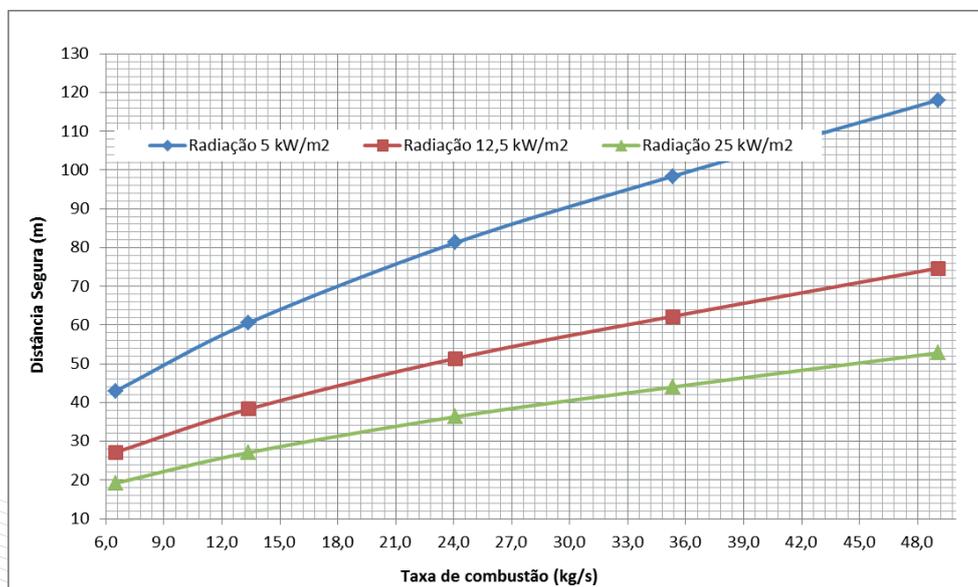
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas simulações para cada tipo de evento para quantidades variáveis de material inflamável envolvido nos mesmos. Diante dos resultados obtidos, foram feitas análises comparativas com as distancias fixadas na NR-16. Estes resultados estão apresentados e discutidos na seqüência:

#### 3.1 INCÊNDIO EM POÇAS (POOL FIRES)

A Figura 3 apresenta respectivamente, resultados de raio de ação para que o corpo receptor seja atingido por fluxos de 5 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> e 25 kW/m<sup>2</sup>. Estes resultados foram obtidos para vazamentos de pequena magnitude, caracterizados por um furo, por exemplo, no costado de tanques, vasos de pressão ou tubulações. Foi considerado também que o fluido vazado forma um poça de 10 cm de espessura para efeitos de cálculo da área (EPA, 2010). Vale salientar também, que vazamentos de maior magnitude implicam em distancias seguras; resultados para outras condições podem ser obtidos em Oliveira (2010). De acordo com a figura 3, podemos inferir que, dependendo do nível de radiação que possa ser considerado perigoso e da quantidade de inflamável envolvida no evento podemos ter diferentes áreas de risco. Considerando que a periculosidade esteja associada a níveis de radiação de 25 kW/m<sup>2</sup> a distância segura será da ordem de 20 m; se, por outro lado, esta for associada a níveis de radiação de 5 kW/m<sup>2</sup>, a distância segura será da ordem de 43 m.

Figura 3: Distâncias seguras em evento do tipo pool fire.



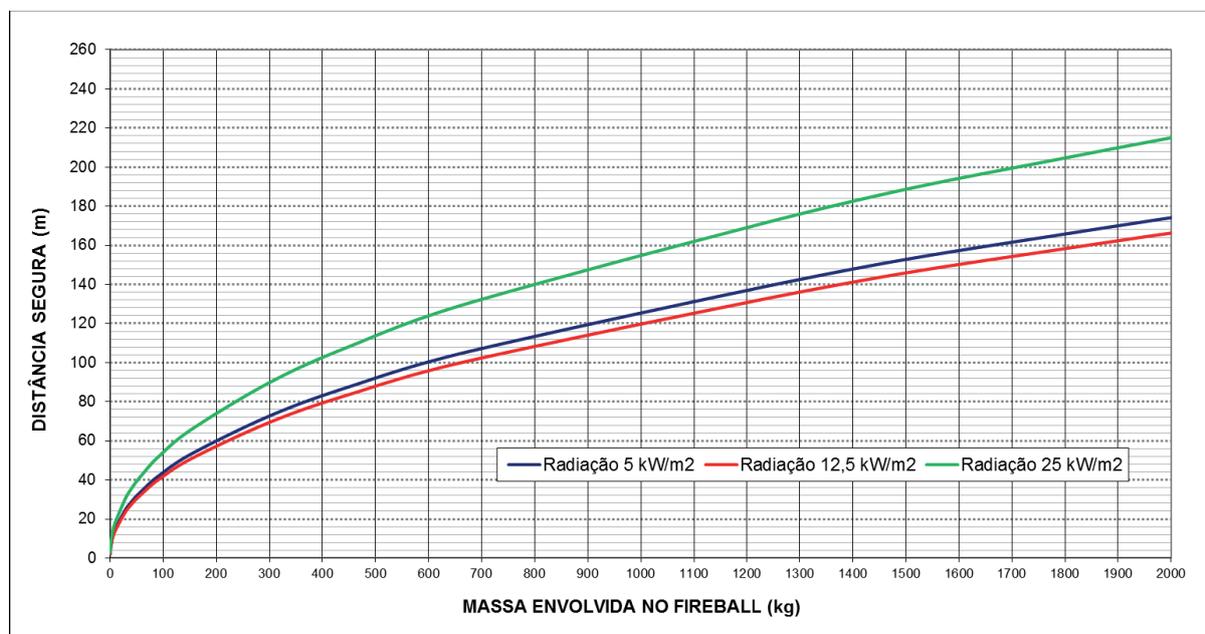
Confrontando esses números com as faixas da NR-16 (BRASIL, 1978) que delimitam áreas de riscos, para quaisquer dos cenários onde foram considerados incêndios em poça, - b, c, f, g, h, k, l, m, n, p, q, r, s (Tabela 2) – percebe-se que, para pressões de operação na ou próximas da atmosférica, com exceção das unidades de processamento de refinarias, que estabelece uma faixa de 30 metros contornando às áreas de operação, nenhuma das demais se constituem limites seguro para excluir a periculosidade. Ademais, mesmo no caso excludente supra citado, à medida que se considera pressões de operação maiores, o que acarretam taxas de combustão também maiores de acordo com a modelagem, a faixa de contorno de 30 metros também pode não ser considerada uma faixa segura. Mais um agravante é que vazamentos de magnitude maior já explicitam esta conclusão mesmo para pressões de operação baixas da ordem da atmosférica.

### 3.2 INCÊNDIO EM BOLAS DE FOGO (Fireballs)

Este cenário foi previsto para as atividades “b” e “c” da Tabela 2 da NR-16, que basicamente constituem operações em refinarias de petróleo.

A figura 4 apresenta resultados de raio de ação para eventos do tipo *Fireball* quando um corpo receptor é atingido por fluxos de calor de magnitudes 5 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> e 25 kW/m<sup>2</sup> associados a um tempo de exposição o que equivale a uma dose de radiação. Desta figura podemos inferir que, quantidades crescentes de inflamáveis envolvidos no evento implicam em distâncias seguras cada vez maiores. Essa assertiva põe em dúvida as áreas de risco fixadas pela NR-16 que, são fixas e independem das quantidades de inflamáveis movimentadas ou que podem ser envolvidas num acidentes desta natureza. Assim, se considerarmos 30 m a maior área de risco no entorno de uma área de operação onde ocorra um *fireball* e fixarmos uma dose de radiação associada ao fluxo de 25 kW/m<sup>2</sup> (pior caso) como condição para a concessão do adicional de periculosidade, vemos que as quantidades de inflamáveis envolvidas em evento desta natureza estariam limitadas a valores da ordem de 30 kg, o que do ponto de vista prático é um número extremamente baixo. Acrescente-se que, volumes de inflamáveis ainda maiores, implicam num raio de ação da bola de fogo também crescentes o que requereria uma área de risco também maior.

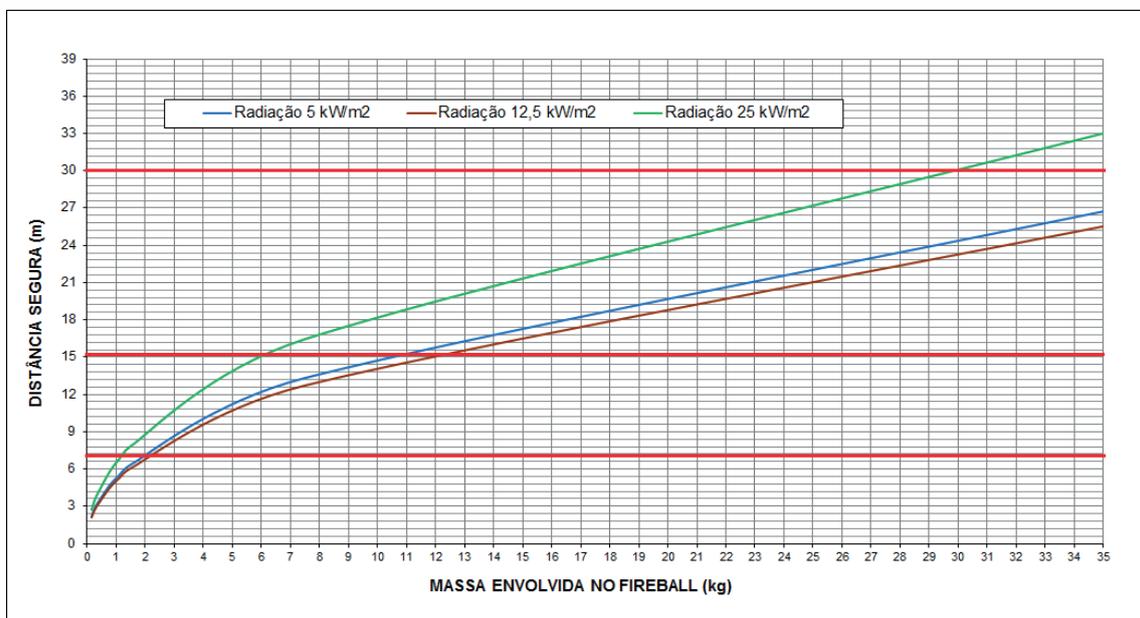
Figura 4: Distâncias seguras em eventos do tipo *fire ball*



A figura 5 explicita melhor as conclusões acima, pois, representa uma ampliação da figura anterior. Nesta figura foram acrescentados os limites de área de risco fixados pela NR-16 e percebe-se, claramente, que, os limites de

área de risco da norma são excedidos para quantidades de inflamáveis extremamente pequenas (< 30 kg) o que nos leva a concluir que os mesmos não se sustentam por si só como garantia para exclusão do adicional.

**Figura 5:** Distâncias seguras em eventos do tipo *fire ball* (Ampliação da Figura 4)



### 3.3 INCÊNDIO NA FORMA DE JATO DE FOGO (Jet Fires)

Este cenário foi previsto para as atividades “a, b, c, e, i, j, n, o, p, q, r, s” da Tabela 2 da NR-16, que basicamente constituem operações com gases sob pressão que encontram uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento, formando assim uma labareda na forma de jato. O evento estudado levou em consideração o acúmulo de gás decorrente de um vazamento em um período de 10 min.

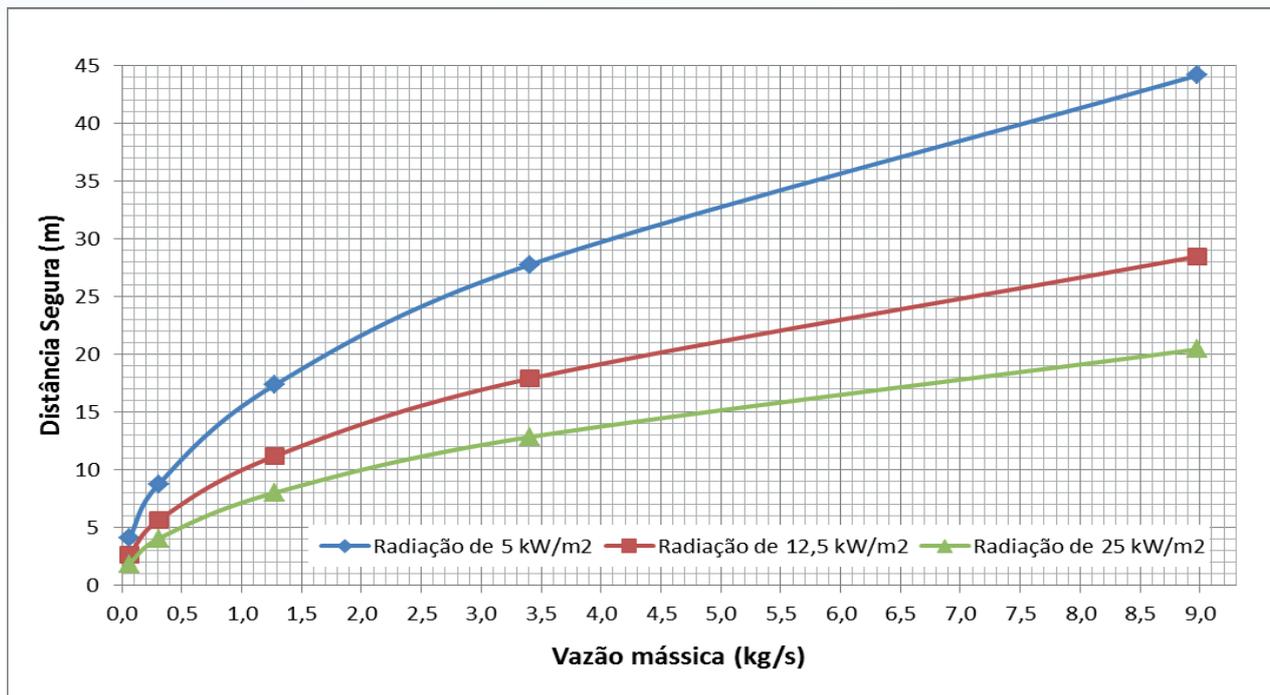
A Figura 6 apresenta respectivamente, resultados de raio de ação para que o corpo receptor seja atingido por fluxos de 5 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> e 25 kW/m<sup>2</sup> originados de jatos de fogo. Os resultados aqui apresentados foram obtidos para vazamentos de pequena magnitude (tamanho do furo no vaso de pressão ou tubulação ~ ¼”) e considerando-se que áreas de vazamento maiores implicam em distâncias seguras ainda maiores. Resultados para outras magnitudes podem ser obtidas em Oliveira (2010).

Na Figura 6, as vazões de vazamento são função da pressão de operação do gás (equação 20), sendo cada ponto no gráfico obtido para uma faixa de pressão de operação variando de 1 a 20 atm, o que incorreria também numa distância segura (área de risco) variável.

Observa-se que, quanto maior o volume de gás desprendido nesse tipo de evento, maior será a área de risco requerida. De acordo com a mesma figura, podemos inferir que, se a periculosidade estiver associada a níveis de radiação de 25 kW/m<sup>2</sup> as áreas de risco prevista pela Norma de 7,5 m só será válida para vazamentos de até 1,3 kg/s ou equivalente a 5 atm de pressão de operação. Vazamentos maiores ou sistemas operando com pressão maior requerem áreas de risco também maiores. Para distâncias seguras de 15 m estas só se constituem como tal para vazamentos da ordem de 5,0 kg/s ou sistemas com pressões de operação entre 10 e 20 atm. Acrescente-se ainda que, mesmo para pressões superiores a 20 atm (limite do estudo), níveis de radiação de 25 kW/m<sup>2</sup> não seriam obtidos para distâncias seguras da acima de 30 m. Neste último caso, a área de risco fixada pela Norma, poderia ser considerada para excluir a periculosidade da atividade.

Caso a periculosidade esteja associada a níveis de radiação menores (ex: 5 kW/m<sup>2</sup>) as distâncias seguras, isto é as áreas de risco requeridas, seriam maiores, sendo as distâncias seguras fixadas pela Norma de 7,5 m, 15 m ou 30 m não podendo ser consideradas como tal em nenhum dos casos para a faixa de pressões do estudo.

**Figura 6:** Distâncias seguras em eventos do tipo *jet fire*.

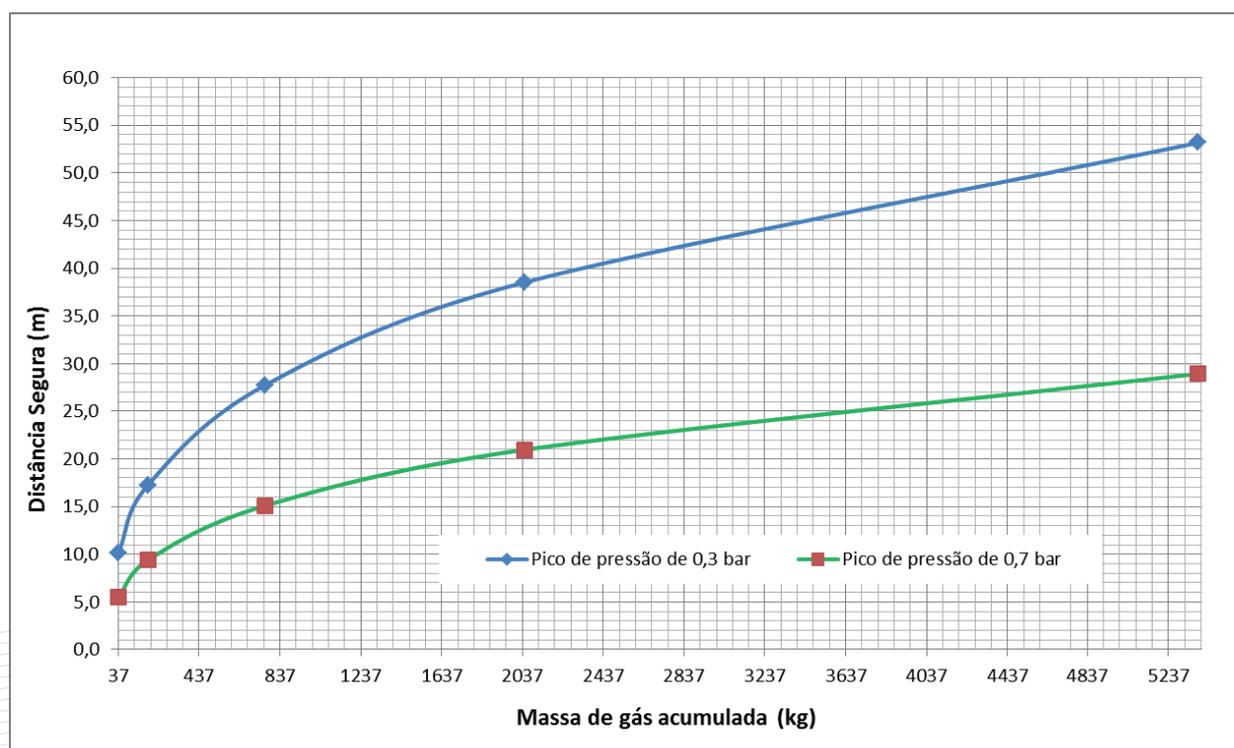


### 3.4 EXPLOÇÃO DE NUVEM DE VAPOR

Este cenário foi previsto para as atividades “b, c, e, i, j, n, o, p, q, r, s” da Tabela 2 da NR-16. Na Figura 7 apresentam-se os resultados das distancias seguras para que um corpo receptor esteja submetido a picos de pressão de 0,3

e 0,7 bar.. Os resultados apresentados se restringem aos vazamentos de pequena magnitude (tamanho do furo no vaso de pressão ou tubulação ~ ¼”). Resultados para vazamentos de média e grandes magnitudes podem ser obtidas em Oliveira (2010) e implicam em distancias seguras ainda maiores que as que estão demonstradas.

**Figura 7:** Distâncias seguras em eventos com explosão de nuvem de vapor.



Aqui também, as vazões de vazamento são função da pressão de operação do gás (equação 20), cuja faixa de trabalho, neste estudo, variou de 1 a 20 atm e implica em distancias seguras (área de risco) variáveis em função desta. Foi considerado um vazamento num período de 10 min para cálculo da massa de gás acumulada. Naturalmente, quanto maior o volume de gás desprendido, maior será a distancia segura requerida. De acordo com a Figura 7, os picos de pressão de 0,3 e 0,7 bar são atingidos já com uma explosão de massa de gás acumulada de 37 kg equivalente a um vazamento a partir de um ponto onde a pressão de operação foi da ordem de 1 atm. Nesta situação já seria requerida uma distancia segura de 10 e 5 m respectivamente para 0,3 e 0,7 bar de sobrepressão. Se a periculosidade estiver associada a tais picos de pressão, as áreas de risco requeridas podem na maioria dos casos ultrapassar àquelas fixadas pela Norma de 7,5 m, 15 m e 30, dependendo da quantidade de gás acumulada na nuvem de vapor que venha a explodir bem como das características e condições de operação que determinam a dimensão do vazamento.

## 4 CONCLUSÕES

A movimentação de produtos inflamáveis trás consigo uma série de riscos quase sempre resultantes do potencial para provocar fogo e explosões dessas substancias. No Brasil a Legislação Trabalhista (BRASIL, 1978) determina o pagamento de adicional de periculosidade para os trabalhadores que desenvolvem atividades específicas com inflamáveis ou que atuem em áreas consideradas de risco pela mesma legislação (NR-16). Uma grande demanda por esses adicionais existe atualmente no país e estas avaliações são, com freqüência, subjetivas,

arbitrárias e polêmicas. Neste trabalho, foi realizada uma análise crítica da dimensão das áreas consideradas de risco para inflamáveis fixadas pela NR-16; para cada uma das dezenove atividades da Norma, foi admitido um tipo de evento mais provável de ocorrências respeitadas as condições que normalmente ocorrem em cada uma das atividades ou processo; os fenômenos são complexos e foram modelados e simulados utilizando modelos da literatura. O resultado obtido foi a distancia segura a partir do centro do evento e representam as áreas de risco, as quais foram confrontadas com as áreas de risco fixadas pela Norma. Para a realização das simulações foram utilizadas algumas premissas, dentre as quais, a duração dos eventos e limites para fixação da periculosidade como o fluxo de calor e picos de sobrepressão. Nos cenários aqui estudados, as áreas de risco vigentes, quase sempre foram inferiores às distancias seguras obtidas nas simulações. Os resultados aqui obtidos não devem ser utilizados isoladamente como guia para contrapor aos limites fixados na Norma Regulamentadora NR-16, nem excluem uma análise detalhada dos riscos de cada ambiente de trabalho. Pelo contrário, devem ser aprofundados e levados em conta junto com os fatores que podem influenciar os fenômenos modelados. Por outro lado, os resultados são bastante esclarecedores e demonstram que as dimensões das áreas de risco são variáveis uma vez que são influenciadas por uma série de característica do processo e não fixadas como posto na Norma. Dessa forma dependendo do evento envolvendo fogo e explosão nas atividades da NR, podemos concluir que a simples adoção das áreas de risco fixadas na NR-16 para concessão de adicionais de periculosidade são insuficientes para garantir a segurança dos trabalhadores.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS (AIChE). **Guidelines for Evaluating The Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires and Bleves**, Centre for Chemical Process Safety, 1994.
- ALENCAR, J. R. B.; BARBOSA, R.A.P.; DE SOUZA JR., M.B. Evaluation of Accidents With Domino Effect in LPG Storage Areas. **Engenharia Térmica (Thermal Engineering)**, v. 4, n. 1, p. 8-12, 2005.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, "Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Títuloll, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho", **Diário Oficial da União**, de 06 de julho de 1978 – Suplemento.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Norma P 4.261. **Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos**. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental, São Paulo-SP, 2003.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). CEPPPO - Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office. **Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis**, United States, 1999. Disponível em: <www.epa.gov/ceppo>. Acesso em: Nov. 2010.
- \_\_\_\_\_. FEMA, DOT, **Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures**, 1989.
- OLIVEIRA, E.C.L., **Análise Crítica das Áreas de Risco para Inflamáveis Fixadas pela NR-16 utilizando Modelagem e Simulação**. 2010. Monografia de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho)-

Universidade Potiguar - UnP, Mossoró- RN, 2010.

OLIVEIRA, S.G. **Proteção Jurídica à Saúde do Trabalhador**. 4 ed. São Paulo: Editora LTR, 2002.

SCHMITT B. E.; YOUNG J., Flashing Slurry Releases, **EFCOG**, 2010. Disponível em: <<http://www.efcog.org>>, Acesso em: 20 Mar. 2010.

VILCHEZ, J. A.; SEVILLA, S.; MONTIEL, H.; CASAL, J., Historical Analysis of Accidents in Chemical Plants and in The Transportation of Hazardous Materials, **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.8, n.2, p. 87-96, 1995.

