



Simulação da Dispersão de Gases a partir de Acidentes Envolvendo Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

Alessandra Mundy Torrero

Monografia de Final de Curso

Orientador

Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc.

Março de 2013

SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE GASES A PARTIR DE ACIDENTES ENVOLVENDO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

Alessandra Mundy Torrero

Monografia de Final de curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Luiz Fernando Lopes Rodrigues Silva, D. Sc.

Denize Dias de Carvalho, D. Sc.

Bárbara Cristina de Souza Serralha

Orientado por:

Carlos André Vaz Júnior, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2013

Torrero, Alessandra Mundy.

Simulação da Dispersão de Gases a partir de Acidentes Envolvendo Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos/Alessandra Mundy Torrero. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2012

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012

Orientador: Carlos André Vaz Junior

1.Acidentes Rodoviários 2. Transporte de Produtos Perigosos 3.Simulação de Acidentes 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Carlos André Vaz Júnior I. D.Sc.

Aos meus pais e irmãos

“Quando se tem uma meta,
o que era obstáculo passa a ser
uma das etapas do plano”

Gerhard Erich Bochme

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Lúcia e Alexander, por sempre apoiarem e incentivarem minhas decisões, me dando todo o suporte para que eu concluísse o curso. Agradeço por todas as lições valiosas que me ensinaram.

Às minhas irmãs Eduarda e Renata, amigas incondicionais, por me ajudarem sempre, entendendo as minhas necessidades de estudo. Aos meus irmãos Felipe e Julia, que mesmo sem compreenderem, me ensinaram muito nesses poucos anos.

Aos meus avós Lya, Walter, Glória e Gonzalo que estavam do meu lado para tudo, sempre com muito carinho. A minha tia Cláudia, grande conselheira e amiga. Ao Jorge e Valéria pelo suporte e experiências compartilhadas.

Aos meus amigos, antigos e recentes. Taíse, Aline e Yasmim, amigas de longas datas, que mesmo não estando sempre próximas fisicamente, sei que posso contar sempre com a ajuda. Aos meus amigos da graduação, Erika, Rodrigo e Mariana, que são os que mais entendem todas as dificuldades, incertezas e inseguranças que passamos durante esses 5 anos e que me ajudaram em questões pessoais e relacionadas a faculdade. E agradeço também aos meus amigos mais recentes, da pós-graduação, Bárbara, Marcelle, Antonio, Nathalia e Camila, pessoas que, em pouco espaço de tempo, se tornaram grandes amigos e foram responsáveis por grandes mudanças.

Àos amigos da Raízen, que me mostraram o lado profissional e contribuíram muito para a minha formação: James, Fábio e Marcello.

Ao professor Carlos André, pela orientação valiosa e indispensável para a realização desse trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esse trabalho.

Resumo da Monografia de Final de Curso apresentado a Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE GASES A PARTIR DE ACIDENTES ENVOLVENDO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

Alessandra Mundy Torrero

Março, 2013

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Junior

A atividade de transporte rodoviário de produtos perigosos envolve uma série de riscos dentre os quais se destacam aqueles relacionados a fatores humanos e mecânicos. A crescente demanda da população por mais e novos produtos faz com que também aumente a necessidade do deslocamento de cargas, e conseqüentemente o número de acidentes. Os acidentes envolvendo produtos perigosos podem ser muito prejudiciais para a população lindeira e para o meio ambiente, que podem ser afetados pela liberação do produto na atmosfera e contaminação de água e solos. É preciso, portanto, que haja um rígido controle no caso de ocorrência desse tipo de acidente, com um plano de emergência bem elaborado. No Brasil, para o dimensionamento da área a ser evacuada dispõem-se do Manual de Atendimento a Emergência para Produtos Perigosos, elaborado pela Abiquim. O presente estudo propõe-se a avaliar os valores recomendados pelo Manual, através de simulações de dispersão de gases na atmosfera utilizando programas computacionais específicos. Para tal foram escolhidos cenários envolvendo vazamento de amônia, cloro e 1,3-butadieno, devido as suas propriedades e quantidade transportada. Para efeito de comparação as simulações foram feitas no período diurno e noturno. As recomendações apontadas no Manual mostraram-se insuficientes em alguns cenários. Seu simples atendimento não elimina o potencial de causar danos à parte da população. As áreas encontradas nas simulações e consideradas como perigosas foram, em alguns contextos, maiores que as recomendadas para evacuação, proteção e monitoramento.

ÍNDICE

Capítulo 1 . INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	2
Capítulo 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Produtos perigosos e seu transporte pelo Brasil	3
2.2. Acidentes com produtos perigosos	8
2.3. Acidentes rodoviários	9
2.3. Legislação	13
2.4. Abiquim	16
2.5. Manual de Atendimento à Emergências da Abiquim	18
2.6. Programa de Atendimento à Emergência	19
Capítulo 3 . DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	22
3.1. Modelos de Fonte ou Liberação	24
3.2. Modelos de Dispersão	27
3.2.1. <i>Modelo Gaussiano</i>	29
3.3. Estabilidade da Atmosfera	32
3.4. Programa ALOHA	34
Capítulo 4 . METODOLOGIA	37
4.1. Escolha dos produtos químicos envolvidos	37
4.1.1. <i>Descrição Produtos</i>	40
4.2. Escolha do local do acidente	44
4.3. Parâmetros usados na simulação	46
4.3.1. <i>Condições Atmosféricas</i>	46
4.3.2 <i>Condição de armazenamento</i>	50
4.3.3. <i>Condição do vazamento</i>	51
4.3.4. <i>Modelos de dispersão</i>	52
4.3.5. <i>Zona de atuação</i>	52
4.3.6. <i>Toxicologia</i>	52
4.3.7. <i>Inflamabilidade</i>	54
Capítulo 5 . ESTUDO DE CASO	56
5.1. Simulação dos efeitos toxicológicos	56
5.1.1 <i>Amônia</i>	56

5.1.2. <i>Cloro</i>	64
5.1.3. <i>1,3-Butadieno</i>	70
5.2. Aplicação da simulação no quilômetro 220 da BR-116.....	77
5.3. Comparação dos cenários com as recomendações.....	80
Capítulo 6 – CONCLUSÃO.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXO 1 – RÓTULOS DE RISCO PARA CADA CLASSE.....	89
APÊNDICE 1- ENTRADAS DAS SIMULAÇÕES.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Rotas de transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil.	6
Figura 2 - Exemplo de painel de segurança e rótulo de risco	7
Figura 3 - Formas geométricas dos tanques e contêineres de transporte.....	8
Figura 4- Acidente com caminhão-tanque na BR-262, em Belo Horizonte, em 2012.....	12
Figura 5 - Acidente com caminhão-tanque em Cuiabá, em 2012.....	12
Figura 6 - Áreas Classificadas.....	19
Figura 7 - Zonas de controle de risco.....	21
Figura 8 - Componentes da Dispersão.....	22
Figura 9 - Dispersão atmosférica com característica de pluma por um vazamento contínuo.....	23
Figura 10 - Dispersão atmosférica com característica de “puff” por um vazamento instantâneo de gás.....	23
Figura 11 - Fluxograma das etapas para resposta a um acidente.....	24
Figura 12 - Representação de um furo em um tanque com líquido.....	24
Figura 13 - Modelo de dispersão Gaussiano.....	28
Figura 14 - Coordenadas de uma pluma a partir de um vazamento na altura do solo.....	31
Figura 15 - Comportamento das nuvens em função da classe.....	33
Figura 16 - Exemplo de tela de saída do ALOHA–Nuvem de gás tóxico plotada em um mapa.....	35
Figura 17 - Exemplo de tela de saída do ALOHA – variação da concentração com o tempo em determinado ponto.....	35
Figura 18 - Guia de classificações do diamante de Hommel.....	40
Figura 19 - Configuração espacial do 1,3-butadieno.....	43
Figura 20 - - Imagem do Km 220 da rodovia BR 116.....	46
Figura 21 - Média anual de ventos no Brasil.....	47
Figura 22 - Legenda do mapa anual de ventos no Brasil.....	47
Figura 23 - Efeito da altitude e condição do solo na velocidade do vento.....	48
Figura 24 - Caminhão-tanque.....	51
Figura 25 - Concentração onde irá formar fogo.....	55
Figura 26 - Simulação 1 (Modelo Gaussiano).....	57
Figura 27 - Simulação 2 (Modelo de Gás denso).....	58
Figura 28 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 1 (Modelo Gaussiano).....	59
Figura 29 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 2 (Modelo de Gás Denso).....	60
Figura 30 - Detalhe do ponto a 800m da fonte na simulação 2.....	60
Figura 31 - Simulação 3 (Modelo Gaussiano).....	61
Figura 32 - Simulação 4 (Modelo de Gás Denso).....	62
Figura 33 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 3.....	63
Figura 34 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 4.....	63
Figura 35 - Simulação 5 (Modelo Gaussiano).....	65
Figura 36 - Simulação 6 (Modelo de Gás Denso).....	65
Figura 37 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 5.....	66
Figura 38 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 6.....	67
Figura 39 - Detalhe do ponto a 3500m da fonte na simulação 6.....	67

Figura 40 - Simulação 7 (Modelo Gaussiano).....	68
Figura 41 - Simulação 8 (Modelo de Gás Denso).....	68
Figura 42 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 7	69
Figura 43 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 8	70
Figura 44 - Simulação 9 (Modelo Gaussiano).....	71
Figura 45 - Simulação 10 (Modelo de Gás Denso).....	72
Figura 46 - Detalhe do ponto a 100m da fonte na simulação 9	73
Figura 47 - Detalhe do ponto a 100m da fonte na simulação 10	73
Figura 48 - Detalhe do ponto a 800m da fonte na simulação 9	74
Figura 49 - Simulação 11 (Modelo Gaussiano).....	75
Figura 50 - Simulação 12 (Modelo de Gás Denso).....	75
Figura 51 - Simulação 13	77
Figura 52 - Áreas de isolamento inicial para amônia na situação diurna	78
Figura 53 - Áreas de isolamento inicial para amônia na situação noturna	78
Figura 54 - Áreas de proteção na direção do vento para amônia na situação diurna	79
Figura 55 - Áreas de proteção na direção do vento para amônia na situação noturna	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de produtos perigosos.....	5
Tabela 2 - Acidentes com transporte de produtos perigosos em 2012.	11
Tabela 3 - Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro aplicados a produtos perigosos...	15
Tabela 4 - Normas Técnicas da ABNT referentes a produtos perigosos.....	16
Tabela 5 - Classificação de estabilidade atmosférica de Pasquill.	33
Tabela 6- Equações recomendadas por Pasquill-Gifford para coeficientes de dispersão para pluma.....	34
Tabela 7 - Valores atribuídos para cada classe de produtos perigosos	38
Tabela 8 - Produtos perigosos mais transportados e seus riscos.....	39
Tabela 9 - Acidentes ocorridos em vias federais no ano de 2005 em território fluminense.....	44
Tabela 10 - Distribuição dos acidentes por trecho da BR 116.....	45
Tabela 11 - Coeficiente exponencial atmosférico. Fonte: INSHT	48
Tabela 12 - Dimensões dos tanques para cada produto.....	51
Tabela 13 - LOCs de cada produto. Fontes: EPA, AIHA	53
Tabela 14- Definições do ERPG e AEGL. Fonte: EPA, AIHA.....	54
Tabela 15 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para a amônia.....	56
Tabela 16 - Resultados das simulações 1 e 2 (amônia, de dia).....	58
Tabela 17 - Resultado das simulações 3 e 4 (amônia, a noite)	62
Tabela 18 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para vazamentos de cloro. Fonte: Abiquim, 2011.	64
Tabela 19 - Resultados das simulações 5 e 6 (cloro, de dia)	66
Tabela 20 - Resultados das simulações 7 e 8 (cloro, a noite)	69
Tabela 21 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para o 1,3-butadieno.	70
Tabela 22 - Resultado das simulações 9 e 10 (1,3-butadieno, a noite)	72
Tabela 23 - Resultado das simulações 11 e 12 quanto a inflamabilidade (1,3-butadieno).....	76
Tabela 24 - Resultados para a amônia.....	81
Tabela 25 - Resultados para o cloro.....	81
Tabela 26 - Resultados para o 1,3-butadieno	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição da matriz do transporte de carga no Brasil em 2008.	3
Gráfico 2 - Acidentes por classe de risco da ONU no período de 1978 a 2004.	4
Gráfico 3 - Causas dos acidentes ambientais atendidos pela Cetesb 1983-2004.....	10
Gráfico 4 - Número de acidentes por tipologia/ano.	13

NOMENCLATURA

Símbolo	Descrição	Dimensão
P	Pressão	M/LT ²
ρ	Densidade	M/L ³
u	Velocidade instantânea média	L/T
F	Termo de perda por atrito	L/T ²
\dot{m}	Taxa mássica	M/T
W _s	Trabalho de eixo	ML/T ²
g	Aceleração da gravidade	L/T ²
Z	Altura	L
P _g	Pressão no interior do tanque	M/LT ²
α	Constante adimensional	--
h _L	Altura do líquido acima do furo	L
C ₀	Constante adimensional	--
C ₁	Constante adimensional	--
Q _m	Vazão mássica instantânea	L ³ /T
A _t	Seção transversal constante	L ²
t	Tempo de duração do vazamento	T
h _L ⁰	Altura inicial do líquido	L
C _m	Concentração na direção do vento	M/L ³
u _j	Velocidade na direção j	L/T
x _j	Distância percorrida na direção j	L
C	Concentração da substância	M/L ³
u _j '	Parcela de turbulência da velocidade	L/T
C'	Parcela de turbulência da concentração	M/L ³
$\langle u_j \rangle$	Média da velocidade	L/T
$\langle C \rangle$	Média da concentração	M/L ³
K _j	Difusividade de Eddy na direção j	L ² /T
σ_j	Coefficiente de dispersão de Pasquill-Gifford na direção j	L
x	Distância na direção x	L
y	Distância na direção y	L
z	Distância na direção z	L
g ₀	Fator de flutuabilidade inicial	L/T ²
ρ_0	Densidade inicial	M/L ³
ρ_a	Densidade do ar	M/L ³
D _c	Dimensão característica da fonte	L
q ₀	Fluxo volumétrico	L ³ /T
u	Velocidade do vento	L/T

Capítulo 1 . INTRODUÇÃO

Para muitos autores, a importância dos acidentes químicos na história da humanidade está diretamente relacionada à evolução histórica da produção e consumo de substâncias químicas em nível internacional e nacional (CURBANI, 2006).

O rápido desenvolvimento observado em inúmeros países ocidentais no pós-guerra fez com que aumentasse a demanda por bens de consumo e alimentos, que muitas vezes necessitam de substâncias químicas para a sua produção. Aliado a esse crescimento, houve a mudança da base energética do carvão para o petróleo, juntamente com o desenvolvimento intensivo da petroquímica. Esses fatores contribuíram para o aumento das dimensões das plantas industriais, especialmente plantas químicas e petroquímicas, e conseqüentemente do volume produzido, transportado e manipulado.

O progressivo aumento da fabricação e uso de produtos químicos perigosos torna cada vez mais frequente os acidentes, bem como a gravidade dos mesmos. Acidentes podem ocorrer em qualquer fase do processo, da fabricação até chegada ao consumidor final, mas é durante o transporte que a segurança operacional torna-se ainda mais complexa. Enquanto o ambiente industrial possui condições mais controladas e estabelecidas, o transporte de produtos químicos, especialmente por via rodoviária, enfrenta todo tipo de aleatoriedade e complexidade. Estradas em condições precárias, engarrafamentos e motoristas mal preparados são apenas alguns fatores que precisam ser considerados.

É importante ressaltar ainda que o veículo que realiza o transporte de produtos perigosos pode sofrer um acidente em qualquer ponto do seu trajeto, inviabilizando o monitoramento de todos os pontos de risco onde possa haver liberação de produtos perigosos. Diante disso, é de extrema importância que haja um preparo adequado da equipe de resposta à emergência, para que ela seja rápida e eficiente de modo a minimizar os impactos gerados. O “Manual de Atendimento a Emergência para Produtos Perigosos”, da Abiquim (Associação Brasileira da Indústria Química), é uma fonte de consulta rápida e que fornece informações de segurança de diversos produtos, auxiliando os profissionais nas decisões iniciais.

Considerando que as rodovias são o principal meio de transporte de cargas, inclusive de produtos perigosos, e que os atendimentos à emergência realizados por órgãos ambientais são em sua maioria em rodovias, o tema transporte rodoviário de produtos perigosos merece atenção especial. (VIANA, 2009)

1.1. Objetivo

Simular vazamento de produtos perigosos através de um furo devido a um acidente rodoviário com um caminhão-tanque utilizando ferramentas computacionais específicas. Verificar as concentrações que são alcançadas em determinados trechos e comparar com as recomendações do Manual para Atendimento à Emergência com Produtos Perigosos da Abiquim.

Capítulo 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produtos perigosos e seu transporte pelo Brasil

O setor de transporte, além de ser o responsável pela integração entre as áreas de produção e de consumo, reflete a riqueza e desenvolvimento de um país. Com o crescimento da economia brasileira dos últimos anos, surgiu uma demanda por melhora da infraestrutura viária do Brasil. Atualmente o setor logístico apresenta custos altíssimos devido à precária rede de transportes no país, resultando em custos elevados de fretes e perda da competitividade dos produtos no mercado.

Segundo a CNT (2011), são cinco os modais de transporte de carga: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. Cada um possui características operacionais e de custos, que os tornam mais adequados para determinados tipos de produtos e de operações. Ainda de acordo com a CNT (2011), a malha rodoviária foi responsável por mais de 60% do transporte de carga no Brasil, como pode ser visto no Gráfico 1. Afirma-se que “quase a totalidade dos produtos consumidos no país passa, em algum momento, pelas rodovias brasileiras” (CNT, 2011).

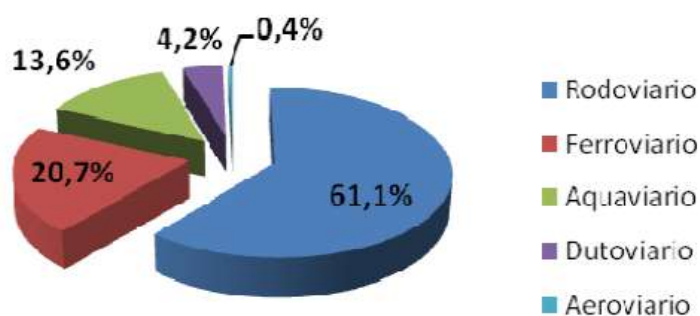


Gráfico 1 - Composição da matriz do transporte de carga no Brasil em 2008. Fonte: CNT, 2011

O modal rodoviário caracteriza-se pela flexibilidade operacional, com reduzidas restrições de acessibilidade. As rodovias brasileiras chegam a mais de 1.000.000 milhões de quilômetros de extensão, embora apenas 12,4% (dado de 2006) são pavimentadas. Fica claro que a infraestrutura não é a ideal, conforme pode ser verificado no estudo feito pela CNT (2007), que identificou que 73,9% da malha possui

“inadequação”, sendo o estado de conservação avaliado como “péssimo”, “ruim” ou “deficiente” (PEREIRA, 2009).

Dentre as cargas transportadas, as que se destacam como possuindo maior potencial de causar danos são os produtos perigosos.

Produto perigoso é aquele que, devido às suas propriedades físicas, químicas e toxicológicas, é capaz de causar danos a pessoas, mercadorias, segurança pública e ao meio ambiente, quando escapa do recipiente no qual estava inicialmente contido.

A ONU, através da identificação de algumas propriedades físicas das substâncias como corrosividade, radioatividade, polimerização, decomposição, dentre outras, dividiu os produtos perigosos em nove classes com as suas respectivas subclasses conforme Tabela 1.

Segundo dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento (Cetesb), os acidentes mais frequentes envolvendo produtos perigosos são aqueles envolvendo as classes dos líquidos inflamáveis e corrosivos, além dos gases, como pode ser observado no Gráfico 2. Ressalta-se ainda que cada classe de risco implica em um dano específico que está relacionado a vários fatores, tais como quantidade vazada, vulnerabilidade do entorno, condições atmosféricas no momento do acidente, características do produto, dentre outras. Estas podem atuar isoladamente ou em conjunto (MARGARIDA, 2008).

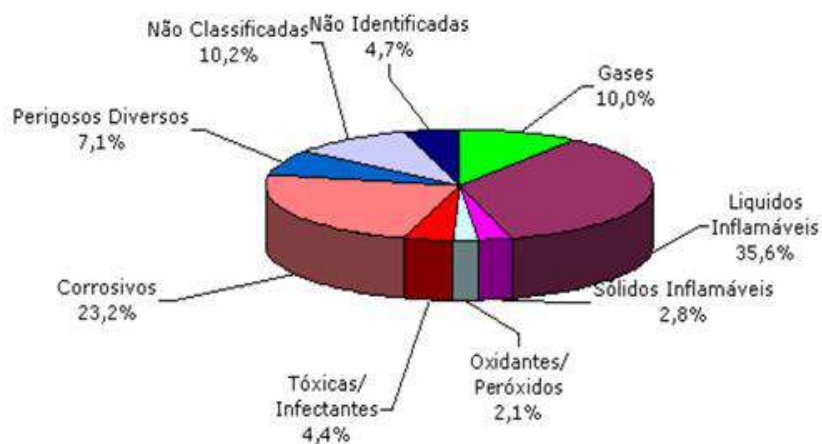


Gráfico 2 - Acidentes por classe de risco da ONU no período de 1978 a 2004. Fonte: Cetesb, 2004

Tabela 1 - Classificação de produtos perigosos. Fonte: Resolução 420, ANTT

Classificação	Subclasse	Definições
Classe 1 - Explosivos	1.1	Substâncias e artigos com risco de explosão em massa
	1.2	Substâncias e artigos com risco de projeção, mas sem risco de explosão em massa
	1.3	Substâncias e artigos com risco de fogo e com pequeno risco de explosão, de projeção, ou ambos, mas sem risco de explosão em massa
	1.4	Substâncias e artigos que não apresentam risco significativo
	1.5	Substâncias muito insensíveis, com um risco de explosão em massa
	1.6	Artigos extremamente insensíveis, sem risco de explosão em massa
Classe 2 - Gases	2.1	Gases inflamáveis
	2.2	Gases não-inflamáveis, não-tóxicos
	2.3	Gases tóxicos
Classe 3 - Líquidos Inflamáveis	-	Líquidos Inflamáveis
Classe 4 -Sólidos Inflamáveis, Substâncias auto-reagentes e correlatas e explosivos insensibilizados	4.1	Sólidos Inflamáveis
	4.2	Substâncias Sujeitas a Combustão Espontânea
	4.3	Substâncias que, em Contato com a Água, Emitem Gases Inflamáveis
Classe 5 - Substâncias Oxidantes - Peróxidos Orgânicos	5.1	Substâncias Oxidantes
	5.2	Peróxidos Orgânicos
Classe 6 - Substâncias Tóxicas (Venenosas) - Substâncias Infectantes	6.1	Substâncias Tóxicas (Venenosas)
	6.2	Substâncias Infectantes
Classe 7 - Material Radioativo	-	Material com Radionuclídeos
Classe 8 - Material Corrosivo	-	Material Corrosivo
Classe 9 - Substâncias e Artigos Perigosos Diversos	-	Material com Risco não Abrangido pelas outras Classes

Como os veículos de transporte de produtos perigosos circulam muitas vezes por áreas densamente povoadas e vulneráveis do ponto de vista ambiental, a liberação que ocorre em um acidente atinge não só os usuários da rodovia, mas também as populações lindeiras, comércio e o meio ambiente. A contaminação ainda pode chegar a outras regiões mais distantes devido aos ventos e curso dos rios atingidos.

É possível perceber, como base na Figura 1, a concentração de rotas de transporte rodoviário de produtos perigosos nas regiões sul e sudeste. A gestão de riscos,

principalmente nessas áreas, é muito importante e deve incluir medidas de segurança preventivas e corretivas.

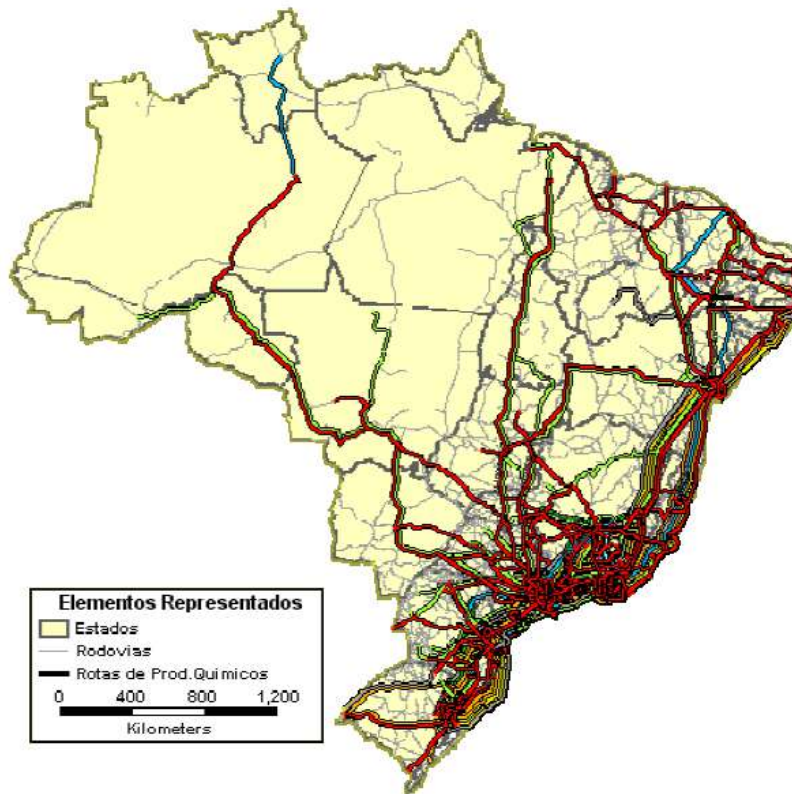


Figura 1- Rotas de transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil. Fonte: (MARGARIDA, 2008)

De acordo com PRAES, uma das mais importantes ferramentas de prevenção de acidentes com transporte de produtos perigosos e também de atuação em caso de ocorrência é a informação. Deste modo, é preciso orientar os cidadãos como identificar um veículo que transporta produto perigoso e conscientizá-lo sobre os danos que podem provocar à população e ao meio ambiente quando transportados inadequadamente ou por pessoas despreparadas. Deve-se ainda esclarecer que atitudes de segurança são necessárias ao trafegar perto desses veículos em uma situação normal e na ocorrência de um desastre.

Uma ferramenta útil para que possam ser tomadas ações preventivas é a caracterização das rotas por onde passam os veículos transportadores de produtos perigosos, o chamado rotograma. O uso desse instrumento possibilita o monitoramento

de dados, como o número de acidentes em cada trecho da via possibilitando identificar pontos críticos através de uma análise espacial levando em consideração a malha rodoviária, as divisões administrativas e a densidade populacional dos arredores. A identificação dos principais pontos de concentração de acidentes permite um estudo específico e prevenção de mais acidentes. (MARGARIDA, 2008)

A identificação visual dos riscos do transporte rodoviário é realizada por meio da sinalização padrão, composta por um painel de segurança, de cor alaranjada, e um rótulo de risco, bem como rotulagem das embalagens interna e externa. Essas informações obedecem aos padrões técnicos definidos na legislação. O painel de segurança deve possuir o número de risco e o número da ONU, já no rótulo de risco deve haver o símbolo de risco e a classe ou subclasse de risco conforme mostra a Figura 2. Estes painéis devem ser alocados no veículo em lugares pré-definidos determinados pela legislação. Os rótulos para cada classe, estabelecidos na resolução 420 da ANTT, estão ilustrados no Anexo 1.

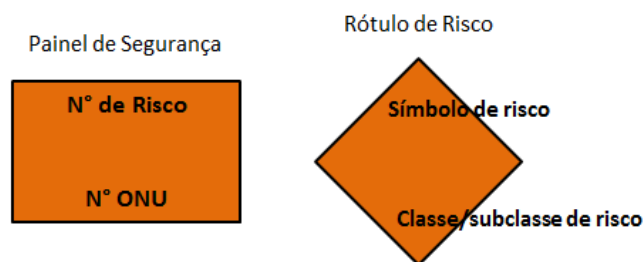


Figura 2 - Exemplo de painel de segurança e rótulo de risco

Outra forma, embora menos exata, de identificar a substância que está sendo transportada é o tipo ou formato do caminhão. O transporte rodoviário de produtos perigosos se faz, na maioria dos casos, em caminhões ou carretas, que podem conter embalagens, ou alternativamente em caminhões-tanque, ou ainda em veículos especializados em carregamento de sólidos (VICENTE, 2002). Alguns tipos estão mostrados na Figura 3.



Figura 3 - Formas geométricas dos tanques e contêineres de transporte. Fonte: Manual para Atendimento a Emergências com Produtos Perigosos da Abiquim.

2.2. Acidentes com produtos perigosos

“Anualmente, uma imensa quantidade de veículos transportando produtos perigosos cruza as rodovias brasileiras sem que haja um efetivo controle por parte do Estado no que diz respeito à redução de desastres. Na maior parte das unidades federativas brasileiras esses potenciais causadores de desastres não são adequadamente monitorados ao longo do seu trajeto, contando apenas com a “sorte” para que incidentes rotineiros não se transformem em acidentes ampliados.” (SENASP/ANP)

A definição de “acidentes ampliados” envolve eventos repentinos e inesperados onde ocorre liberação de produtos tóxicos, corrosivos, inflamáveis ou com outras características físico-químicas capazes de gerar contaminação, incêndio e/ou explosão, ferindo ou matando pessoas e animais, além causar severos danos ambientais.

A liberação repentina de energia em um acidente pode tomar diversas formas. Os efeitos das explosões físicas, por rápida descompressão de gás pressurizado, tendem a ser locais, porém as explosões químicas, que envolvem reações químicas, costumam

ter amplas repercussões. Estas podem resultar em incêndios. Em qualquer explosão há ainda a possibilidade de lançamento de fragmentos, que é chamado de “efeito granada”. Além de causar danos patrimoniais, podem ser fatais para socorristas e população próxima, causando queimaduras, traumatismos e lesões variadas. (CURBANI, 2006)

No caso de incêndio há o perigo de radiação de calor, prejudicial à população vizinha, a possibilidade de sua propagação, e a ocorrência de explosões. Além disso, ainda há riscos associados à combustão parcial das substâncias química envolvidas, resultando em liberação de gases tóxicos gerados na queima, que podem atingir áreas distantes. (CURBANI, 2006)

A contaminação química (intoxicação) de pessoas e animais pode ocorrer por inalação, absorção pela pele, injeção ou ingestão. Em todos os casos pode provocar danos severos ou mesmo óbito. Embora o efeito agudo seja mais facilmente observado em cenários acidentais, a exposição crônica pode promover problemas que somente surgem anos depois, como casos de câncer e mutagênese.

O meio ambiente também pode sofrer graves consequências em função de acidentes com produtos perigosos, principalmente quando o composto atinge rios, lagos, lençóis freáticos e outros recursos hídricos. Dessa forma, a substância perigosa pode atingir plantações e comunidades que dependem dessa água para a sobrevivência. Ainda pode haver contaminação do solo, da vegetação e do ar.

2.3. Acidentes rodoviários

Dentre os fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes rodoviários, com ou sem o envolvimento de produtos perigosos, Cunha (2009) cita a saturação da malha rodoviária, manutenção e sinalização precárias das estradas, falha mecânica nos veículos, fiscalização deficiente e falha humana. O autor ainda salienta que este último é um aspecto muito importante, e um dos principais causadores de acidentes. Cunha (2009) explicita alguns exemplos: dormir ou cochilar ao volante, ingerir bebidas alcoólicas ou drogas, fadiga, inexperiência e ainda deficiência na forma de dirigir como excesso de velocidade, falta de atenção e ultrapassagens inseguras.

Esses fatores contribuem para que aconteçam colisões e falhas mecânicas, que representam respectivamente 19,1 e 18,2% dos acidentes registrados pela Cetesb no período de 1983 a 2004. As causas podem ser melhor visualizadas através do Gráfico 3.

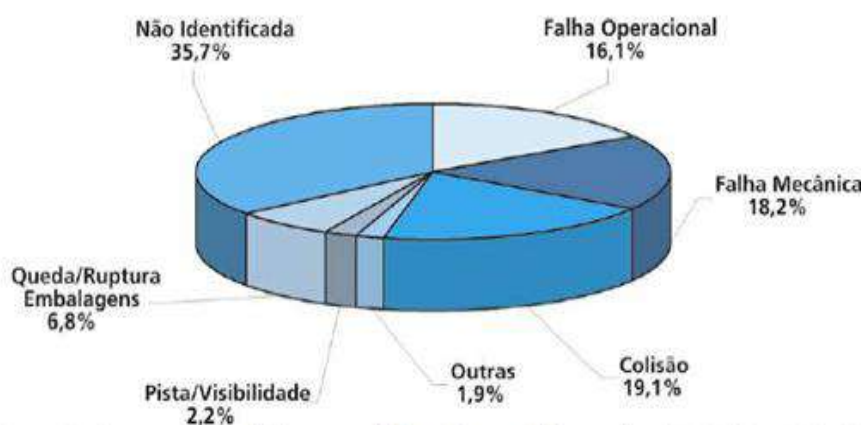


Gráfico 3 - Causas dos acidentes ambientais atendidos pela Cetesb 1983-2004. Fonte: ALVES

O SCPA possui estatísticas referentes ao transporte no estado do Rio de Janeiro e aponta que, dentre os acidentes envolvendo produtos perigosos com quantidades contabilizadas no período de 1983 / 2004, aproximadamente 57% foram de grande porte (acima de 1000 kg vazados), 31% de pequeno porte (até 100 kg vazados) e 14% de médio porte (entre 100 e 1000 kg vazados), sendo 60% dos atendimentos envolvendo carga a granel.

Na Tabela 2 estão alguns dos acidentes ocorridos recentemente no Brasil. A Figura 4 e Figura 5 ilustram dois deles.

O Gráfico 4 evidencia que o número de acidentes rodoviários supera em muito as ocorrências envolvendo outros modais. Deve-se atentar, no entanto, que trata-se de um número absoluto, portanto tendencioso, visto que há maior número de veículos em rodovias que em outros meios de transporte.

Tabela 2 - Acidentes com transporte de produtos perigosos em 2012. Fonte: Portal de Notícias da Globo.

Data	Local	Produto	Causa	Consequência	Observação
20/3/2012	Área residencial de Canela/RS	Gasolina	Vazamento pela válvula de abastecimento do tanque	Grande vazamento com grande risco de explosão	Contaminação do solo. Havia proximidade com outro caminhão estacionado, que carregava diesel
4/5/2012	Estrada Grajaú-Jacarepaguá/ RJ	Não informado	Tombamento	Explosão	Motoristas e transeuntes ficaram em pânico
11/5/2012	Bairro residencial em Ribeirão Preto/SP	GLP	Quebra do eixo do veículo, que atinge a tubulação	Percepção de odor forte pela população	5 quarteirões interditados
1/8/2012	BR-040 próximo a Corumbatai/SP	GNV	Abertura indevida do registro do tanque	Vazamento de gás	Trânsito impedido
9/8/2012	Rodovia entre Ribeirão Preto e Cravinhos/ sp	Amônia	Destravamento de válvula	Pequeno vazamento	Gás se dissipou rapidamente para área desabitada
14/8/2012	BR-101 na grande Vitória/ES	Óleo diesel	Acidente entre caminhão-tanque, carreta e um carro de passeio	Não houve grandes transtornos	Pista interditada gerando engarrafamento de 15km
16/8/2012	Recife/PE	GLP	Perda de controle do veículo seguido de tombamento	Vazamento de gás	15 mil litros de água utilizados para impedir incêndio
21/8/2012	Avenida Contorno/ BA	Material combustível não especificado	Tanque solta do caminhão	Vazamento com risco de explosão	Área foi isolada
1/9/2012	Serra de São Vicente/MT	Material combustível não especificado	Capotamento devido a excesso de velocidade	Derramamento de combustível	Mobilização da polícia militar, civil e do corpo de bombeiros
14/9/2012	BR-040 em Nova Lima/MG	Material combustível não especificado	Tombamento	Vazamento de combustível na pista	Interdição dos dois sentidos da via resultando em 5 km de congestionamento
15/9/2012	Rodovia de Paulínia/SP	Etanol	Perda de controle seguida de tombamento	Vazamento com risco de explosão	Uma retroescavadeira ajudou a conter o combustível no local
18/9/2012	Rodovia dos Imigrantes/ SP	Etanol e gasolina	Acidente entre caminhão-tanque e ônibus	Vazamento com possível contaminação das galerias pluviais	3 feridos e fluxo desviado
21/9/2012	BR-262 em Belo Horizonte/MG	Etanol	Capotamento	Incêndio que chegou a vegetação às margens da rodovia	Motorista ficou ferido
19/10/2012	Itatinga/SP	Etanol	Perda de controle do veículo seguido de tombamento devido a problema mecânico	Vazamento	A área foi isolada



Figura 4- Acidente com caminhão-tanque na BR-262, em Belo Horizonte, em 2012. Fonte: Portal de Notícias da Globo.



Figura 5 - Acidente com caminhão-tanque em Cuiabá, em 2012. Fonte: Portal de Notícias da Globo.

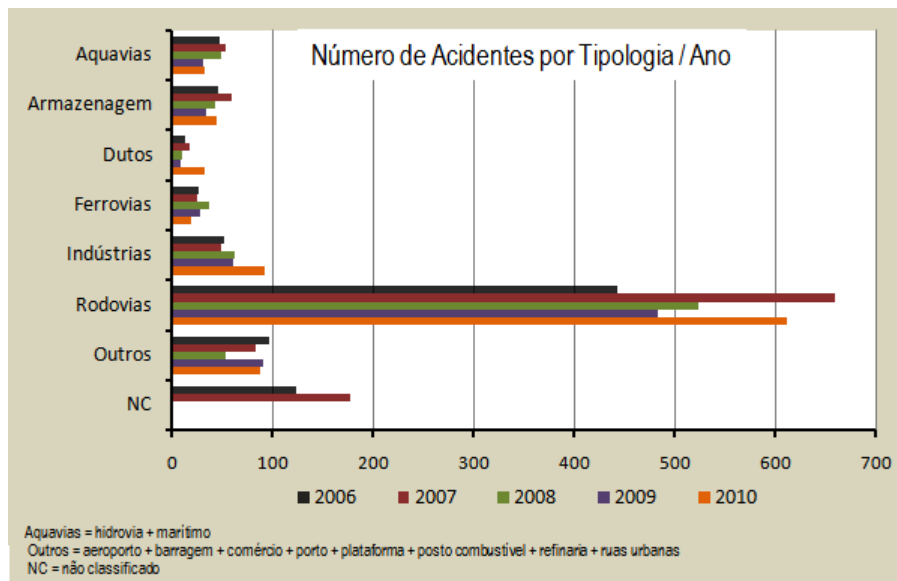


Gráfico 4 - Número de acidentes por tipologia/ano. Fonte: SETTI, 2012

2.3. Legislação

No Brasil há vários órgãos do governo que atuam conjuntamente visando criar mecanismos necessários para a viabilização do transporte rodoviário de produtos perigosos, dos quais pode-se citar o Ministério dos Transportes, representado pelo GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes); a ANTT e o DNIT, que além de outras atribuições, são responsáveis pela pesquisa e elaboração de documentos-base para a regulamentação dos modais ferroviário e rodoviário; o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia), encarregado da elaboração de regulamentos técnicos (Normas Técnicas), que visam a viabilização da segurança e qualidade de veículos, equipamentos e operações; a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), mais especificamente o CB 16 (Comitê Brasileiro 16), responsável pela elaboração de normas técnicas necessárias para subsidiar a implementação da legislação do Ministério dos Transportes.

Além desses atores, pode-se citar as secretarias estaduais de meio ambiente, que fazem o direcionamento das políticas públicas, o Ministério da Defesa e o Exército, responsáveis pelos produtos explosivos, e a Comissão Nacional de Energia Nuclear, responsável pelas substâncias radioativas. O CONTRAN, subordinado ao Ministério da Justiça, regulamenta as questões relacionadas ao treinamento obrigatório de motoristas e define os critérios para aplicação de multas aos infratores (ARAÚJO, 2001). Algumas

entidades de classe e sindicatos também colaboram para reduzir o risco no transporte de produtos perigosos. Especificamente a Abiquim possui comissão permanente voltada para o acompanhamento e certificação de empresas transportadoras. Ainda pode-se citar as prefeituras, tais como Rio de Janeiro e São Paulo, que limitam o transporte de produtos perigosos especificamente, ou de caminhões em geral, em determinados trechos da cidade e em determinados horários. Tais medidas visam impedir a circulação desses veículos em grandes centros durante horários de pico.

É importante destacar que a preocupação com o manuseio e transporte de produtos perigosos no Brasil passou a ser mais forte no final da década de 70, quando as empresas passaram a investir recursos em pesquisas com o objetivo de criar formas mais seguras de transportar os produtos químicos. Contudo, somente em 1983, após um acidente com pentaclorofenato de sódio que vitimou 6 pessoas no Rio de Janeiro, que entrou em vigor a primeira legislação no âmbito nacional, e primeira da América Latina, sobre transporte de produtos perigosos, o Decreto nº 88.821 de 06 de outubro de 1983.

O decreto é, a grosso modo, uma compilação de leis de outros países adaptadas para a realidade brasileira. Era visto por muitos como impraticável em alguns aspectos, rigoroso em outros, além de tendencioso, pois tornava o transportador o único responsável no transporte. (MARGARIDA, 2008)

Após quase três anos de discussões, envolvendo todos os interessados, foi sancionado o Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988 – Regulamento para Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (RTRPP). Neste, os deveres, obrigações e responsabilidades foram distribuídos entre o fabricante do equipamento de transporte, o fabricante ou importador do produto perigoso a ser transportado, o contratante do transporte, o expedidor, o transportador e o destinatário (MARGARIDA, 2008). Esse novo texto foi baseado nas recomendações do Regulamento Modelo conhecido como “Orange Book”, elaborado pelo Comitê de Peritos em Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas e atualizado periodicamente (ANTT, 2012).

Em 25 de Janeiro de 1996 foi aprovado Decreto 1.795 - Acordo de Alcance Parcial para Facilitação de Transporte de Produtos Perigosos no Mercosul, devido a crescente integração dos mercados regionais. Nesse mesmo contexto, surgiu uma proposta para integração entre os países, fazendo com que todos adotem o mesmo padrão de sinalização. Esta proposta ficou conhecida como GHS, Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals. Ela visa a adoção de classificação

e símbolos únicos para todos os países, pois entende que diferentes sinalizações para o mesmo produto causa impactos para a segurança e para o comércio internacional.

A Lei nº 10.233 foi promulgada em 5 de Junho de 2001, redefiniu responsabilidades e atribuiu competências para cada órgão integrante da estrutura. Já em 12 de fevereiro de 2004 a ANTT aprovou a Resolução nº 420 com instruções complementares ao RTPP, estabelecendo nova estrutura para a sinalização dos produtos. Nesse mesmo ano foi criado o Decreto nº 5.098 que dispõe sobre a criação do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos – P2R2.

A ANTT, devido à importância da atualização permanente do aparato legal e de sua adequação aos padrões internacionais, instituiu um processo de revisão da legislação de forma contínua em sincronia com as recomendações da ONU. Estas são atualizadas a cada dois anos (MARGARIDA, 2008).

Outros dispositivos legais que devem ser obedecidos são os Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro e as normas técnicas da ABNT. Margarida (2008) fez interessante levantamento dos principais regulamentos e normas que se aplicam ao estudo. A Tabela 4 e Tabela 3 apresentam este levantamento.

Tabela 3 - Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro aplicados a produtos perigosos. Fonte: MARGARIDA, 2008.

RTQ-5	Veículo Destinado ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.
RTQ-2 I	Equipamento para o Transporte de Produtos a Granel - Inspeções Periódicas - Álcool Etílico Combustível, Álcool Metílico, Querosene, Gasolina, Óleo Diesel e Combustíveis para Aviões.
RTQ-32	Construção e Instalação e Inspeção para Veículos Rodoviários Destinados ao Transporte de Produtos Perigosos.
RT-27	Inspeções em Equipamentos Destinados ao Transporte de Produtos Perigosos a Granel não incluídos em Outros Regulamentos.

Tabela 4 - Normas Técnicas da ABNT referentes a produtos perigosos. Fonte: MARGARIGA, 2008

NBR 7500	Estabelece a simbologia convencional e o seu dimensionamento para produtos perigosos, a ser aplicada nas unidades de transporte e nas embalagens, a fim de indicar os riscos e os cuidados a serem tomados no transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento, de acordo com a carga contida.
NBR 7501	Define os termos empregados no transporte terrestre de produtos perigosos.
NBR 7503	Especifica os requisitos e as dimensões para a confecção da ficha de emergência e do envelope para o transporte terrestre de produtos perigosos, bem como as instruções para o preenchimento da ficha e do envelope.
NBR 9735	Estabelece o conjunto mínimo de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos, constituído de equipamento de proteção individual, a ser utilizado pelo motorista e pessoal envolvido (se houver) nas operações de transporte do veículo, equipamentos para sinalização, isolamento da área da ocorrência (avaria, acidente e/ou emergência) e extintor de incêndio portátil.
NBR 10271	Especifica o conjunto mínimo de equipamentos que devem acompanhar o transporte rodoviário de ácido fluorídrico (HF) para atender às situações de emergência, acidente ou avaria. O conjunto prevê elementos para a sinalização e o isolamento da área da ocorrência e solicitação de socorro, conforme instruções citadas na ficha de emergência e envelope para transporte.
NBR 12710	Trata da proteção contra incêndio por extintores, no transporte rodoviário de produtos perigosos.
NBR 12982	Fixa os requisitos mínimos exigíveis para a desvaporização de tanque para transporte terrestre de produtos perigosos - classe de risco 3 - líquidos inflamáveis.
NBR 13095	Define a instalação e fixação de extintores de incêndio para carga, no transporte rodoviário de produtos perigosos.
NBR 13221	Especifica os requisitos para o transporte terrestre de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública.
NBR 14064	Estabelece os requisitos mínimos para orientar as ações básicas a serem adotadas por entidades ou pessoas envolvidas direta ou indiretamente em situações de emergência, no transporte terrestre de produtos perigosos.
NBR 14095	Define a área de estacionamento para veículos rodoviários de transporte de produtos perigosos.
NBR 14619	Estabelece os critérios de incompatibilidade química a serem considerados no transporte terrestre de produtos perigosos.

2.4. Abiquim

A Abiquim é uma entidade sem fins lucrativos fundada em 1964 e que congrega indústrias químicas de todos os portes, bem como prestadores de serviço da área de logística, transporte, gerenciamento de resíduos e atendimento à emergência. A sua missão é aumentar a competitividade e promover o desenvolvimento sustentável da indústria química instalada no país. Possui dezenove comissões técnicas e nove comissões setoriais que formam a base das suas atividades.

Conforme mencionado, a associação tem forte atuação nas operações de transporte e distribuição de produtos perigosos, possuindo programas que objetivam diminuir o número de acidentes relacionados.

“Dentre outras atividades, a Abiquim procura padronizar a documentação relacionada ao transporte, instituir treinamento específico para as equipes envolvidas, estender os benefícios de exames médicos e treinamento também aos terceirizados da empresa transportadora, e promover a conscientização da importância de proteção ao meio ambiente e à saúde humana e respeito à legislação. Desde 2005 as empresas associadas à Abiquim possuem o compromisso de somente contratar empresas avaliadas pelo SASSMAQ - Sistema de Avaliação de Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade”. (LIMA, 2006)

Outro programa preconizado pela associação em parceria com a Abicolor é o “Olho Vivo na Estrada”. O objetivo é prevenir atitudes inseguras no transporte de produtos perigosos por meio da conscientização dos motoristas. A meta do programa é reduzir a zero o número de acidentes nas estradas com produtos químicos. O conceito básico do programa é de que, antes de um grande acidente, ocorreram várias pequenas falhas nos equipamentos ou nas operações de transporte, que não foram comunicadas à empresa. O “Olho Vivo na Estrada” incentiva o motorista a relatar essas ocorrências, possibilitando a adoção de ações preventivas ou corretivas.

Muito antes do SASSMAQ, já em 1989, a Abiquim criou o Pró-Química, serviço de informação e comunicação que visa ser um ponto de apoio em ocorrências com produtos químicos perigosos. Os produtores, expedidores, destinatários e transportadores do produto, bem como a Polícia Militar, a Polícia Rodoviária, o Corpo de Bombeiros, a Defesa Civil, Órgãos Ambientais e outros envolvidos com as ocorrências de emergência podem utilizar o Pró-Química para receber a assistência necessária para a comunicação da ocorrência e a solicitação de ajuda. Podem, ainda, receber de imediato informações sobre os produtos químicos e orientações de precaução. As informações fornecidas tem como base o banco de dados da Abiquim, que inclui as fichas de informação de segurança de produtos químicos (FISPs) e informações disponíveis no Manual de Atendimento à Emergências com Produtos Perigosos publicado pela Abiquim.

2.5. Manual de Atendimento à Emergências da Abiquim

O Manual de Atendimento à Emergências surgiu da necessidade de se ter uma fonte de consulta rápida e confiável para situações de emergência, onde as principais informações relacionadas à segurança do produto estivessem disponíveis. O Manual da Abiquim foi lançado em 1989, e logo foi adotado por várias equipes de atendimento à emergência como Corpo de Bombeiros e Polícia Rodoviária.

O Manual possui como base a Resolução 420, de 2004, da Agencia Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), as orientações da ONU para o transporte terrestre de produtos perigosos, e o guia americano Emergency Response Guidebook do U.S. Department of Transportations (DOT). Adota ainda informações do Transport Canada (TC), da Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), e do Centro de Información Química para Emergência (CIQUINE), da Argentina.

O Manual inicia com a sequência dos passos que deve ser adotada no atendimento à emergência com produtos perigosos, assim como medidas de precaução que precisam ser tomadas. A sequência inclui as ações de isolamento do local, a identificação dos produtos envolvidos, a observação dos pontos relevantes da ocorrência, a comunicação e solicitação de ajuda e as ações de controle. Para a realização de algumas ações o usuário pode necessitar de informações adicionais, que estão disponíveis nas páginas subsequentes. O texto faz uma abordagem simples de como identificar os produtos envolvidos através dos painéis de segurança e dos rótulos de risco.

A seguir a publicação apresenta, em páginas amarelas e azuis, a listagem de produtos químicos em ordem numérica (número ONU) e alfabética.

Finalmente, a página com cor laranja contém as guias com as recomendações de emergência aplicáveis a cada situação. Cada uma das 62 guias foi concebida para aplicação a um grupo de substâncias com características químicas e de perigo similares. Elas são padronizadas com o seguinte formato: na parte superior da folha é mostrado o número da guia e o nome do grupo a qual o produto pertence, identificando as propriedades gerais de perigo. No lado esquerdo encontram-se os perigos potenciais para a saúde, assim como aqueles relacionados a fogo e explosão. A seguir apresenta a seção de segurança pública, onde contém informações sobre o isolamento imediato,

vestimentas de proteção que devem ser utilizadas pela equipe de emergência e a área de evacuação em caso de grande derramamento ou ocorrência de fogo. O lado direito se refere às ações de atendimento à emergência em caso de grandes, médios e pequenos incêndios ou vazamentos, assim como medidas de primeiros socorros.

No Manual os produtos tóxicos por inalação são identificados pela cor verde na listagem. Nesse caso o texto remete o usuário para tabela que apresenta as distâncias de isolamento inicial e de proteção ao público na direção do vento no caso de grandes e pequenos vazamentos. A forma da área pode ser vista na Figura 6.

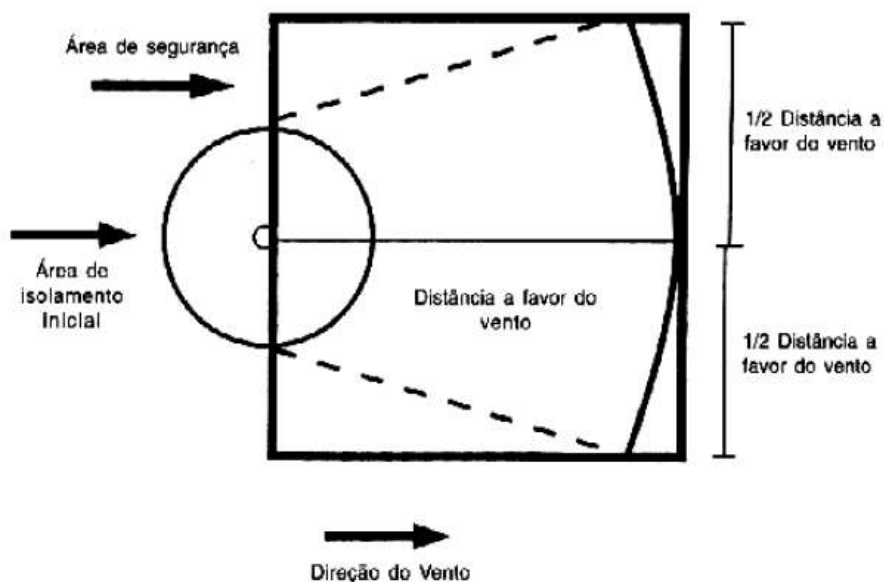


Figura 6 - Áreas Classificadas. Fonte: Manual da Abiquim

2.6. Programa de Atendimento à Emergência

Na ocorrência de um acidente é preciso que haja um planejamento de como será feito o atendimento, a fim de minimizar as consequências para a população e para o meio ambiente, otimizando as ações de resposta. Essa preparação engloba ações de instituições governamentais e não-governamentais e das empresas fabricantes e transportadoras.

O Plano de Atendimento à Emergência, PAE, deve conter diretrizes a serem adotadas ao ser identificado um acidente. Reúne, de forma estruturada e sequencial, todos os procedimentos técnicos e administrativos a fim de que não haja perda de tempo com elaboração de uma estratégia e que todos já tenham sido devidamente treinados para agir naquela situação de emergência.

Segundo ALMEIDA, o plano deve ser dividido em 7 etapas: identificação do produto e de seus riscos; proteção pessoal; isolamento da área; salvamento de vítimas; contenção e controle do produto; descontaminação e relatório.

Uma das primeiras ações a serem tomadas é a identificação do produto ou produtos envolvidos, bem como o tipo de acidente, para que se tenha uma dimensão da gravidade da situação e das possíveis consequências. A identificação do produto envolvido em um acidente rodoviário é feita, a princípio, através dos painéis de identificação e rótulos de risco afixados no veículo. Caso não seja possível a visualização, deve-se procurar a ficha de emergência ou documento fiscal.

Utiliza-se, então, o referido Manual para a identificação dos riscos potenciais e das primeiras ações a serem tomadas. Nele também consta a área a ser isolada, em função de estar lidando com um pequeno ou grande vazamento, e da presença ou não de chamas.

A área da emergência pode ser isolada em três zonas distintas, denominadas: “quente”, “morna” e “fria” (PRAES), como pode ser visto na Figura 7. A zona quente ou de exclusão é onde aconteceu o acidente e os arredores que podem estar contaminados. Trata-se de uma zona com risco iminente. A zona morna ou zona de redução de contaminantes é a área de transição, onde é instalado o corredor de descontaminação. O isolamento mais distante, a zona fria ou zona de suporte, é o local onde apresenta risco mínimo ou inexistente. Nela estão situados o apoio logístico e a imprensa (SENASP/ANP).

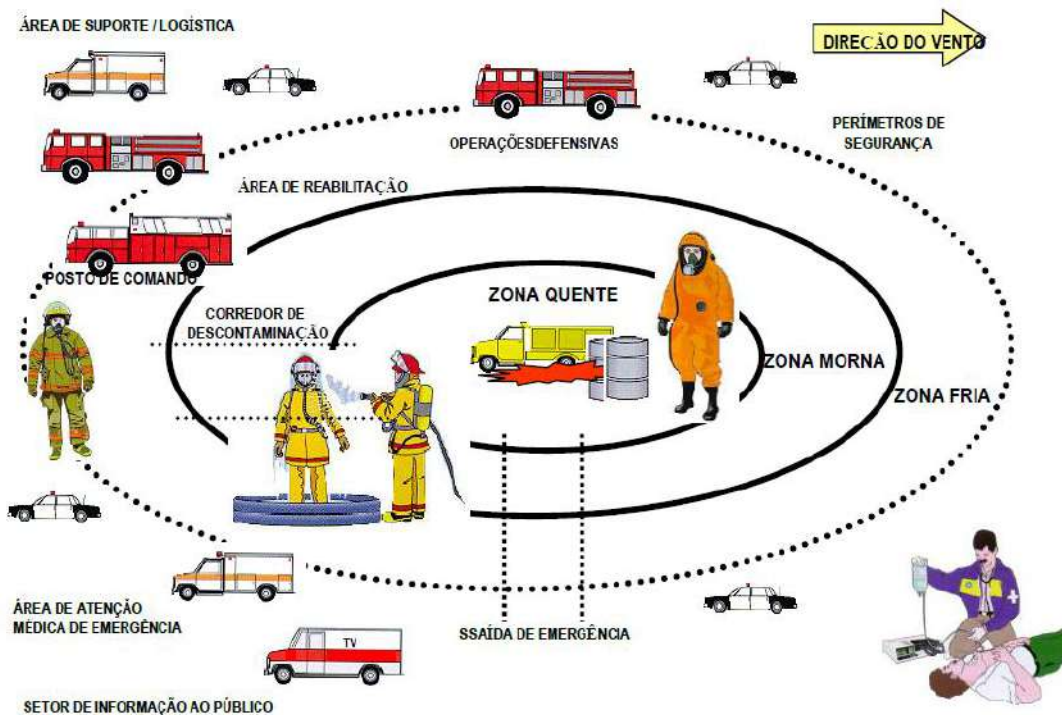


Figura 7 - Zonas de controle de risco. Fonte: PRAES

Esse isolamento deve levar em consideração as informações do Manual da Abiquim, assim como a direção do vento, topografia do local e condições meteorológicas. Uma alternativa é utilizar um programa de simulação de acidentes próprio para atendimento a emergências. O software ALOHA, desenvolvido pela agência ambiental americana EPA e de distribuição gratuita, é uma opção. O ALOHA determina as áreas com potencial de danos à população e ao meio ambiente de acordo com as condições específicas do acidente. Esse tipo de ferramenta pode servir como auxílio no processo de avaliação do cenário acidental.

Finalmente é importante ressaltar que as emergências são dinâmicas, mudam com o passar do tempo, logo é preciso um monitoramento constante das condições presentes para garantir a segurança da equipe de emergência e da população envolvida. Somente após o isolamento é que as ações de salvamento de vítimas, contenção do vazamento e descontaminação devem ser realizadas (ALMEIDA).

Capítulo 3 . DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Em cenários de acidentes com produtos químicos pode haver a ocorrência de dispersão destes pela atmosfera, contaminando o ambiente ao redor e causando consequências graves para as equipes de socorro e a população. É preciso, então, tomar medidas mitigadoras para reduzir o impacto provocado pela presença de contaminantes na atmosfera. Porém, para adotar medidas corretas e eficazes, evitando esforços desnecessários, é importante que se conheça a área de risco.

O fenômeno da dispersão descreve o transporte de gases pelo ar, sendo caracterizado pelo efeito combinado de dois componentes: a difusão e a convecção. De modo simplificado, a difusão está relacionada principalmente com a velocidade do ar e influencia principalmente na distância horizontal que o gás irá alcançar. A convecção, por sua vez, é influenciada pela turbulência da atmosfera e vai determinar o alcance vertical do poluente. A Figura 8 esquematiza esses componentes.



Figura 8 - Componentes da Dispersão. Fonte: APDM

A dispersão pode ser caracterizada por uma pluma (Figura 9) ou por “puff” (Figura 10). O modelo de pluma descreve a nuvem formada a partir de um vazamento contínuo e estável ao longo do tempo. O modelo “puff”, por outro lado, representa uma liberação súbita e instantânea, de uma quantidade de material.

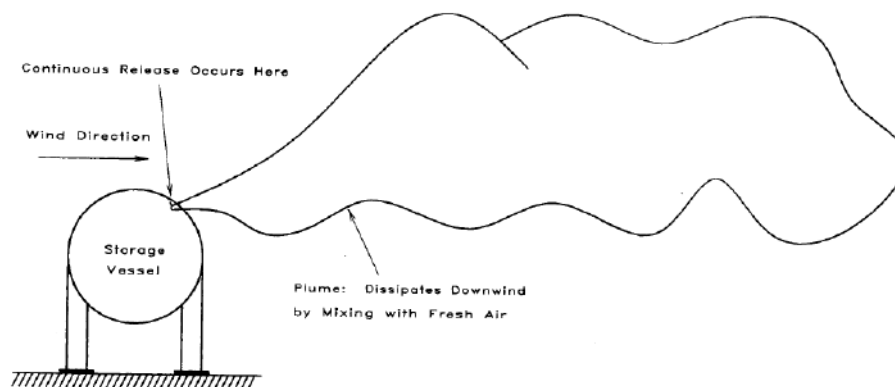


Figura 9 - Dispersão atmosférica com característica de pluma por um vazamento contínuo. Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

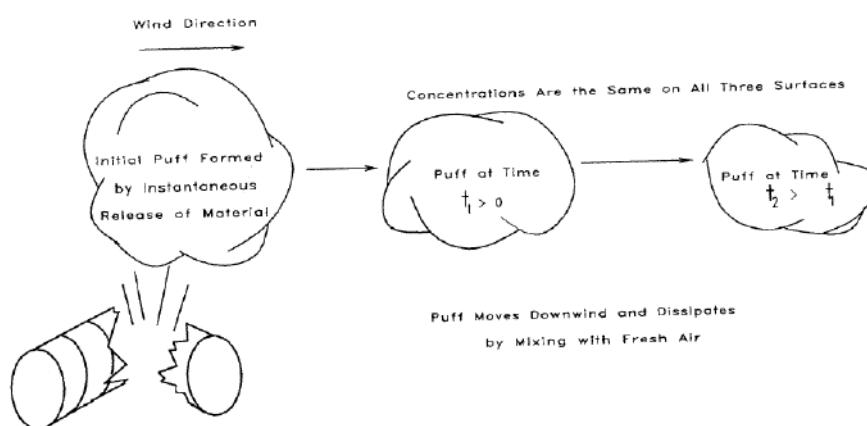


Figura 10 - Dispersão atmosférica com característica de "puff" por um vazamento instantâneo de gás. Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

Na Figura 11 podem ser observadas as etapas para a determinação da área de risco. Em um primeiro momento é preciso que seja usado um modelo de fonte ou liberação para se calcular a vazão de liberação do composto para o meio externo. Em seguida usa-se um modelo de dispersão para prever a área afetada. Avalia-se, então, a concentração que será atingida em diferentes distâncias. Comparando tais valores com padrões de toxidez e inflamabilidade é possível definir a área de risco. A partir dessa informação podem ser tomadas as providências de emergência. Em **negrito** estão as condições que serão usadas no presente estudo.

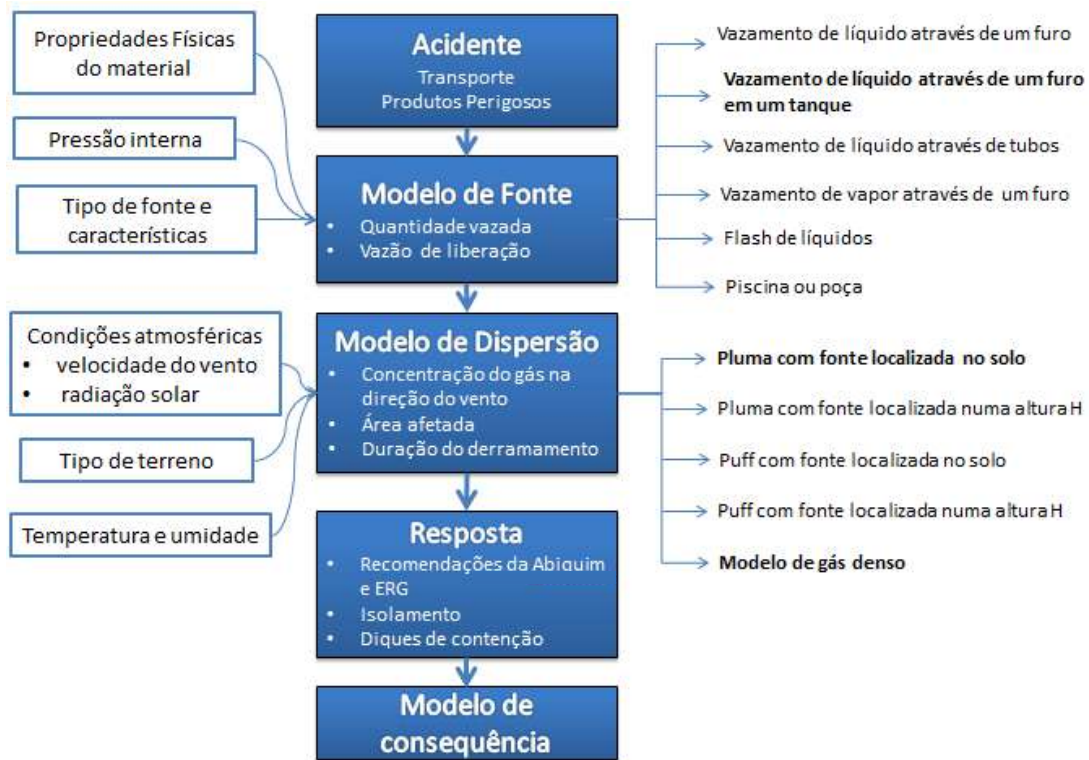


Figura 11 - Fluxograma das etapas para resposta a um acidente. Adaptado de Crowl e Louvar, 2002.

3.1. Modelos de Fonte ou Liberação

Os modelos de fonte são fundamentados em equações que, a partir das propriedades da substância e das características do escoamento, descrevem a velocidade e a taxa de liberação do líquido ou gás para o meio. Neste estudo o modelo utilizado é o de vazamento de líquido através de um furo em um tanque, representado pela Figura 12.

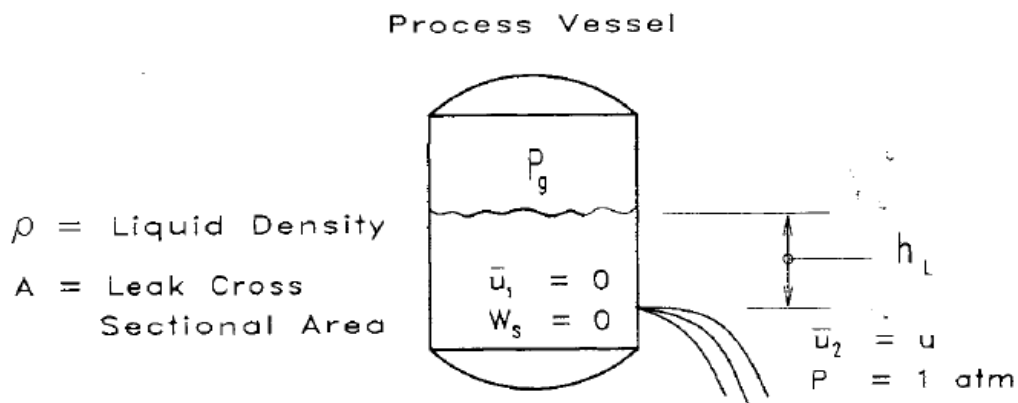


Figura 12 - Representação de um furo em um tanque com líquido. Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

A figura ilustra um furo situado em uma altura h_L abaixo do nível de líquido no tanque. A pressão manométrica no interior do tanque é P_g . A pressão no exterior é a atmosférica, portanto será usado o valor 0 para os cálculos. Considera-se que a pressão interna do tanque mantém-se constante ao longo do escoamento.

O balanço de energia (Equação 1) representa as formas de energia associadas ao vazamento do líquido.

$$\int \frac{dP}{\rho} + \Delta \left(\frac{u^2}{2\alpha} \right) + g\Delta z + F = - \frac{W_s}{\dot{m}}$$

Equação 1

Onde:

P= Pressão

ρ = Densidade do fluido

u = Velocidade instantânea média do fluido

α = Fator de correção relacionado ao perfil da velocidade

g= Aceleração da gravidade

z= Altura acima da referência

F= Termo de perda por atrito

W_s = Trabalho de eixo

\dot{m} = Taxa mássica

Considerando que o fluido seja incompressível (ρ é constante) e que a pressão no interior do tanque pode ser considerada constante, pode-se usar a Equação 2.

$$\int \frac{dP}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_g}{\rho}$$

Equação 2

Fazendo a consideração de que o vazamento acontece através de um furo pequeno, quando o fluido escapa para a atmosfera a pressão do líquido se transforma em energia cinética (velocidade do fluido) e energia térmica devido ao atrito entre o líquido e a borda do furo (Crowl e Louvar, 2002).

Como não há trabalho de eixo, chega-se na Equação 3.

$$\Delta \left(\frac{u^2}{2\alpha} \right) = -\frac{\Delta P}{\rho} - g\Delta z - F$$

Equação 3

Aproximando o atrito por uma constante adimensional, C_1 , conforme Equação 4 e definido uma nova constante $C_0 = C_1\sqrt{\alpha}$ se tem a Equação 5 a partir da Equação 1.

$$-\frac{\Delta P}{\rho} - g\Delta z - F = C_1^2 \left(-\frac{\Delta P}{\rho} - g\Delta z \right)$$

Equação 4

$$u = C_0 \sqrt{2 \left(\frac{P_g}{\rho} + gh_L \right)}$$

Equação 5

A vazão mássica instantânea, Q_m , resultante do vazamento através de um furo de área A é dada pela Equação 6.

$$Q_m = \rho u A = \rho A C_0 \sqrt{2 \left(\frac{P_g}{\rho} + gh_L \right)}$$

Equação 6

Essa equação é função da altura do líquido no tanque e da altura do orifício. Enquanto o tanque esvazia a altura diminui, assim como velocidade e a vazão. Para um tanque com seção transversal constante, A_t , a massa de líquido acima do furo é dada pela Equação 7 e a vazão é representada pela Equação 8.

$$m = \rho A_t h_L$$

Equação 7

$$\frac{dm}{dt} = -Q_m$$

Equação 8

Substituindo a Equação 6 e a Equação 7 na Equação 8 chega-se a equação diferencial que representa a altura do líquido com o tempo (Equação 9).

$$\frac{dh_L}{dt} = -\frac{C_0 A}{A_t} \sqrt{2 \left(\frac{P_g}{\rho} + gh_L \right)}$$

Equação 9

Integrando a equação de h_L^0 até um h_L qualquer e isolando h_L chega-se a Equação 10.

$$Q_m = \rho C_0 A \sqrt{2 \left(\frac{P_g}{\rho} + gh_L^0 \right) - \frac{\rho g C_0^2 A^2}{A_t} t}$$

Equação 10

O valor do coeficiente de atrito, C_0 , depende do tipo de furo. Para furos onde a perda de carga é maior devido ao maior atrito, usa-se $C_0 = 0,61$. Já para orifícios sem arestas ou quando se deseja ser mais conservador, é usado $C_0 = 1$.

3.2. Modelos de Dispersão

As características da substância que está sendo liberada, assim como a forma dessa liberação e as condições atmosféricas, vão determinar o comportamento da nuvem formada.

Existem diversos modelos de dispersão disponíveis, desde simples equações que podem ser resolvidas com auxílio de planilhas eletrônicas, até modelos complexos que necessitam de inúmeros dados de entrada e poderosos programas dedicados.

O modelo apropriado para ser usado em cada situação depende da escala do problema, do nível de informação disponível e que se deseja obter. A finalidade da

aplicação, assim como os conhecimentos prévios do usuário e o tempo disponível também afetam na decisão. Enquanto em uma investigação de acidentes informações detalhadas são necessárias, em uma reposta de emergência simplificações podem ser aceitas em troca da obtenção de estimativas rápidas.

A dispersão do gás cuja densidade é similar a do ar ambiente é chamada de “dispersão neutra” ou “empuxo neutro” (PASCON). Para este tipo de dispersão existem inúmeros modelos, tais como (Air Pollution Dispersion Glossary):

Modelo de caixa: é o modelo mais simples. Adota um volume de controle com formato de caixa, e assume que os poluentes estão distribuídos homogeneamente dentro dela. É um modelo muito simples e de pouca precisão.

Modelo de Lagrange: esse modelo considera a pluma como parcelas que possuem movimento aleatório. Usa, então, estatística para o cálculo da trajetória global.

Modelo de Euler: Muito similar ao modelo de Lagrange, considera a pluma como parcelas, mas usa um plano cartesiano fixo, diferente do outro modelo, em que o plano acompanha a pluma.

Modelo Gaussiano: É talvez o modelo mais antigo e também o mais utilizado até hoje. Ele considera que a concentração do poluente assume uma distribuição normal nas direções vertical e horizontal, e que a maior concentração acontece ao longo da linha do centro da pluma (Figura 13). De acordo com esse modelo o vento e a turbulência são as fontes que movem o contaminante pela atmosfera. Será o modelo utilizado neste estudo. As equações do Modelo Gaussiano encontram-se detalhadas no item seguinte.

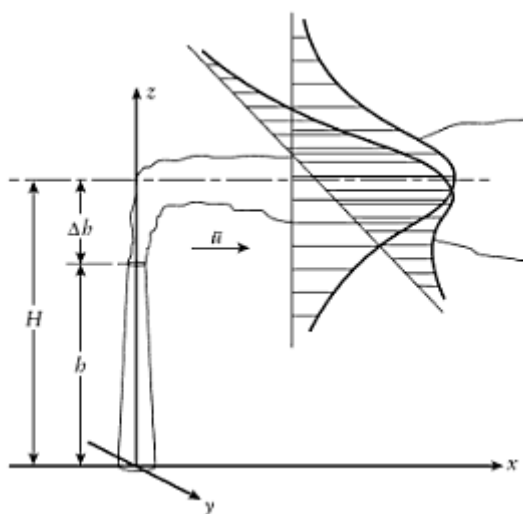


Figura 13 - Modelo de dispersão Gaussiano. Fonte: VERSILIND

É importante ressaltar que quando o gás possui densidade maior que o ar onde está se dispersando, seja devido ao maior peso molecular ou à baixa temperatura, o comportamento observado é bem diferente daquele encontrado nos modelos citados. Em um primeiro momento o gás denso desce em direção ao solo devido à gravidade, aumentando o alcance da pluma e diminuindo a sua altura. Ocorre, posteriormente, uma diluição do contaminante, enquanto se move na direção do vento. A diluição aproxima sua densidade com a do ar. A uma distância razoável da fonte a pluma se comporta como descrito pelos modelos de dispersão neutra.

Atualmente os modelos mais utilizados para dispersão de gases densos são o SLAB, HEGADAS, DEGADIS e Bitter e McQuaid. O software ALOHA utiliza uma versão simplificada do DEGADIS, de rápida convergência, modelo utilizado no presente estudo.

3.2.1. Modelo Gaussiano

Considerando um vazamento com vazão Q_m para uma atmosfera infinita, e assumindo que a difusão molecular é desprezível se comparada com a convecção, a concentração é função do tempo e do espaço, conforme Equação 11 (Crowl e Louvar, 2002).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (u_j C)}{\partial x_j} = 0$$

Equação 11

Onde:

u_j = velocidade do vento na direção j

x_j = distância percorrida pelo produto na direção j

C = concentração da substância na atmosfera

A velocidade e a concentração serão representadas como uma soma da média do parâmetro correspondente com uma parcela que representa o efeito da turbulência, conforme a Equação 12 e Equação 13 (Crowl e Louvar, 2002).

$$u_j = \langle u_j \rangle + u'_j$$

Equação 12

$$C = \langle C \rangle + C'$$

Equação 13

Substituindo-se a Equação 12 e Equação 13 na Equação 11 chega-se a:

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \frac{\partial (\langle u_j \rangle \langle C \rangle)}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u'_j C' \rangle}{\partial x_j} = 0$$

Equação 14

Para descrever a turbulência é usada a difusividade de Eddy, K_j , definida conforme a Equação 15 (Crowl e Louvar, 2002).

$$\langle u'_j C' \rangle = -K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$$

Equação 15

Assumindo incompressibilidade da atmosfera, a Equação 14 fica:

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Equação 16

A Equação 16 pode ser resolvida para diversos casos de acordo com as condições de contorno especificadas. Neste estudo será resolvido o cenário de uma pluma a partir de um vazamento no nível do solo, com as coordenadas ajustadas conforme a Figura 14. Essas condições descrevem adequadamente os cenários de acidentes rodoviários.

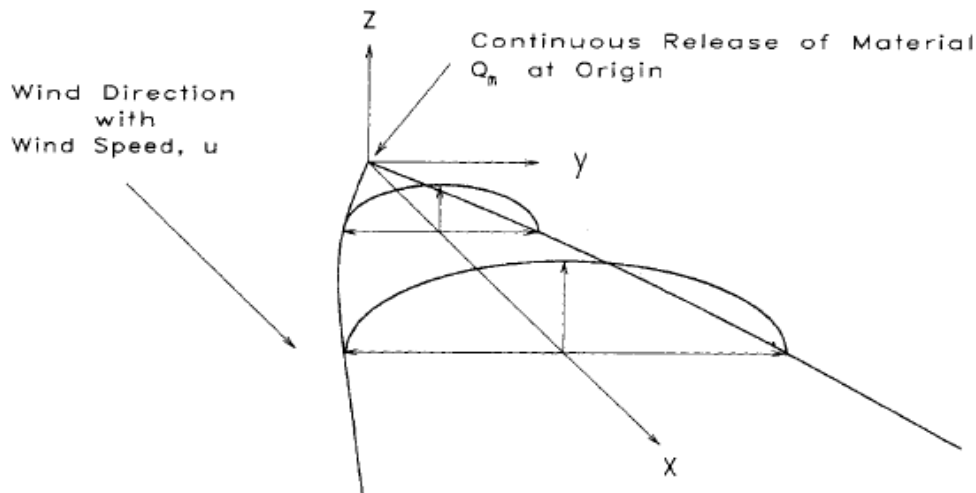


Figura 14 - Coordenadas de uma pluma a partir de um vazamento na altura do solo. Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

Assim, assume-se que:

Vento somente na direção x: $\langle u_j \rangle = \langle u_x \rangle = u$

Vazão de liberação constante: $Q_m = \text{Constante}$

Estado estacionário: $\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} = 0$

O resultado é representado pela Equação 17.

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m}{2\pi\sqrt{K_x K_y}} \exp \left[-\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$

Equação 17

Devido à dificuldade de obtenção do coeficiente de Eddy, Sutton propôs o coeficiente de dispersão definido conforme Equação 18 (Crowl e Louvar, 2002), onde C é a concentração média do material liberado, u é a velocidade do vento, t o tempo e n é um parâmetro que depende das condições atmosféricas. (VAZ, 2008)

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{2} \langle C \rangle^2 (ut)^{2-n}$$

Equação 18

Equações similares foram desenvolvidas para σ_y e σ_z . Esses coeficientes representam o desvio da concentração da substância em cada uma das direções e são função da estabilidade da atmosfera e da distância da fonte.

Utilizando os coeficientes de dispersão de Pasquill-Gifford a Equação 17 fica:

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Equação 19

3.3. Estabilidade da Atmosfera

A turbulência é um fator determinante da dispersão atmosférica. Os principais fatores que influenciam na turbulência são a temperatura do solo e a velocidade do vento, resultando na turbulência “térmica” e “mecânica”, respectivamente.

O solo, quando mais quente que o ar, faz com que o ar que está mais próximo à superfície se aqueça e suba, sendo substituído, então, pelo ar mais frio descendente. Esse transporte provoca um movimento turbulento no sentido vertical e influencia na altura que o poluente irá atingir. Esse fenômeno é particularmente importante em cenários diurnos, quando há radiação solar. No litoral as correntes de ar também são muito influenciadas pela diferença de temperatura entre o oceano e o continente.

Finalmente, o vento, associado às características topográficas, influencia na dispersão horizontal.

Observa-se que durante a noite, quanto maior a velocidade do vento, mais turbulenta é a atmosfera. Durante o dia, no entanto, o vento tem efeito contrário em relação à estabilidade atmosférica: quando maior a sua velocidade, mais estável. Isso se deve ao fato do vento prejudicar a turbulência térmica, pois homogeniza as temperaturas na direção vertical.

A estabilidade atmosférica será definida de acordo com a classificação de Pasquill. As classes são denominadas de A a F, onde a classe “A” representa uma condição instável em que existe radiação solar intensa, ausência de nuvens e nível alto de turbulência – que promove rápida dispersão dos contaminantes. No outro extremo, “F” representa atmosfera com ventos fracos e estáveis, céu com poucas nuvens à noite e baixo nível de turbulência. Os contaminantes irão se dispersar no ar mais lentamente

nessas condições. A classe “D”, intermediária, é usada para condições neutras (Figura 15).

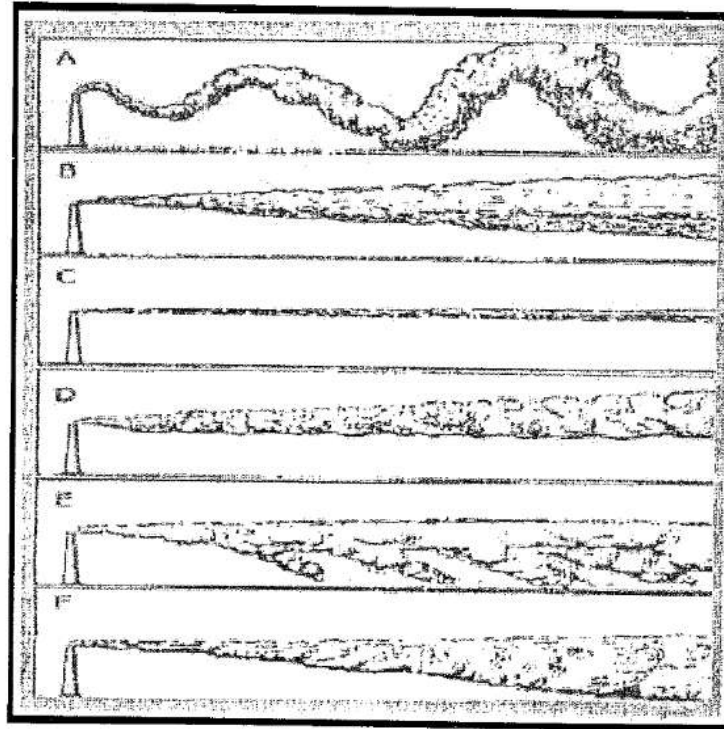


Figura 15 - Comportamento das nuvens em função da classe. Fonte: KRAMER, 2010.

A Tabela 5 resume as considerações feitas, enquanto os coeficientes σ_y e σ_z são dados de acordo com a Tabela 6.

Tabela 5 - Classificação de estabilidade atmosférica de Pasquill. Fonte: Crowl e Louval, 2002

Velocidade do vento a 10m do solo	Radiação Solar (I) (W/m ²)			Cobertura noturna de nuvens (cn)							
	I > 700	350 ≤ I < 700	I < 350	cn ≥ 4/8	cn ≤ 3/8						
< 2	A	A – B	B	-	-						
2 – 3	A – B	B	C	E	F						
3 – 5	B	B – C	C	D	E						
5 – 6	C	C – D	D	D	D						
> 6	C	D	D	D	D						
<p>Onde:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">A : Extremamente Instável</td> <td style="width: 33%;">D : Neutra</td> </tr> <tr> <td>B : Moderadamente Instável</td> <td>E : Fracamente Estável</td> </tr> <tr> <td>C : Fracamente Instável</td> <td>F : Moderadamente Estável</td> </tr> </table>						A : Extremamente Instável	D : Neutra	B : Moderadamente Instável	E : Fracamente Estável	C : Fracamente Instável	F : Moderadamente Estável
A : Extremamente Instável	D : Neutra										
B : Moderadamente Instável	E : Fracamente Estável										
C : Fracamente Instável	F : Moderadamente Estável										

Tabela 6- Equações recomendadas por Pasquill-Gifford para coeficientes de dispersão para pluma.
Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m) or σ_x (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

3.4. Programa ALOHA

O ALOHA, Areal Location of Harzadous Atmospheres, é um programa gratuito e de fácil utilização desenvolvido e disponibilizado por uma parceria entre a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e a Environmental Protection Agency (EPA). Foi criado com o propósito de ser uma ferramenta para resposta a emergências. O ALOHA permite estimar a área afetada em diferentes cenários acidentais.

O aplicativo modela diferentes categorias de acidentes: dispersão de gás tóxico, dispersão de nuvem inflamável, incêndio e explosões. Ele fornece de forma rápida os resultados em modo texto e gráfico, mostrando em que áreas a toxicidade, sobrepressão de explosão ou radiação térmica superam os valores considerados seguros. Essas áreas são apresentadas em um gráfico com escala de cor intuitiva, como pode ser vista na Figura 16. Além da distribuição espacial é possível verificar a concentração de poluentes em determinado ponto ao longo do tempo (Figura 17).

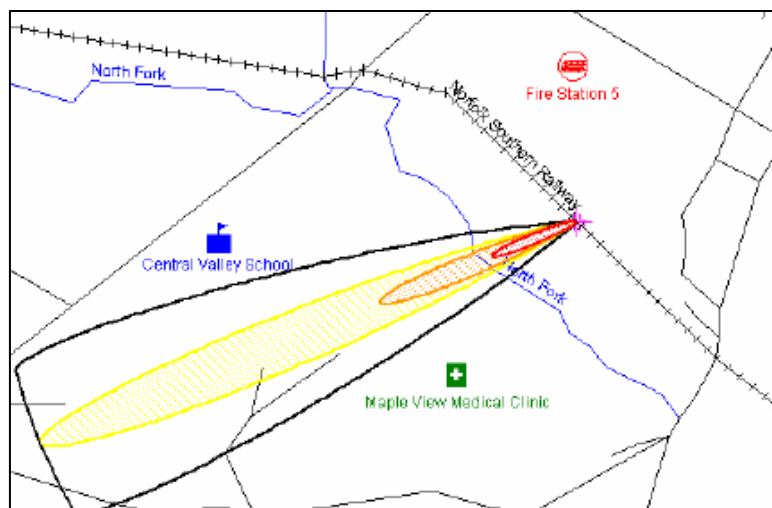


Figura 16 - Exemplo de tela de saída do ALOHA – Nuvem de gás tóxico plotada em um mapa.
Fonte: ALOHA user's manual, 2007.

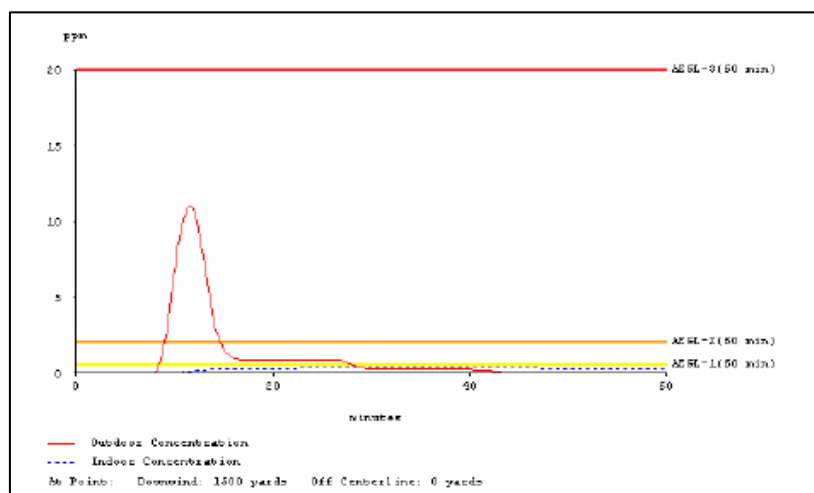


Figura 17 - Exemplo de tela de saída do ALOHA – variação da concentração com o tempo em determinado ponto. Fonte: ALOHA user's manual, 2007.

O programa possui uma base de dados com centenas de substâncias, com suas propriedades físicas, químicas e toxicológicas. Também é possível adicionar uma nova substância ou alterar a base de dados.

Após a escolha do composto presente no cenário, o usuário apresenta as condições atmosféricas, seja manualmente, seja via dados de uma estação meteorológica.

A seguir é preciso selecionar o tipo da fonte de vazamento e suas características. São disponibilizadas as seguintes opções: vazamento direto, a partir de uma poça, a

partir de um tanque ou em uma tubulação. Para cada situação são requeridas diferentes entradas de dados, como tamanho e altura do furo no caso de tanques.

A seguir adota-se um modelo de dispersão (Guassiano ou Gás Denso). O próprio programa faz a opção pelo modelo de dispersão mais adequado ao cenário proposto, embora o usuário também possa especificar qual metodologia deseja empregar.

Como qualquer aplicativo, o ALOHA possui limitações e sua utilidade depende da compreensão destas limitações, da exatidão das informações de entrada, e da interpretação bem feita das suas saídas. O ALOHA não possui informação acurada para situações cuja velocidade do vento seja muito baixa, ou a condição atmosférica seja muito estável, ou ainda terrenos muito acidentados. Essas situações implicam em uma maior probabilidade de mudança na direção do vento ao longo do tempo. As concentrações ao longo das áreas mostradas no gráfico são médias, não sendo valores precisos para um determinado ponto no tempo e no espaço.

Capítulo 4 . METODOLOGIA

Conforme mencionado, para este estudo foram escolhidos três produtos químicos de elevada periculosidade dentre os que possuem maior volume transportado por via rodoviária no Brasil: amônia, cloro e 1,3-butadieno.

Realizou-se, então, avaliação do vazamento e dispersão de material perigoso através de um furo gerado em acidente rodoviário envolvendo caminhão-tanque. Para fins de simulação foi empregado o software ALOHA, descrito anteriormente.

A simulação teve como finalidade avaliar a liberação de material e sua dispersão atmosférica, mensurando os níveis de inflamabilidade e toxidez em regiões próximas ao local do acidente. Os resultados da simulação foram então comparados com as recomendações do “Manual para Atendimento a Emergências com Produtos Perigosos” (Abiquim, 2011).

4.1. Escolha dos produtos químicos envolvidos

Conforme mencionado, buscou-se selecionar produtos a partir do seu grau de periculosidade dentre os presentes na lista dos mais transportados.

A Tabela 8 contém as informações utilizadas para a seleção. Os compostos apresentados na tabela estão entre aqueles com maior volume transportado pela malha rodoviária do estado de São Paulo, segundo o Sistema Integrado de Informações para Atendimento de Ocorrências no Transporte de Produtos Perigosos, SIIP (2012).

A primeira coluna apresenta o número do produto na ONU, enquanto a segunda apresenta o nome do composto.

A terceira coluna apresenta a classe de risco do produto em questão. Para cada classe foram atribuídos valores de acordo com a severidade das consequências para a saúde da população, conforme a Tabela 7. Esses valores foram utilizados como um dos critérios para a classificação final de periculosidade dos compostos. O valor atribuído para cada substância está presente na coluna 4 da Tabela 8.

As colunas 5 a 8 da Tabela 8 apresentam informações do diamante de Hommel, instrumento desenvolvido pela Nacional Fire Protection Association (NFPA), contido nas fichas de informação de segurança de produtos químicos (FISPQs) emitidas pela National Oceanic and Atmospheric Administration, (NOAA). Na ausência desta informação adotou-se as FISPQs da Northeastern University. O diamante de Hommel atribui níveis de 1 a 4 conforme o grau de severidade relacionado a quatro perigos-chave: saúde, inflamabilidade, estabilidade e outros perigos especiais, conforme ilustrado na Figura 18.

Para a escolha dos produtos a serem analisados no presente estudo, os valores atribuídos para cada classe de risco foram somados às informações do diamante de Hommel, sendo atribuído peso 2 ao valor referente à saúde. Quando o produto apresenta um símbolo de “perigo especial” é atribuído o valor 1 (Equação 20).

TOTAL = (valor para a classe de risco) + 2*(nível referente à saúde) + (nível referente a inflamabilidade) + (nível referente a reatividade) + 1 caso a substância apresente um perigo especial






Equação 20

Tabela 7 - Valores atribuídos para cada classe de produtos perigosos

Classe	Descrição	Valor
2.1	Gases inflamáveis	3
2.2	Gases não inflamáveis e não tóxicos	0
2.3	Gases tóxicos	5
3	Líquidos inflamáveis	2
5.1	Substâncias oxidantes	1
8	Substâncias corrosivas	1

Tabela 8 - Produtos perigosos mais transportados e seus riscos. Fonte: SIIP e NOAA

ONU	Nome	Classe de risco	Valor para classe de risco	Saúde	Inflamabilidade	Reatividade	Outros	Total
1049	HIDROGÊNIO, COMPRIMIDO	2.1	3	0	4	0		7
1066	NITROGÊNIO, COMPRIMIDO	2.2	0	1	0	0		2
1072	OXIGÊNIO, COMPRIMIDO	2.2	0	0	0	0	OX	1
1073	OXIGÊNIO, LÍQUIDO REFRIGERADO	2.2	0	3	0	0	OX	7
1075	GÁS(ES) DE PETRÓLEO, LIQUEFEITO(S)	2.1	3	1	4	0		9
1114	BENZENO	3	2	1	3	0		7
1170	ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO) ou SOLUÇÃO DE ETANOL (SOLUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO)	3	2	0	3	0		5
1001	ACETILENO, DISSOLVIDO	2.1	3	0	4	3		10
1005	AMÔNIA, ANIDRA	2.3	5	3	1	0		12
1010	BUTADIENOS, ESTABILIZADOS	2.1	3	2	4	2		13
1017	COLORO	2.3	5	4	0	0	OX	14
1202	GASÓLEO ou ÓLEO DIESEL ou ÓLEO PARA AQUECIMENTO, LEVE	3	2	1	2	0		6
1203	COMBUSTÍVEL AUTO-MOTOR, incluindo álcool-motor e gasolina	3	2	1	3	0		7
1223	QUEROSENE	3	2	2	2	0		8
1230	METANOL	3	2	1	3	0		7
1294	TOLUENO	3	2	2	4	0		10
1307	XILENOS	3	2	2	3	0		9
1789	ÁCIDO CLORÍDRICO	8	1	3	0	0		7
1791	HIPOCLORITO, SOLUÇÃO	8	1	3	0	0	OX	8
1824	HIDRÓXIDO DE SÓDIO, SOLUÇÃO	8	1	3	0	1		8
1830	ÁCIDO SULFÚRICO, com mais de 51% de ácido	8	1	3	0	2	W	10
1977	NITROGÊNIO, LÍQUIDO REFRIGERADO	2.2	0	3	0	0		6
1993	LÍQUIDO INFLAMÁVEL, N.E.	3	2	1	2	0		6
2015	PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO, ESTABILIZADO ou PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO, SOLUÇÃO AQUOSA, ESTABILIZADA, com mais de 60% de peróxido de hidrogênio	5.1	1	2	0	1	OX	7
2031	ÁCIDO NÍTRICO, exceto fumegante, com até 70% de ácido nítrico	8	1	3	0	0	OX	8

 NFPA Rating Explanation Guide 					
RATING NUMBER	HEALTH HAZARD	FLAMMABILITY HAZARD	INSTABILITY HAZARD	RATING SYMBOL	SPECIAL HAZARD
4	Can be lethal	Will vaporize and readily burn at normal temperatures	May explode at normal temperatures and pressures	ALK	Alkaline
3	Can cause serious or permanent injury	Can be ignited under almost all ambient temperatures	May explode at high temperature or shock	ACID	Acidic
2	Can cause temporary incapacitation or residual injury	Must be heated or high ambient temperature to burn	Violent chemical change at high temperatures or pressures	COR	Corrosive
1	Can cause significant irritation	Must be preheated before ignition can occur	Normally stable. High temperatures make unstable	OX	Oxidizing
0	No hazard	Will not burn	Stable	  	Reacts violently or explosively with water Reacts violently or explosively with water and oxidizing

This chart for reference only - For complete specifications consult the NFPA 704 Standard

Figura 18 - Guia de classificações do diamante de Hommel. Fonte: Compliance Sign

Analisando a coluna de valor total presente na Tabela 8 verifica-se que os produtos que se destacaram foram a amônia, o cloro e os butadienos. Desse modo, serão esses os produtos avaliados no estudo, sendo o butadieno especificamente o 1,3-butadieno.

4.1.1. Descrição Produtos

4.1.1.1. Amônia

A amônia é um composto inorgânico cuja fórmula química é NH_3 . Apresenta-se na forma de um gás incolor na temperatura ambiente, possuindo um odor forte característico. É um gás tóxico altamente solúvel em água e corrosivo na presença de umidade. Apesar de sua densidade ser inferior a do ar, muitas vezes se comporta como gás denso, pois como é armazenada em altas pressões, no momento do vazamento ocorre uma evaporação repentina (flash) e o aerossol formado torna a mistura mais densa que o ar. (BORGES, 2000)

Somente nos Estados Unidos sua produção excede as 12 milhões de toneladas anuais. É uma das matérias primas fundamentais utilizadas atualmente. Seu principal uso é como fonte de nitrogênio para fertilizantes. Como matéria prima industrial, a amônia é usada na produção de ácido nítrico, explosivos, hidrazina, amidas, nitrilas e outros compostos orgânicos nitrogenados intermediários para as indústrias farmacêutica e cosmética. O cianeto de sódio e carbonato de sódio são produtos inorgânicos obtidos a partir da amônia (FONTANA, 2004).

A amônia usualmente é armazenada e transportada como gás liquefeito, condição em que não ocorre decomposição.

Segundo a FISPQ da empresa White Martins, os efeitos estão relacionados ao tipo de exposição:

Ingestão: É uma maneira improvável de exposição, mas pode causar queimaduras químicas na boca, garganta, esôfago e estômago.

Contato com a pele: O líquido pode causar, dependendo do grau e duração do contato, vermelhidão moderada ou forte e ulceração da pele. Exposição ao gás em altas concentrações pode causar queimaduras químicas. Contatos prolongados ou generalizados com a pele podem resultar na absorção de quantidades potencialmente perigosas do material.

Inalação: Super-exposição a concentrações moderadas acima do Valor Limite de Tolerância (TLV-TWA - ACGIH) de 20 ppm pode causar irritação nos olhos, nariz e garganta. Concentrações mais altas podem causar dificuldade na respiração, dor no peito, bronco-espasmo, saliva espumante e rósea e edema pulmonar. Ainda pode predispor ao desenvolvimento de bronquites agudas e pneumonia.

Contato com os olhos: O líquido pode causar dor, forte vermelhidão, tumefação da conjuntiva, danos à íris, opacificação da córnea, glaucoma e catarata. Exposição ao gás em altas concentrações pode causar dor e lacrimação excessiva, com lesões agudas na córnea.

Outros efeitos da superexposição: Asfixia. O contato com o líquido pode causar queimação.

Condições clínicas agravadas pela superexposição: A inalação pode agravar asma e inflamações ou doenças pulmonares. A irritação na pele pode agravar a existência de dermatites.

Segundo a FISPQ, em caso de vazamento deve-se evacuar a área de perigo imediatamente. A equipe de emergência deve usar equipamento autônomo de respiração para entrar no local, principalmente em espaços confinados. Se não houver riscos deve-se interromper o vazamento e remover as fontes de ignição. Pode-se utilizar neblina ou finos jatos de água para reduzir ou desviar a nuvem de vapor.

4.1.1.2.Cloro

Na temperatura ambiente e na pressão atmosférica o cloro, Cl_2 , é um gás de cor amarelo-esverdeado que possui um odor extremamente forte e irritante. É pouco solúvel em água e aproximadamente 2,5 vezes mais denso que o ar.

O cloro não é explosivo e nem inflamável, contudo, a exemplo do oxigênio, é um oxidante e, portanto, capaz de contribuir para a combustão de certas substâncias. Pode reagir explosivamente com muitos produtos químicos, tais como acetileno, éter, amônia, e hidrogênio.

O cloro é usado nas indústrias têxtil, de papel e celulose como alvejante e na indústria química para manufatura de diversos produtos químicos, como tetracloreto de carbono, tricloroetileno e percloroetileno. É utilizado na fabricação de plásticos, herbicidas, inseticidas, borracha sintética, produtos farmacêuticos e fibras sintéticas e ópticas. Também é empregado como bactericida na purificação de água. (GAMAGASES)

A ação tóxica do cloro gás varia dependendo do tempo de exposição e se sua concentração. Em concentrações próximas ao limite do olfato (abaixo de 1 ppm) o cloro causa leve irritação nos olhos e mucosas das vias respiratórias após horas de exposição. Quando a concentração eleva-se, aumenta a irritação nos olhos e nas vias respiratórias, causando tosse e dificuldade de respirar até o ponto de irritar a garganta, provocando espirros, salivação e vômitos. Em casos extremos, a dificuldade de respirar pode levar a

morte por asfixia. Já o cloro na sua forma líquida em contato com a pele ou olhos causa irritação ou queimaduras (Manual do Cloro, 2012).

Caso ocorra um vazamento devem-se adotar procedimentos de emergência em conjunto com as autoridades locais. É importante observar que a permanência em locais mais elevados é preferível, uma vez que o cloro é denso que o ar.

Não se deve aplicar água diretamente sobre o cloro, pois através da reação de hidrólise forma o ácido hipocloroso e ácido clorídrico, tornando-se corrosivo. O ácido pode atacar violentamente as paredes do reservatório.

4.1.1.3. Butadienos

O butadieno (C_4H_6) é um gás incolor, inflamável e irritante que possui odor parecido com o da gasolina, detectável pelo olfato humano nas concentrações que variam de 1 a 1,6 ppm. O isômero empregado neste estudo é o 1,3-butadieno, cuja configuração espacial está demonstrada na Figura 19. Seu gás é mais denso que o ar, podendo, portanto, espalhar-se pelo chão até encontrar uma fonte de ignição.

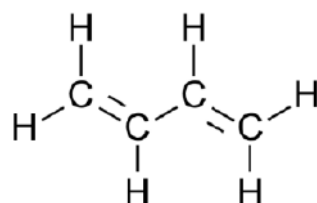


Figura 19 - Configuração espacial do 1,3-butadieno. Fonte: Backers, D.

Este composto é utilizado principalmente como monômero na produção de diferentes tipos de polímeros e copolímeros, e intermediário de várias substâncias de uso industrial. As borrachas mais produzidas são a borracha butadieno-estireno (30 a 35%), borracha de polibutadieno (20 a 22%), adiponitrila (12 a 15%), látex de estireno-butadieno (10%), neoprene (5 a 6%), resinas acrilonitrila-butadieno-estireno (5 a 6%), borracha nitrílica (3%) (CETESB, 2012).

A exposição aguda a baixas doses do butadieno pode irritar os olhos, nariz e garganta, enquanto o contato com a pele pode causar queimaduras provocadas pelo frio.

Em altas concentrações é asfíxiante e anestésico, podendo provocar perda da coordenação ou tontura, enfraquecimento da fala e levar à incapacidade de emitir sons. Causa rápida redução dos movimentos, consciência reduzida e perda do tato. Ele ainda é suspeito de provocar câncer. (AGA)

Em caso de vazamento, o mesmo deve ser contido com material adsorvente como areia, terra ou serragem e, se for seguro, deve-se retirar as fontes ignição. Usar ar forçado pra manter a concentração abaixo do limite de inflamabilidade. Caso ocorra incêndio, resfriar os cilindros intensamente com água na forma de neblina até 30 minutos após a extinção. Não se aproximar do cilindro no caso de incidência direta da chama. O local deve ser isolado, sinalizado.

4.2. Escolha do local do acidente

No estado do Rio de Janeiro, dentre as diversas rotas de tráfego de cargas em geral e de produtos químicos em particular no estado, destacam-se as rodovias BR040, em especial no trecho entre Rio de Janeiro e Petrópolis; Rodovia Washington Luiz, devido a Refinaria de Duque de Caxias; BR101 (Rio-Santos); BR116 (Presidente Dutra) e BR393 (antiga Rio-Bahia).

A Tabela 9 mostra o número total de acidentes por rodovias no ano de 2005, focando nos trechos que atravessam o território fluminense. Apesar do maior número de ocorrências na BR101, a BR116 apresentou a maior relação de número de acidentes por quilômetro. Enquanto a BR101 tem pouco mais de 7 acidentes por quilômetro, a BR116 supera os 11. Deste modo, esta rodovia foi considerada aqui como possuindo maior periculosidade.

Tabela 9 - Acidentes ocorridos em vias federais no ano de 2005 em território fluminense. Fonte: VIANA, 2009.

Rodovia	Extensão do trecho no ERJ	Acidentes	Vítimas
BR 040	125 km	1.920	49 vítimas fatais, 872 feridos.
BR 101 (Rio Santos)	594 km	4.311	222 vítimas fatais, 2.772 feridos.
BR 116 (Dutra)	337 km	3.867	148 vítimas fatais, 1.569 feridos.
BR 393 (Lúcio Meira)	193 km	745	35 vítimas fatais, 325 feridos.

VIANA (2009) realizou estudo detalhado sobre a BR-116, analisando os acidentes ocorridos nesta via e que envolveram produtos perigosos. O período analisado foi entre os anos 1988 e 2008. De acordo com o estudo, o trecho mais preocupante da via, com maior número de acidentes envolvendo produtos perigosos, situa-se entre os km 220 e 225, perto de Belford Roxo (Tabela 10). O número de acidentes com cargas químicas neste trecho atinge 5,40 por quilômetro, valor muito superior aos demais. Deste modo, este será o local onde será simulado o cenário de acidente com o caminhão-tanque.

Tabela 10 - Distribuição dos acidentes por trecho da BR 116. Fonte: VIANA, 2009.

Nº	Trecho		Nº de acidentes	Nº de acidentes por km
	K m de início	Km de fim		
1	190	195	0	0,00
2	195	200	1	0,20
3	200	205	1	0,20
4	205	210	2	0,40
5	210	215	1	0,20
6	215	220	13	2,60
7	220	225	27	5,40
8	225	230	5	1,00
9	230	235	1	0,20
10	235	240	5	1,00
11	240	245	0	0,00
12	245	250	2	0,40
13	250	255	4	0,80
14	255	260	1	0,20
15	260	265	2	0,40
16	265	270	9	1,80
17	270	275	5	1,00
18	275	280	6	1,20
19	280	285	3	0,60
20	285	290	3	0,60
21	290	295	1	0,20
22	295	300	6	1,20
23	300	305	7	1,40
24	305	310	4	0,80
25	310	315	3	0,60
26	315	320	8	1,60
27	320	325	2	0,40
28	325	333	3	0,38

A Figura 20 apresenta imagem de satélite do km 220 da rodovia BR 116. Pode-se observar que a região, além de apresentar o maior risco de acidentes com produtos perigosos, apresenta também uma grande quantidade de residências no entorno, além de comércios, escolas, igreja e a prefeitura de Belford Roxo. Deste modo, esta região se revelou de grande interesse para estudo aqui desenvolvido.



Figura 20 - - Imagem do Km 220 da rodovia BR 116. Fonte: Google Earth

4.3. Parâmetros usados na simulação

Neste item serão apresentados os parâmetros utilizados como entradas nas simulações de dispersão atmosféricas efetuadas.

4.3.1. Condições Atmosféricas

4.3.1.1. Vento

A velocidade do vento no local do acidente é de extrema relevância para a avaliação da dispersão atmosférica.

Na Figura 21 são apresentadas as velocidades médias anuais do vento em todo o Brasil. A legenda encontra-se na Figura 22. Percebe-se que a velocidade predominante é de aproximadamente 4,5m/s a 50m de altura. A fim de simular um cenário mais conservador, foi utilizada a velocidade de 3,5m/s para o dia e de 2,6m/s para a noite.

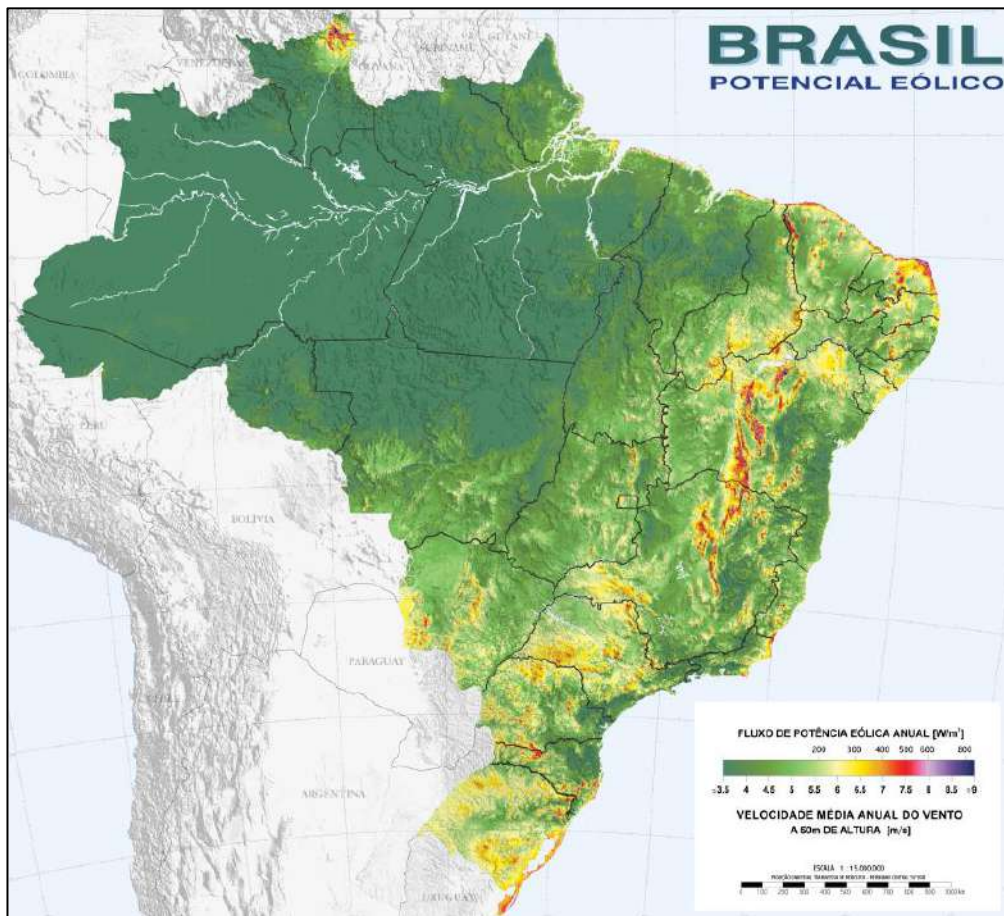


Figura 21 - Média anual de ventos no Brasil. Fonte: Cresseb, 2002

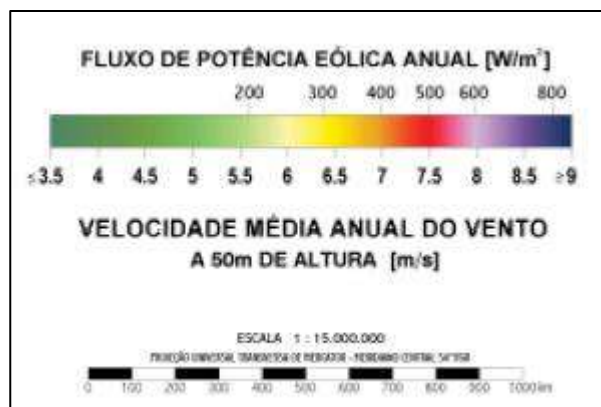


Figura 22 - Legenda do mapa anual de ventos no Brasil. Fonte: Cresseb, 2002

A velocidade do vento varia com a altitude e a condição do solo, como mostra a Figura 23. Normalmente a velocidade do vento que é utilizada nos cálculos dos modelos é aquela medida a 10 metros de altura. A conversão é feita através da Equação 21.

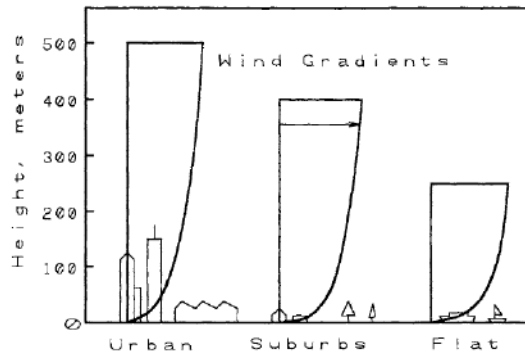


Figura 23 - Efeito da altitude e condição do solo na velocidade do vento. Fonte: Crowl e Louvar, 2002.

$$u_z = u_r \left(\frac{Z}{Z_r} \right)^p$$

Equação 21

Onde:

u_z = Velocidade do vento em uma altura Z acima do solo

u_r = Velocidade do vento em uma altura Z_r acima do solo

Z = Altura padrão de medição da velocidade do vento, 10m

Z_r = Altura que foi feita a medição da velocidade do vento, 50m

p = Coeficiente exponencial atmosférico

Onde p varia com a estabilidade atmosférica e o tipo de terreno, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Coeficiente exponencial atmosférico. Fonte: INSHT

Estabilidade	Coeficiente exponencial atmosférico	
	Urbano	Rural
A	0,15	0,07
B	0,15	0,07
C	0,20	0,10
D	0,25	0,15
E	0,40	0,35
F	0,60	0,55

Saber a direção do vento também é muito importante, pois ela que vai determinar o local mais vulnerável, já que os poluentes irão se deslocar preferencialmente no sentido do vento.

4.3.1.2. Radiação solar e nebulosidade

Para que as comparações entre as diferentes simulações efetuadas no estudo sejam mais representativas, as simulações foram realizadas utilizando sempre as mesmas condições. Assim, acidentes diurnos foram assumidos como ocorrendo às 10h da manhã, em dias com céu claro (ausência de nuvens) e com radiação solar intensa. Nos cenários de acidentes noturnos foi adotado o horário de 22h, com céu parcialmente nublado. Ambos os cenários foram adotados por retratarem situações onde a atmosfera é mais estável considerando a velocidade do vento utilizada, a fim de ser mais conservador, visto que essa condição gera o pior cenário.

4.3.1.3. Estabilidade atmosférica

Para as condições ambientais adotadas as classes de estabilidade utilizadas nas simulações foram “C” para diurno e “F” para noturno.

4.3.1.4. Temperatura

A temperatura influencia fortemente na taxa de evaporação de derramamentos de líquidos, quando ocorre a formação de poças. O cenário que será estudado envolve gases, logo a temperatura tem influência menor. Em todos os casos a temperatura considerada será de 25°C.

4.3.1.5. Inversão térmica

Em condições normais o ar perto da superfície está mais quente que em altitudes maiores, devido ao aquecimento do solo pela radiação e conseqüentemente da camada de ar junto a ele. Logo, há um gradiente de temperatura no sentido vertical. O ar frio, por ser mais denso, tende a descer e o ar quente a subir criando correntes de convecção.

No entanto, em algumas condições, como junto a encostas de montanhas e vales, essa condição é invertida: a temperatura aumenta com o aumento da altitude. Essa situação diminui consideravelmente a convecção fazendo com que o ar junto ao solo fique estagnado e não se renove. Logo, se ocorre um vazamento, a pluma irá se dispersar muito pouco no sentido vertical gerando um acúmulo de poluentes próximos ao solo.

Apesar dessa situação ser mais conservadora para a simulação, no presente estudo será considerada uma atmosfera sem inversão, pois a inversão térmica é uma característica muito peculiar e não representa a grande maioria das situações.

4.3.2 Condição de armazenamento

De modo a aumentar a massa de composto transportado em um mesmo volume, os compostos gasosos sempre que possível são transportados na sua forma liquefeita. A pressurização é o mecanismo frequentemente adotado para liquefazer gases. Deste modo, o transporte de gases liquefeitos se faz em tanques com elevadas pressões (Figura 24). A simulação, portanto, será de vazamento de um líquido, que, ao escapar para a atmosfera, sofre flash e passa a se dispersar na forma de gás.



Figura 24 - Caminhão-tanque. Fonte: ANTT, 2012

Para este estudo foram empregados tanques cilíndricos, com diâmetro de 2,3m e o comprimento tal que armazene um total de 20 toneladas do produto com uma ocupação de 85% do volume total. Estes valores são usualmente encontrados em catálogos de fornecedores de caminhão-tanque. As dimensões empregadas são detalhadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensões dos tanques para cada produto

Produto	Diâmetro (m)	Comprimento (m)	Volume do tanque (m ³)	Volume ocupado pelo líquido (m ³)
Amônia	2,3	9,4	39,1	33,2
Cloro	2,3	4,05	16,8	14,3
1,3-Butadieno	2,3	9,2	38,2	32,5

4.3.3. Condição do vazamento

Segundo REAL, 89% dos incidentes rodoviários com produtos perigosos originados por acidentes de tráfego atendidos pelo INEA são devido ao tombamento do caminhão. Em cada dez acidentes com tombamento, em quatro acontece vazamento do produto transportado.

O presente estudo irá avaliar a dispersão de um produto tóxico devido a vazamento em um tanque de transporte rodoviário após tombamento. Será considerado que o produto não está queimando enquanto escapa para a atmosfera. O furo será representado por um círculo de 1,0 cm de diâmetro na parte mais inferior do tanque.

4.3.4. Modelos de dispersão

O programa ALOHA, utilizado neste estudo, disponibiliza dois modelos para serem usados na simulação de dispersão atmosférica: Modelo Gaussiano e Modelo de Gás Denso, previamente apresentados.

No presente estudo as simulações foram realizadas empregando os dois modelos.

4.3.5. Zona de atuação

As zonas de risco encontradas nas simulações foram comparadas com as recomendações do Manual para Atendimento a Emergência com Produtos Perigosos da Abiquim (2011).

Para aplicação do Manual adotou-se que o furo de 1 cm no tanque daria origem a um “grande derramamento”.

Conforme mencionado anteriormente, ao avaliar os efeitos causados por acidentes com caminhões de transporte de produtos perigosos existem basicamente quatro cenários possíveis: formação de nuvem tóxica, formação de nuvem inflamável, região atingida por onda de sobrepressão em caso de explosão, e região atingida por onda de calor explosão. A formação de incêndio em jato, ou *jet fire*, embora possível em um acidente rodoviário, causa efeitos locais que possivelmente não afetariam a população vizinha.

Para os três produtos selecionados (amônia, cloro e 1,3-butadieno) foram avaliados os cenários de formação de nuvem tóxica. Para o 1,3-butadieno em particular, devido a sua elevada inflamabilidade, foi considerada também a formação de nuvem inflamável.

4.3.6. Toxicologia

Em termos toxicológicos, para determinação da área de risco, ou seja, a região a ser evacuada e protegida, deve ser escolhido um valor limite para exposição segura (LOC – level of concern). O LOC representa o limite acima do qual pode existir perigo

para população. Os índices toxicológicos mais empregados para reposta à emergência em relação à toxicologia são o “ERPG”, “AEGL”, e “IPVS”. Os valores dos índices para cada uma das substâncias aqui empregadas são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - LOCs de cada produto. Fontes: EPA, AIHA

Produto \ LOC	ERPG (ppm)			AEGL, 60 min (ppm)			IPVS (ppm)
	1	2	3	1	2	3	
Amônia	24	150	750	30	160	1100	300
Cloro	1	3	20	0,5	2	20	10
1,3-Butadieno	10	200	5000	670	5300	22000	2000

O IPVS indica a concentração imediatamente perigosa para a vida e para a saúde. Essa concentração é um parâmetro estabelecido pela NIOSH e indica risco imediato à vida, ou produz efeito imediato debilitante sobre a saúde, bem como exposição aos olhos que impeça a fuga da atmosfera perigosa. Isolar uma área considerando apenas essa concentração seria aceitar um risco elevado para a população, pois é um valor perigosamente alto que exige um abandono imediato do local (menos de 15 minutos).

O ERPG (desenvolvido pela AIHA) e o AEGL (desenvolvido pela EPA) possuem três limites de exposição distintos para diferentes efeitos no organismo de acordo com a severidade, detalhados na Tabela 14.

O valor mais conservador entre ERPG-2 e AEGL-2 será utilizado na obtenção da distância a ser comparada com os valores os valores de proteção na direção do vento indicados no Manual da Abiquim. Logo, 150 ppm para amônia, 2 ppm para o cloro e 200 ppm para 1,3-Butadieno.

Serão, ainda, utilizados os valores mais conservadores entre ERPG-3 e AEGL-3 para a obtenção da distância com grande risco toxicológico, e esta comparada com os valores para isolamento inicial preconizados no Manual. Logo, 750 ppm para a amônia, 20 ppm para o cloro e 5000 ppm para o 1,3-butadieno.

Tabela 14- Definições do ERPG e AEGL. Fonte: EPA, AIHA.

	ERPG	AEGL
1	Concentração máxima de determinada substância na atmosfera abaixo da qual se acredita que a maioria dos indivíduos pode ficar exposta por mais de 1h sem apresentar graves efeitos para a saúde. Somente efeitos transientes ou percepção do odor característico	Concentração de determinada substância na atmosfera acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo os indivíduos susceptíveis , pode apresentar desconforto, irritação ou outro efeito assintomático. Contudo esses efeitos não são incapacitante e são transientes e reversíveis a partir do momento que a exposição foi cessada
2	Concentração máxima de determinada substância na atmosfera abaixo da qual se acredita que a maioria dos indivíduos pode ficar exposta por mais de 1h sem desenvolver efeitos sérios ou irreversíveis ou sintomas que possam prejudicar a capacidade do indivíduo tomar medidas de proteção	Concentração de determinada substância na atmosfera acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo os indivíduos susceptíveis , pode apresentar efeitos sérios ou adversos a saúde de longo prazo ou ter diminuição da capacidade de escapar
3	Concentração máxima de determinada substância na atmosfera abaixo da qual se acredita que a maioria dos indivíduos pode ficar exposta por mais de 1h sem desenvolver efeitos ameaçadores para a vida	Concentração de determinada substância na atmosfera acima da qual se prevê que a população em geral, incluindo os indivíduos susceptíveis , pode apresentar efeitos ameaçadores para a vida ou a morte

4.3.7. Inflamabilidade

Nos cenários em que possa ocorrer formação de nuvem de vapor inflamável, a demarcação da zona de risco precisa considerar a faixa de inflamabilidade.

A mistura de uma substância inflamável com o oxigênio do ar, mesmo que em contato com uma fonte de ignição, somente sofrerá ignição caso sua concentração esteja entre os limites inferior e superior de inflamabilidade, LII e LSI respectivamente. Estes limites definem a chamada “faixa de inflamabilidade”. Deste modo, caso a concentração esteja abaixo do LII a mistura é dita pobre, não sofrendo ignição. Por outro lado, caso da concentração seja superior ao LSI, tem-se uma mistura rica, onde também não ocorre combustão. A Figura 25 ilustra o conceito aqui apresentado.



Figura 25 - Concentração onde irá formar fogo. Fonte: AMÉRICO, 2012.

De acordo com as Normas Regulamentadoras 33 e 34 publicadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, as permissões para trabalho só são emitidas quando a concentração de determinada substância inflamável está abaixo de 10% do LII. Deste modo, será considerada como zona de risco aquela que apresenta concentração acima de 10% do LII. O LII do 1,3-butadieno é 16900 ppm, logo foi utilizado o valor de 1690 ppm.

Capítulo 5 . ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo são apresentadas as simulações realizadas para os diferentes cenários de acidentes rodoviários envolvendo cargas de amônia, cloro e 1,3-butadieno. Os valores são então comparados com as recomendações da Abiquim.

5.1. Simulação dos efeitos toxicológicos

5.1.1 Amônia

Os valores recomendados pela Abiquim para as zonas de evacuação imediata e de proteção relativas à amônia estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para a amônia. Fonte: Abiquim, 2011.

ONU	Nome do produto	PEQUENOS DERRAMAMENTOS Provenientes de embalagens pequenas ou um pequeno vazamento de um tanque grande			GRANDES DERRAMAMENTOS Provenientes de um tanque grande ou de diversas embalagens pequenas		
		Primeiro, ISOLE em todas as direções	A seguir, PROTEJA as pessoas no sentido do vento		Primeiro, ISOLE em todas as direções	A seguir, PROTEJA as pessoas no sentido do vento	
			DIA	NOITE		DIA	NOITE
1005	Amônia, anidra	30 metros	100 metros	200 metros	150 metros	800 metros	2,3 km

A seguir são apresentados os resultados das simulações para a amônia utilizando os parâmetros citados anteriormente. As regiões de segurança marcadas levam em consideração a toxicologia do composto envolvido.

5.1.1.1 – Cenário Diurno

Nas simulações feitas utilizando os dois modelos de dispersão, Gaussiano e de Gás Denso, a taxa de vazamento média utilizada foi de 95 kg/min, sendo a massa total vazada em 1 hora de 5.659 kg. Considerando um caminhão cuja carga total pode atingir 20 toneladas, o vazamento simulado mostra-se crível.

A Figura 26 representa as áreas para cada concentração de amônia no ar utilizando o modelo gaussiano, enquanto a Figura 27 para o modelo de gás denso.

Nas figuras, a curva vermelha indica regiões de concentração maior ou igual a ERPG-3, enquanto a curva laranja sinaliza concentrações iguais ou maiores que a ERPG-2. As linhas verticais vermelha e laranja por sua vez, representam as recomendações da Abiquim para isolamento inicial e zona de proteção respectivamente.

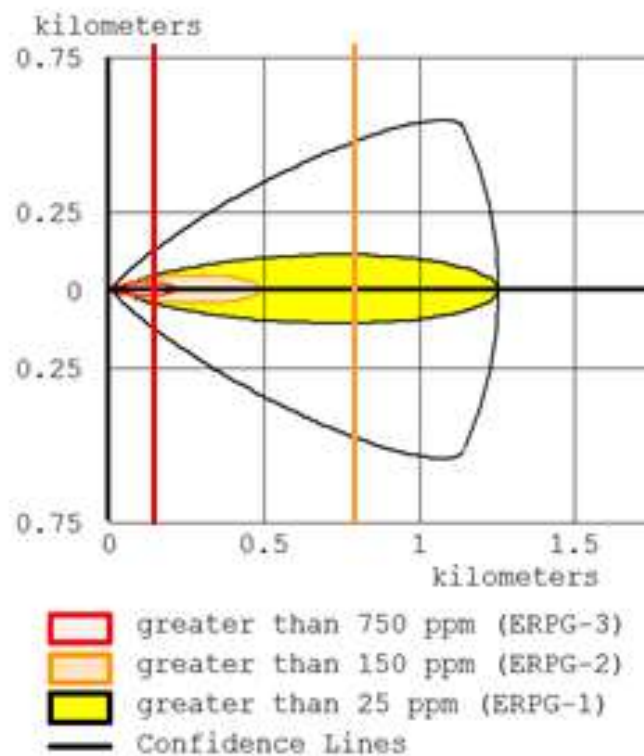


Figura 26 - Simulação 1 (Modelo Gaussiano)

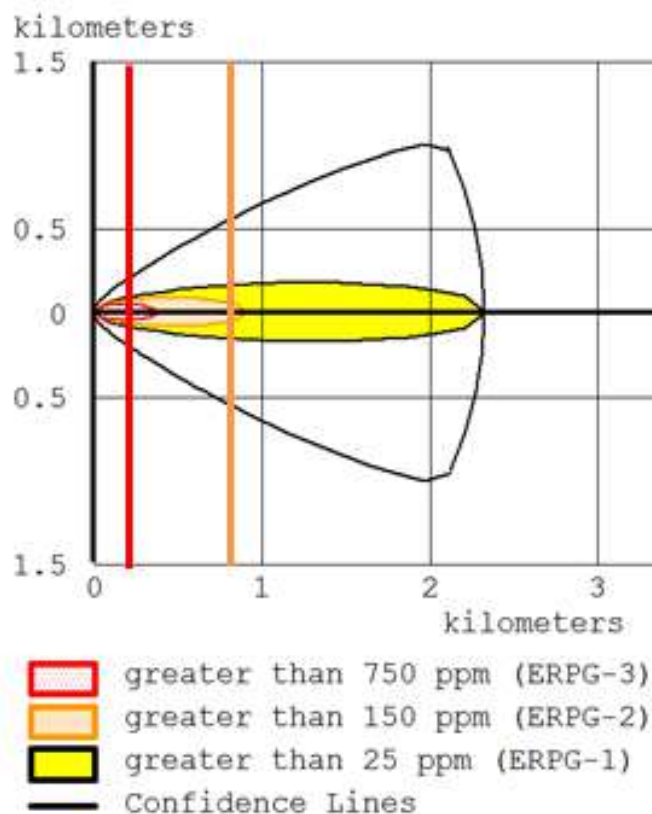


Figura 27 - Simulação 2 (Modelo de Gás denso)

As distâncias para a simulação 1 (Modelo Gaussiano) e 2 (Modelo de Gás Denso) estão mostradas na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados das simulações 1 e 2 (amônia, de dia)

	ERPG-3 (m)	ERPG -2 (m)	ERPG-1 (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 1	214	489	1300	150	800
Simulação 2	383	909	2300		

Os valores obtidos a partir das duas simulações diferem consideravelmente. Por padrão o ALOHA opta por simular vazamentos de amônia empregando modelo de gás denso:

“Quando um recipiente que contém gás liquefeito apresenta um furo ou uma válvula se abre, há uma perda repentina da pressão fazendo com que o líquido contido evapore rapidamente (flash boil). Quando o

líquido e gás escapam juntos, o vazamento é chamado de bifásico. Normalmente um vazamento bifásico se comporta como uma nuvem de gás denso, pois as pequenas gotículas de aerossol presentes fazem com que a densidade da nuvem aumente". (ALOHA user's manual, 2007).

Nos dois modelos as distâncias nas quais a concentração atingiu valores iguais ou superiores a ERPG-3 foram superiores a 150m, distância recomendada para um isolamento inicial pelo Manual da Abiquim. A fim de se verificar o comportamento da nuvem na distância, é apresentada a curva de concentração versus tempo nesse local (Figura 28 e Figura 29). As figuras mostram que em poucos minutos a concentração chegou a 1500 e 3500ppm a 150m da fonte. Ou seja, de acordo com as simulações, a concentração cresce rapidamente no perímetro considerado para um isolamento inicial segundo o Manual da Abiquim. O isolamento inicial não consegue assim estabelecer uma área segura durante muito tempo diante de um vazamento contínuo de amônia.

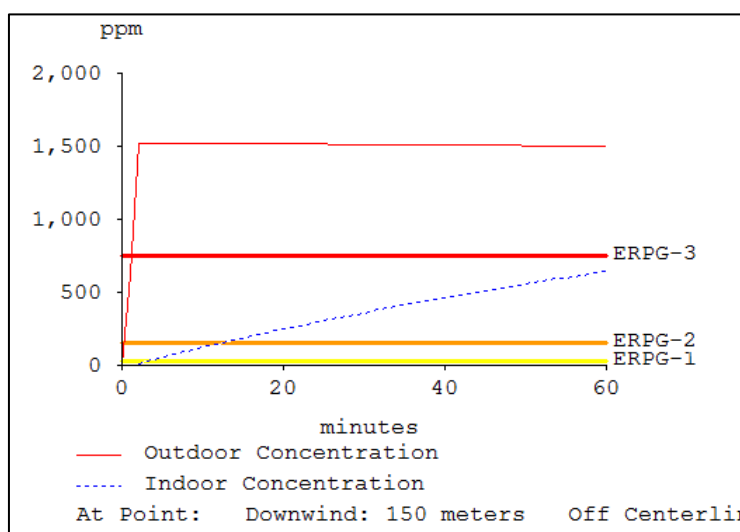


Figura 28 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 1 (Modelo Gaussiano)

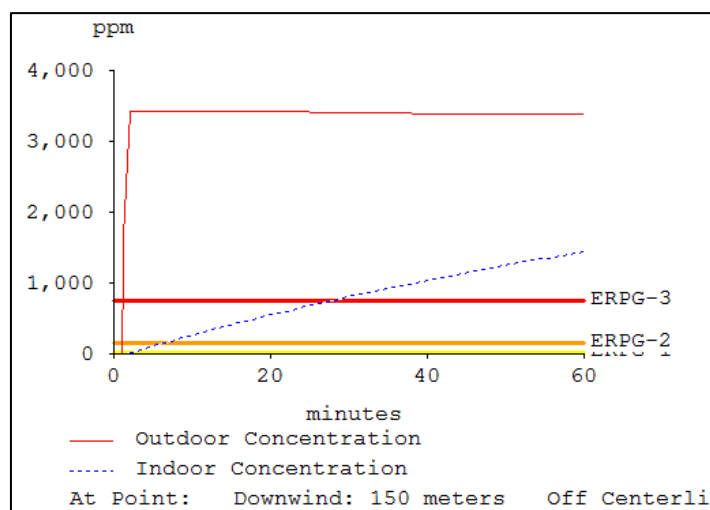


Figura 29 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 2 (Modelo de Gás Denso)

Por outro lado, a distância considerando a concentração de ERPG-2 na simulação 2 ficou superior ao valor recomendado pela Abiquim para zona de proteção (800 metros). A Figura 30 evidencia o comportamento da concentração na distância de 800 metros da fonte, de acordo com a simulação 2.

O valor de ERPG-2 foi superado em menos de 5 minutos após o início do vazamento. Este resultado pode ser considerado preocupante, pois embora a concentração mantenha-se inferior a ERPG-3, valores superiores a ERPG-2 não são seguros para manter uma exposição durante mais de 1h. Efeitos sérios a saúde, inclusive irreversíveis podem ser desenvolvidos. Concentrações acima de ERPG-2 por mais de 1 hora de exposição podem prejudicar a capacidade do indivíduo de tomar medidas de proteção.

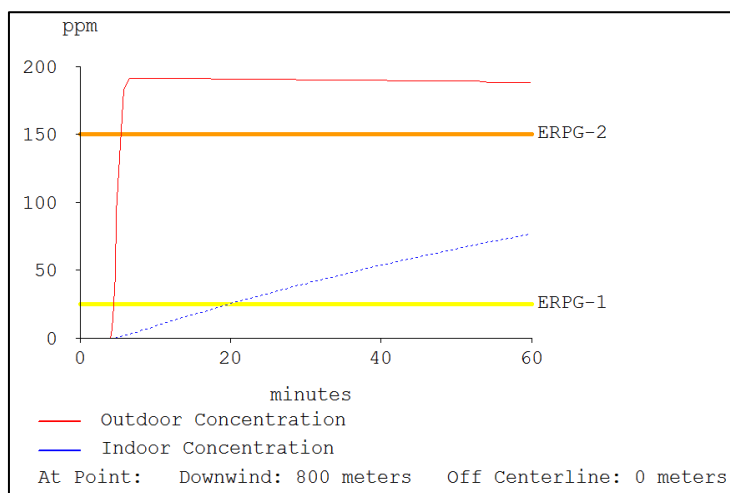


Figura 30 - Detalhe do ponto a 800m da fonte na simulação 2

5.1.1.2 – Cenário Noturno

A taxa de vazamento (95 kg/min), obtida através do modelo de fonte, não sofre alterações em função do horário do vazamento (diurno ou noturno).

De modo similar ao adotado no cenário diurno, a Figura 31 representa as áreas para cada concentração utilizando o modelo gaussiano, enquanto a Figura 32 emprega o modelo de gás denso. A linha laranja representa a recomendação de proteção da Abiquim para noite e a vermelha para isolamento inicial.

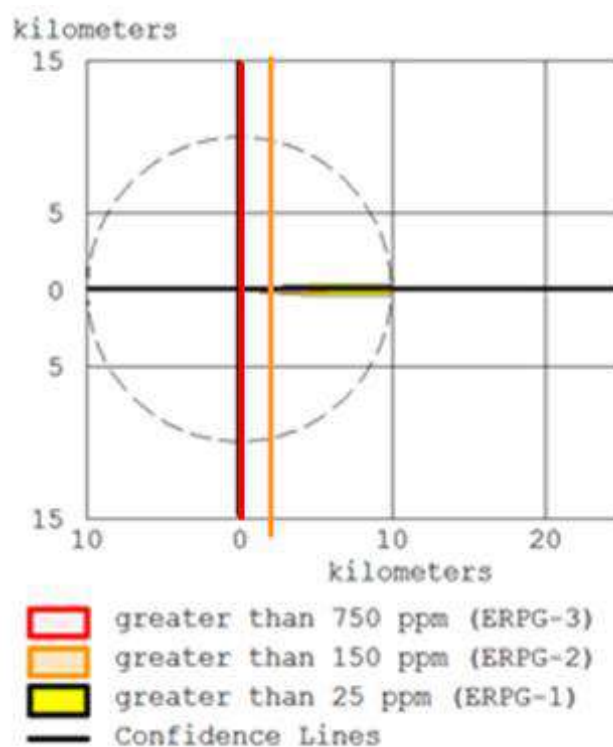


Figura 31 - Simulação 3 (Modelo Gaussiano)

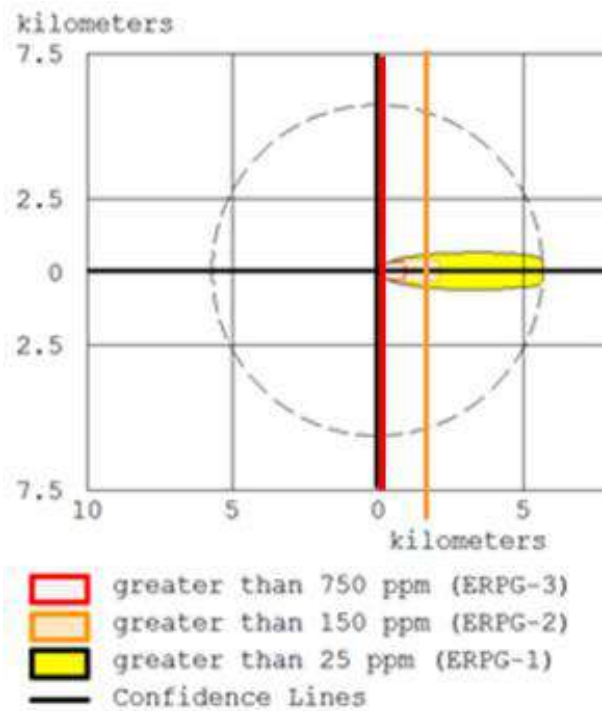


Figura 32 - Simulação 4 (Modelo de Gás Denso)

As distâncias para as simulações 3 (Modelo Gaussiano) e 4 (Modelo de Gás Denso) estão mostradas na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultado das simulações 3 e 4 (amônia, a noite)

	ERPG-3 (m)	ERPG -2 (m)	ERPG-1 (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 3	2100	6000	10000	150	2300
Simulação 4	922	2200	5700		

Para o cenário noturno observa-se uma diferença em relação à simulação diurna. Enquanto nos cenários 1 e 2 verificou-se que o modelo de gás denso apresentou, para uma mesma concentração de contaminante, uma distância maior que a encontrada no modelo gaussiano. O inverso aconteceu com os cenários 3 e 4, noturnos.

Novamente, na distância inicial de isolamento proposta no Manual da Abiquim (150m da fonte), a concentração atingiu valores superiores a ERPG-3 em poucos minutos. Esse comportamento revela que há risco para socorristas e a população em geral mesmo a 150m do local do acidente. A Figura 33 e a Figura 34 mostram que a concentração a 150m do local do acidente ultrapassou os 750ppm em apenas 5 a 10

minutos após o início do vazamento. Destaca-se ainda que as concentrações a 150m da fonte atingem valores extremamente elevados, variando de 30000 a 80000 ppm para vazamentos de amônia contínuos nas condições avaliadas. Esses valores superam em 100 vezes a ERPG-3, tendo consequências para exposições mesmo de curto período.

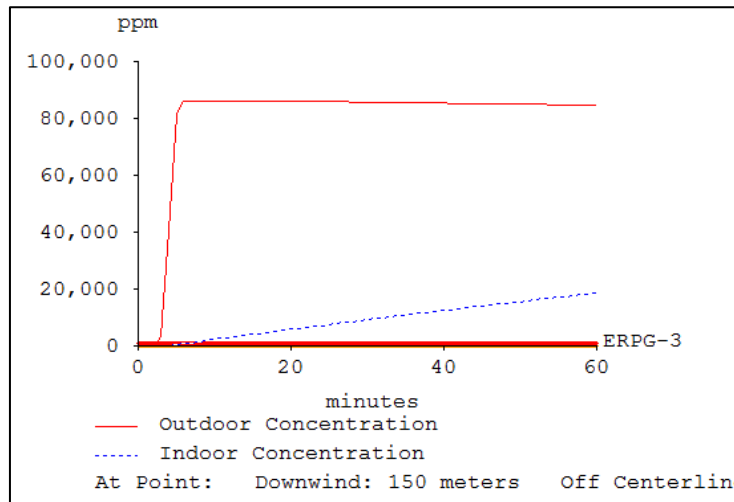


Figura 33 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 3

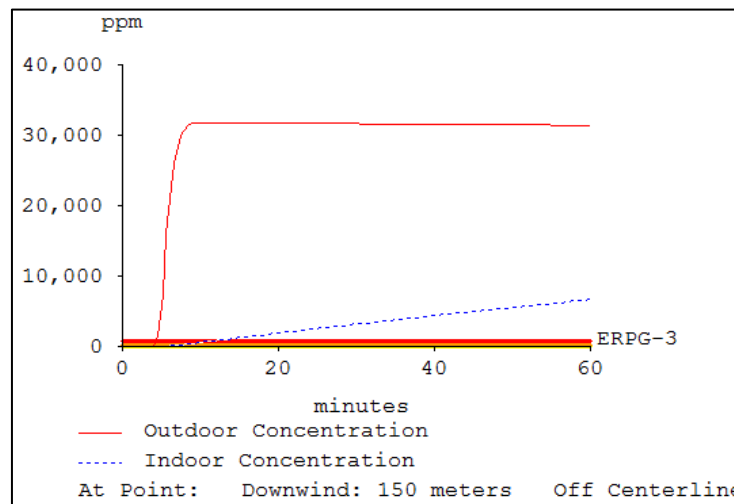


Figura 34 - Detalhe do ponto a 150m da fonte na simulação 4

A distância segura estabelecida pelo Manual da Abiquim para acidentes noturnos envolvendo amônia é de 2300 metros. Porém, o programa empregado neste estudo não é capaz de estimar valores para essa distância da fonte.

5.1.2. Cloro

A Tabela 18 apresenta as distâncias de evacuação imediata e as de proteção recomendadas pela Abiquim.

Tabela 18 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para vazamentos de cloro. Fonte: Abiquim, 2011.

ONU	Nome do produto	PEQUENOS DERRAMAMENTOS Provenientes de embalagens pequenas ou um pequeno vazamento de um tanque grande			GRANDES DERRAMAMENTOS Provenientes de um tanque grande ou de diversas embalagens pequenas		
		Primeiro, ISOLE em todas as direções	A seguir, PROTEJA as pessoas no sentido do vento		Primeiro, ISOLE em todas as direções	A seguir, PROTEJA as pessoas no sentido do vento	
			DIA	NOITE		DIA	NOITE
1017	Cloro	60 metros	400 metros	1,6 km	600 metros	3,5 km	8,0 km

A seguir serão apresentados os resultados das simulações para vazamentos de cloro. Foram utilizados como referência neste caso os valores indicados pelo índice AEGL, que se mostram mais conservativos para o cloro.

5.1.2.1 Cenário Diurno

A taxa de vazamento média (calculada a cada 1 minuto) e a quantidade total vazada em uma hora foram estimadas como 127 kg/min e 7.508 kg, respectivamente.

Modelos Gaussiano e de Gás Denso foram empregados para simular a dispersão, resultando na Figura 35 e na Figura 36. As retas verticais vermelha e laranja representam as recomendações para o isolamento inicial e no sentido do vento.

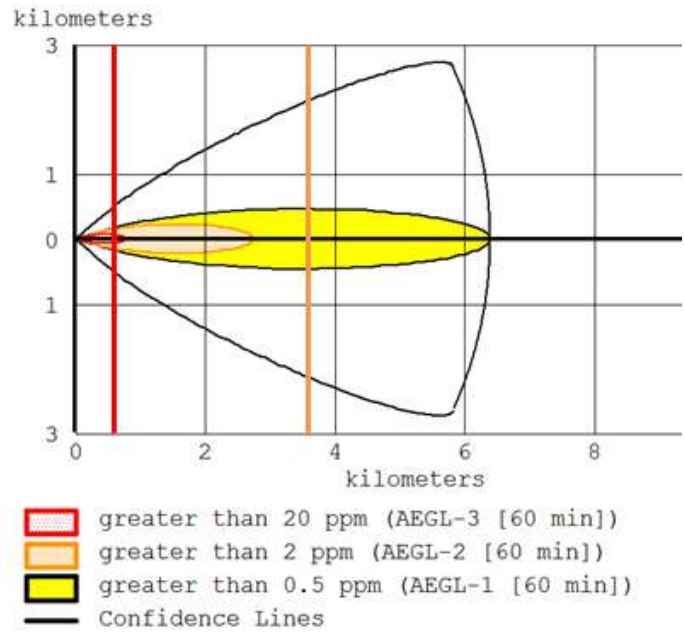


Figura 35 - Simulação 5 (Modelo Gaussiano)

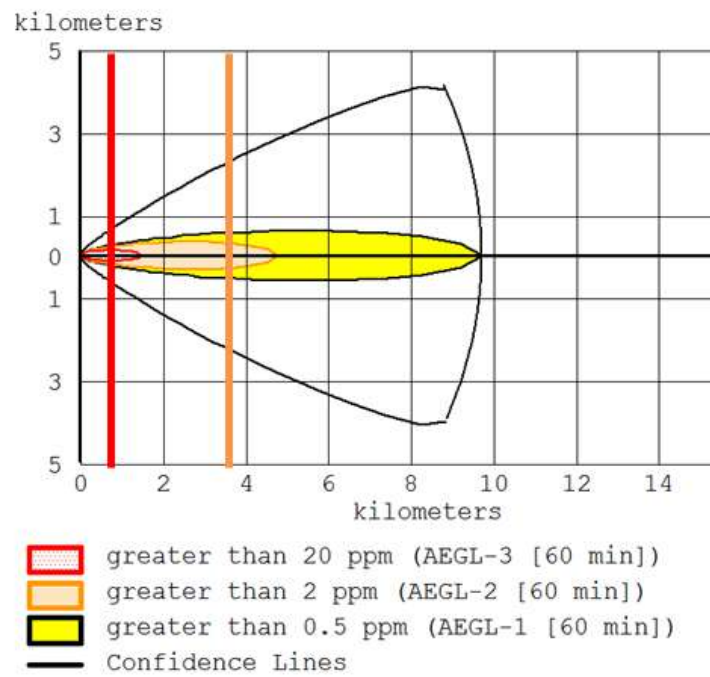


Figura 36 - Simulação 6 (Modelo de Gás Denso)

Os resultados das duas simulações estão na Tabela 19

Tabela 19 - Resultados das simulações 5 e 6 (cloro, de dia)

	AEGL-3 (m)	AEGL-2 (m)	AEGL-1 (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 5	772	2700	6400	600	3500
Simulação 6	1400	4800	9700		

Pode-se perceber que na simulação 5, utilizando modelo gaussiano, a distância em que foi atingido o AEGL-3 foi um pouco superior ao isolamento inicial recomendado pelo Manual. Já a distância em que foi atingida a concentração de 2 ppm (AEGL-2) é inferior à recomendação da Abiquim. O mesmo não acontece quando é usado o modelo de gás denso, modelo escolhido pelo programa como o que melhor representa o cenário de vazamento de cloro.

A Figura 37 mostra o gráfico de concentração versus tempo para o ponto a 600m da fonte utilizando o modelo gaussiano. A Figura 38 e a Figura 39 evidenciam o tempo para que fosse atingida a concentração AEGL-3 e 2 nas distâncias de 600 e 3500 metros na simulação 6.

Percebe-se que nas duas simulações a concentração igual a AEGL-3 foi atingida em menos de 10 minutos e na simulação 6 a concentração atingiu o valor de AEGL-2 em 20 minutos.

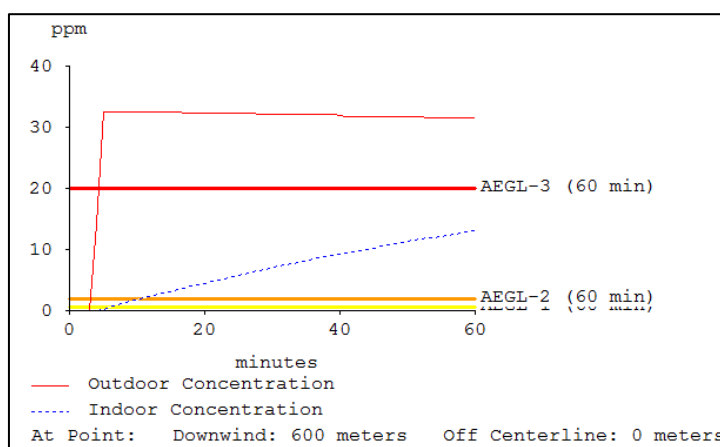


Figura 37 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 5

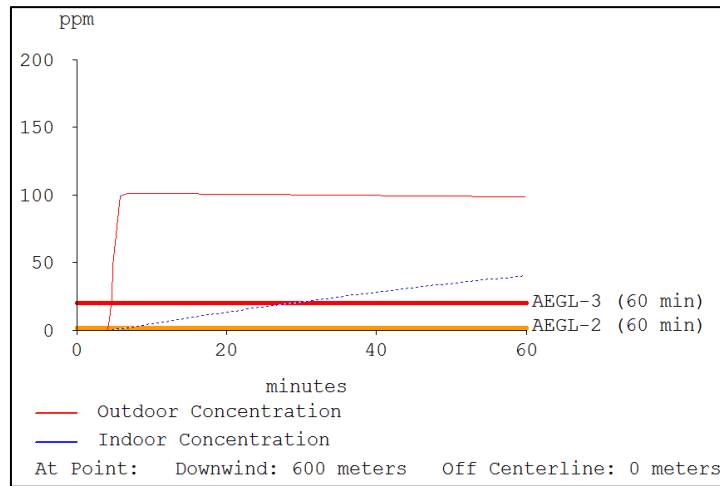


Figura 38 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 6

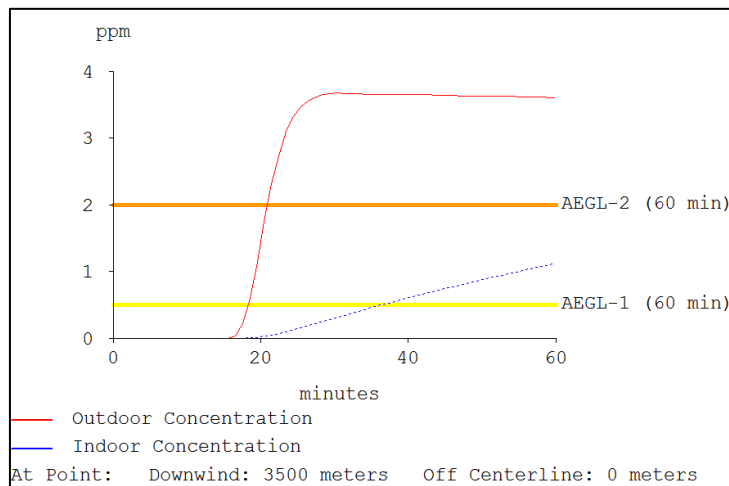


Figura 39 - Detalhe do ponto a 3500m da fonte na simulação 6

5.1.2.2 – Cenário Noturno

O cenário do cloro vazando no período da noite através de um furo no caminhão-tanque que o transportava está apresentado na Figura 40 (utilizando modelo Gaussiano) e na Figura 41 (utilizando modelo de Gás Denso). A reta laranja representa a distância recomendada pela Abiquim para o isolamento na direção do vento em caso de acidentes noturnos e a vermelha para isolamento inicial.

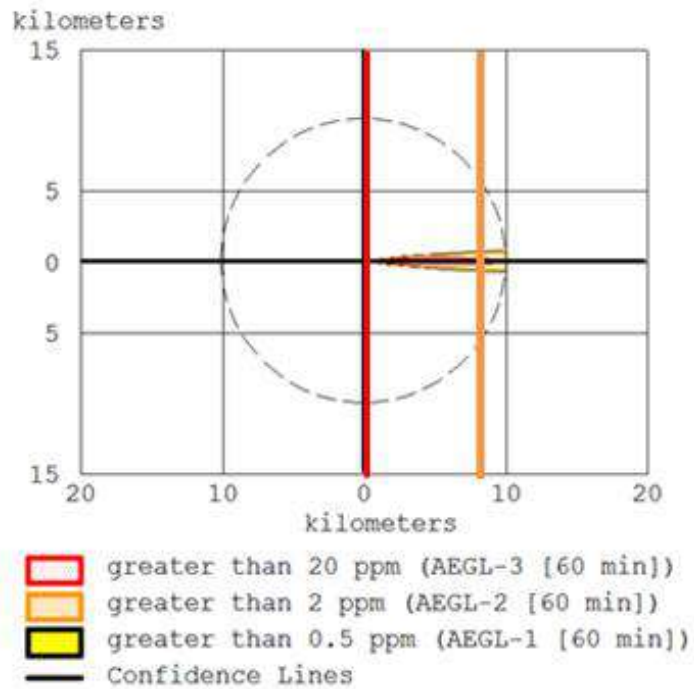


Figura 40 - Simulação 7 (Modelo Gaussiano)

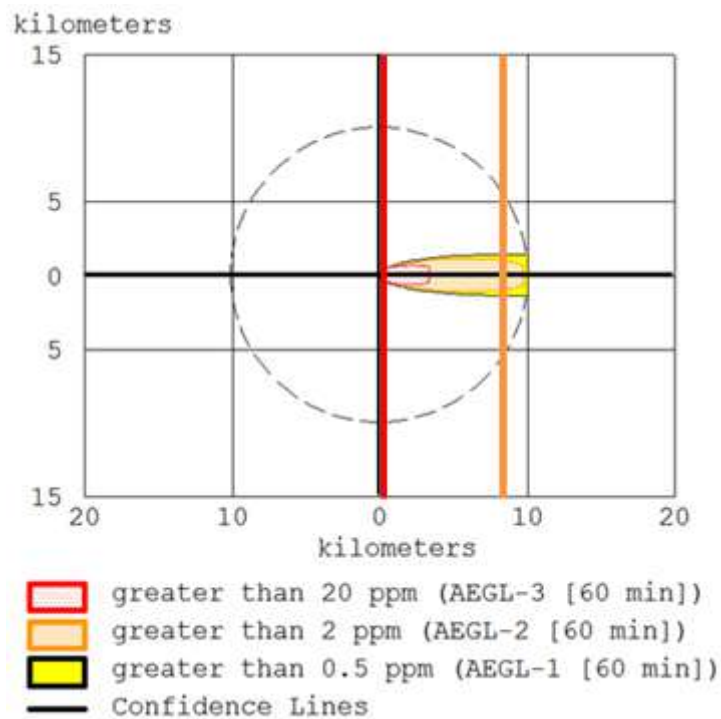


Figura 41 - Simulação 8 (Modelo de Gás Denso)

As distâncias encontradas em cada simulação estão especificadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados das simulações 7 e 8 (cloro, a noite)

	AEGL-3 (m)	AEGL -2 (m)	AEGL-1 (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 7	>10000	>10000	>10000	600	8000
Simulação 8	3300	9800	>10000		

A simulação 7 evidencia que a concentração atingiu valores muito elevados mesmo em longas distâncias. O programa só descreve a curva de concentração até 10km da fonte.

As distâncias nos quatro casos que está sendo feita a avaliação (isolamento inicial e proteção no sentido do vento em cada uma das simulações, 7 e 8) deram superiores ao recomendado pela Abiquim. Serão, então, apresentados os gráficos de concentração x tempo para todos (Figura 42 e Figura 43).

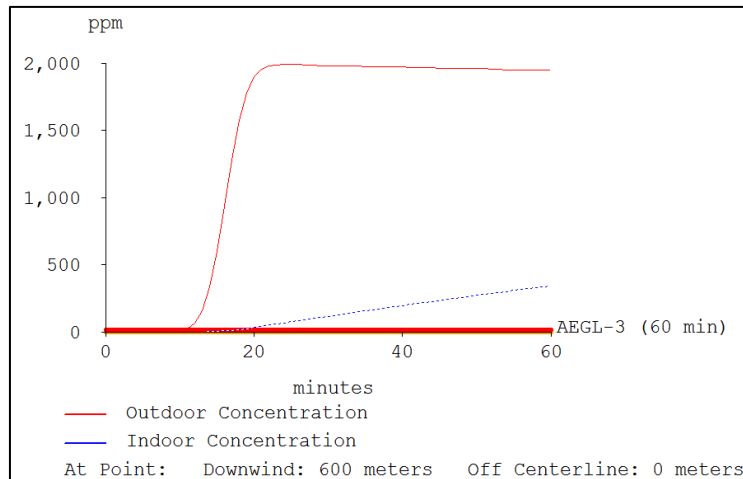


Figura 42 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 7

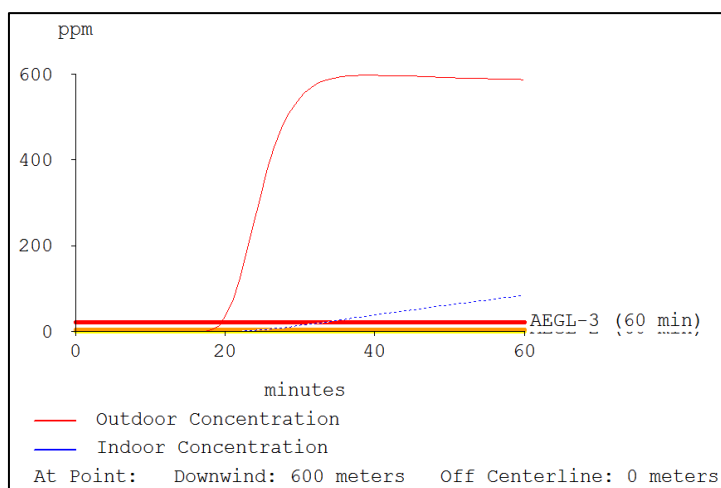


Figura 43 - Detalhe do ponto a 600m da fonte na simulação 8

Pode-se perceber que, apesar de existir um intervalo de tempo de 10 a 20 minutos para que a concentração atinja 20 ppm (AEGL-3), na sequência a concentração alcança valores extremamente elevados, principalmente na simulação 7, que atingiu valores quase 3 vezes maiores que na simulação 8.

A 3500m da fonte as concentrações atingiram 2 ppm (AGEL-2) depois de mais de 60 minutos após o acidente em ambas as simulações, o programa, portanto, não apresenta os gráficos.

5.1.3. 1,3-Butadieno

As distâncias de evacuação imediata e as de evacuação para grandes derramamentos e incêndio estão representadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Distâncias de isolamento recomendadas pela Abiquim para o 1,3-butadieno. Fonte: Abiquim, 2011.

ONU	Nome do produto	GUIA 116P		
		Ação imediata, ISOLAR em todas as direções	EVACUAÇÃO no sentido do vento	
			Grande vazamento	Incêndio
1010	1,3 - Butadieno	100 metros	800 metros	1.600 metros

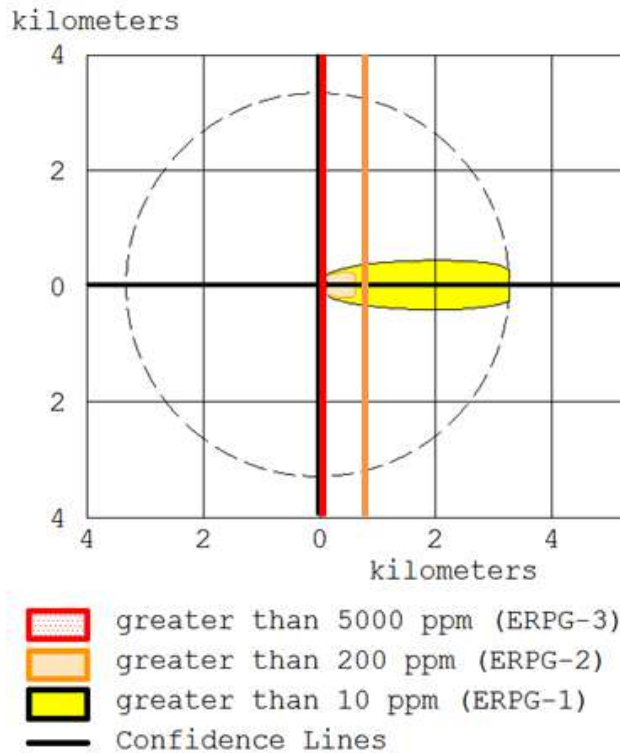


Figura 45 - Simulação 10 (Modelo de Gás Denso)

As distâncias encontradas nas simulações 9 e 10 estão mostradas na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultado das simulações 9 e 10 (1,3-butadieno, a noite)

	ERPG-3 (m)	ERPG -2 (m)	ERPG-1 (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 9	241	1400	9500	100	800
Simulação 10	140	643	3300		

Nas duas simulações as distâncias para ERPG-3 superaram os 100 metros recomendados pela Abiquim para o isolamento inicial. A Figura 46 e a Figura 47 mostram que o minuto em que foi atingida a concentração de 5000 ppm nesse local foi aproximadamente 2 na simulação 9 e 5 na simulação 10.

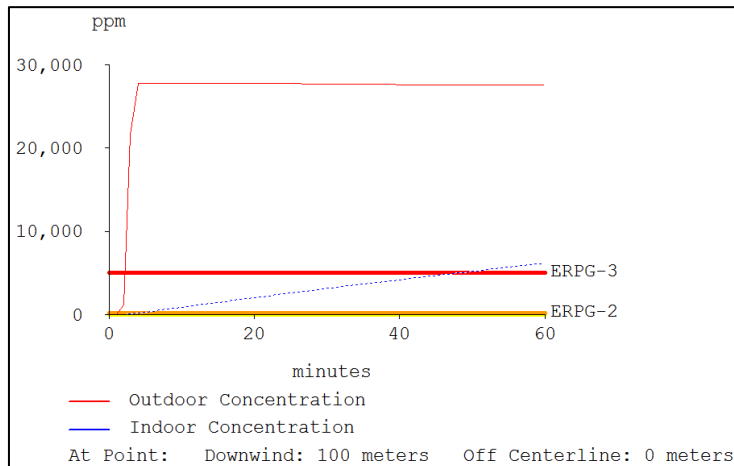


Figura 46 - Detalhe do ponto a 100m da fonte na simulação 9

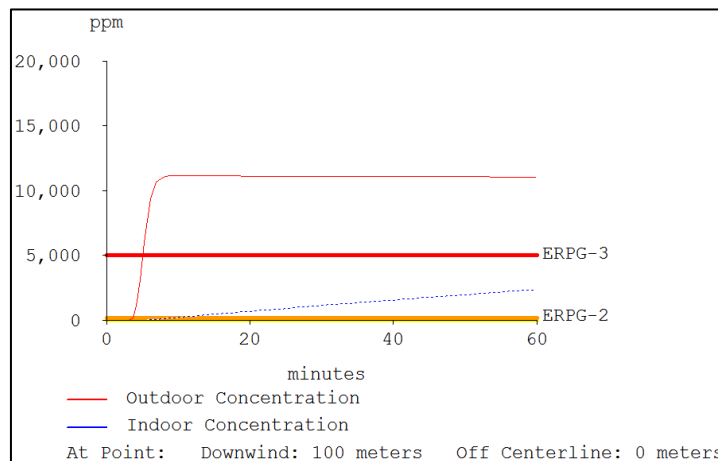


Figura 47 - Detalhe do ponto a 100m da fonte na simulação 10

Será feita a avaliação no ponto a 800m da fonte na direção do vento para o modelo Gaussiano, visto que a distância em que a concentração atingiu o ERPG-2 foi maior que a recomendada. O resultado está demonstrado na Figura 48. Não será feita tal análise para o modelo de Gás Denso, pois a distância da Abiquim se mostrou conservadora considerando esse modelo.

Analisando a figura percebe-se que o valor de ERPG-2 foi ultrapassado 20 minutos após o início da emissão, mesmo estando a 800m da fonte, distância assumida como segura e suficiente para definir a evacuação de acordo com o Manual da Abiquim.

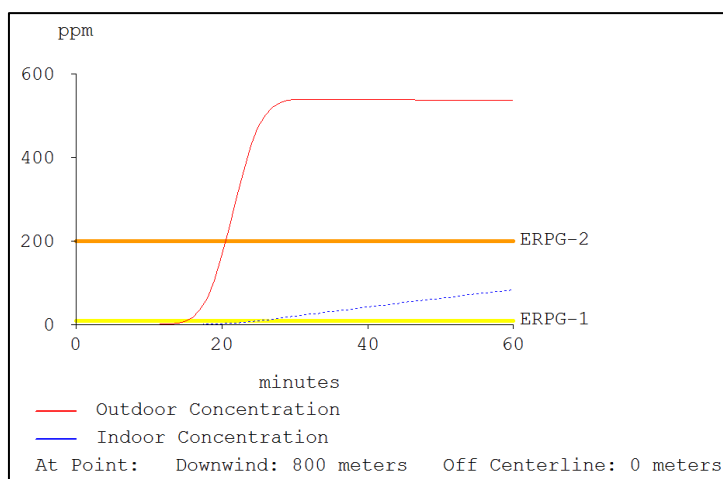


Figura 48 - Detalhe do ponto a 800m da fonte na simulação 9

5.1.3.2. Formação de nuvem inflamável e BLEVE

Como exposto anteriormente, por se tratar de um material combustível, será feita uma simulação considerando situação de incêndio para o 1,3-butadieno. Nela será considerado como limites 10 e 5% do limite inferior de inflamabilidade do produto.

A Figura 49 representa as áreas para cada concentração utilizando o modelo Gaussiano e a Figura 50 para o modelo de Gás Denso. Percebe-se que a incerteza é muito grande utilizando o modelo Gaussiano, a ponto de quase não ser possível identificar as zonas vermelha e amarela. Já avaliando o resultado utilizando o modelo de Gás Denso percebe-se que o isolamento inicial proposto pelo Manual da Abiquim não é suficiente para a segurança da população próxima ao local, pois há risco de incêndio. Já a distância para evacuação na direção do vento mostrou-se conservadora, sendo estabelecido quase 700m além da distância encontrada na simulação como apresentando uma concentração superior a 5% do LEL. A Tabela 23 apresenta os valores de cada simulação.

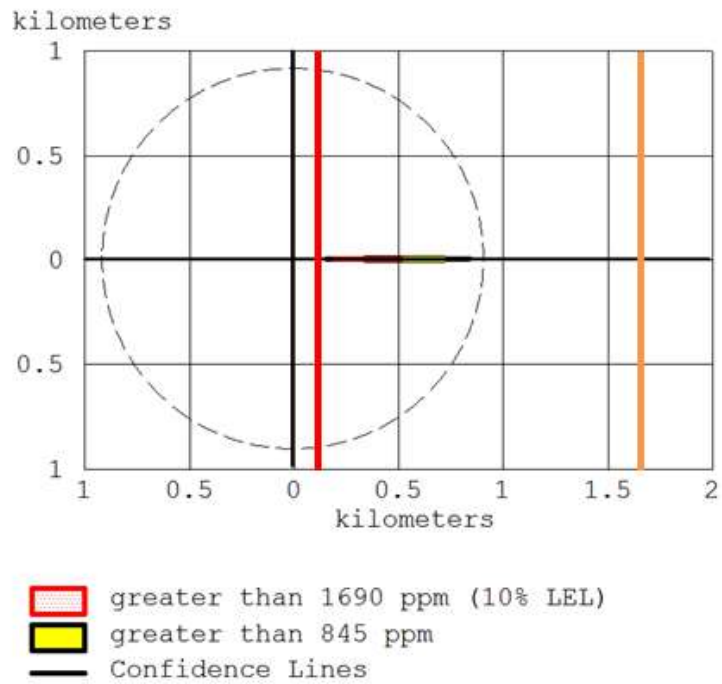


Figura 49 - Simulação 11 (Modelo Gaussiano)

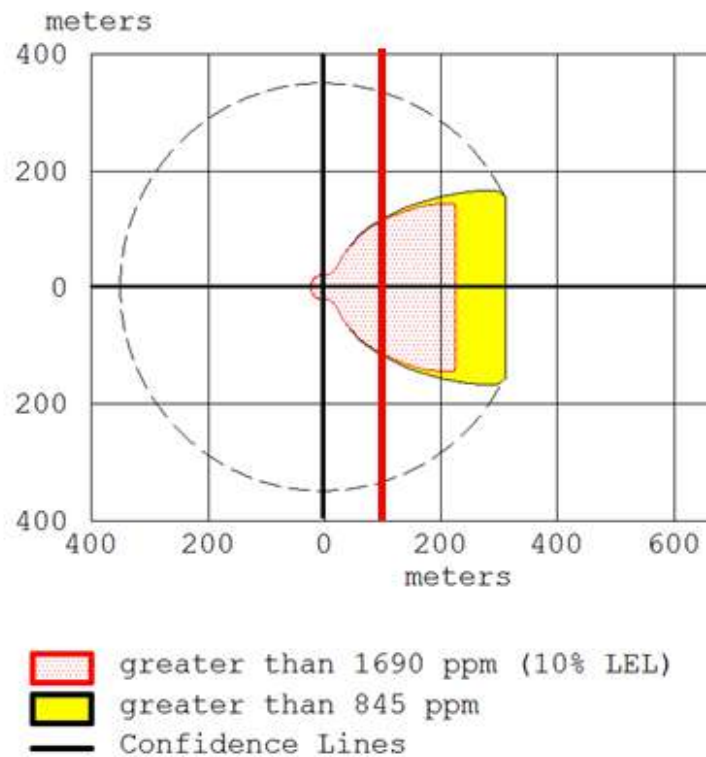


Figura 50 - Simulação 12 (Modelo de Gás Denso)

Tabela 23 - Resultado das simulações 11 e 12 quanto a inflamabilidade (1,3-butadieno)

	10% LEL (m)	5% LEL (m)	Abiquim (isolamento inicial)	Abiquim (proteção na direção do vento)
Simulação 11	617	911	100	1600
Simulação 12	227	314		

Como estão sendo avaliadas as recomendações da Abiquim referentes à situação de incêndio em geral, achou-se conveniente simular ainda um cenário de explosão do tanque.

Uma das causas de explosão de tanques contendo líquido combustível é quando este é continuamente aquecido por uma fonte de calor externa, como um incêndio. O líquido entra em ebulição no interior do tanque, aumentando sua pressão interna. Ao mesmo tempo o aquecimento da estrutura do vaso reduz sua resistência. A combinação de perda de resistência por aquecimento e elevação da pressão interna pode ocasionar a explosão. Este cenário é conhecido como “BLEVE” (boiling liquid expanding vapor explosion).

O parâmetro avaliado nesse caso é a radiação térmica (kW/m^2). O LOC será 1 kW/m^2 , radiação para a qual um indivíduo médio precisa de 115 segundos para sentir dores e 11 minutos para sofrer queimaduras de segundo grau.

Pode-se ver, a partir da Figura 51, que o raio no qual a população está sujeita a valores maiores de radiação térmica é de 1,1 km, distância inferior ao recomendado para evacuação na direção do vento. Apesar de em uma primeira análise o Manual mostrar-se conservador, é preciso atentar para o fato da situação de bleve ocorrer de maneira repentina, não havendo, portanto, tempo hábil para evacuar a área no momento do evento. É preciso que tenha sido previsto que poderia ocorrer e a população ter sido retirada do local preventivamente. E é importante atentar também que deve ser feito um isolamento em todas as direções e não somente na direção do vento.

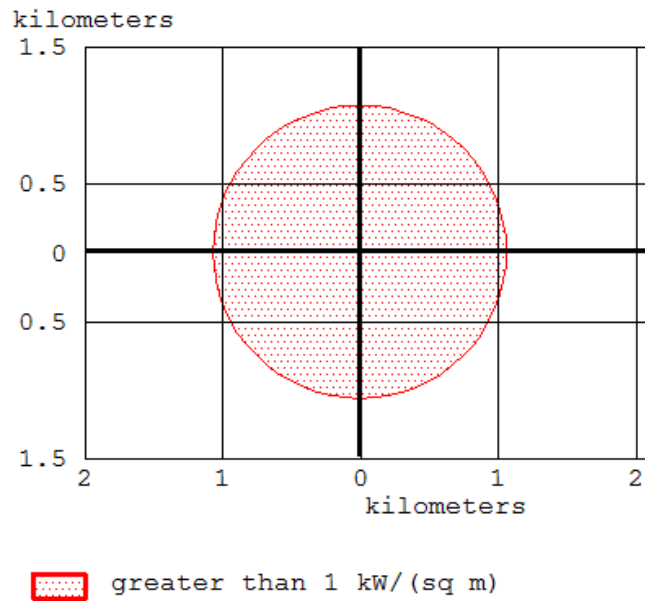


Figura 51 - Simulação 13

5.2. Aplicação da simulação no quilômetro 220 da BR-116

Além da comparação dos resultados das simulações com as recomendações obtidas no Manual da Abiquim, é interessante também avaliar como o vazamento afetaria a população mais próxima da rodovia, caso o acidente ocorresse no local definido anteriormente. Essa avaliação permite compreender até que ponto a população local seria afetada e as dimensões que o plano de emergência precisaria assumir.

Para essa análise, conforme detalhado anteriormente, será empregada a imagem de satélite do quilômetro 220 da rodovia BR-116, próximo a Belford Roxo. Para exemplificação, na imagem serão adicionadas as zonas afetadas por nuvens tóxicas de amônia. Optou-se aqui por adotar zonas circulares, ao invés de supor uma distância preferencial do vento. As zonas circulares contemplam todas as direções do vento.

A Figura 52 mostra a área recomendada pela Abiquim para evacuação inicial (círculo vermelho) e o resultado das simulações para a amônia (cenário diurno) considerando o ERGP-3 pelo modelo Gaussiano (círculo azul) e de Gás Denso (círculo amarelo). O mesmo pode ser observado na Figura 53 para a situação noturna.

A Figura 54 e a Figura 55 apresentam as distâncias da recomendação da Abiquim para proteção na direção do vento e, cada uma, os resultados das simulações utilizando como parâmetro ERPG-2 para dia e noite respectivamente. As cores dos

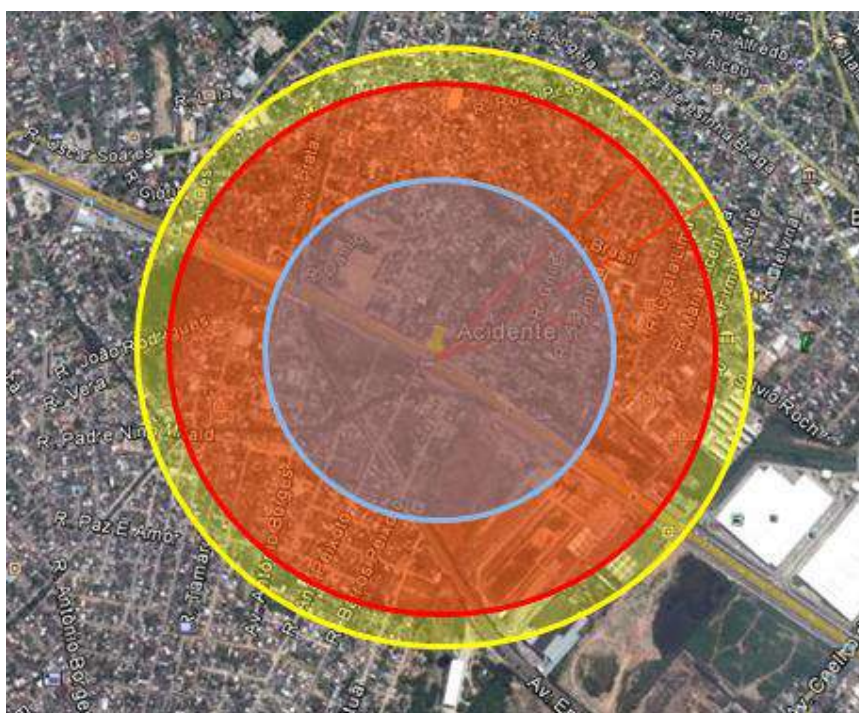


Figura 54 - Áreas de proteção na direção do vento para amônia na situação diurna

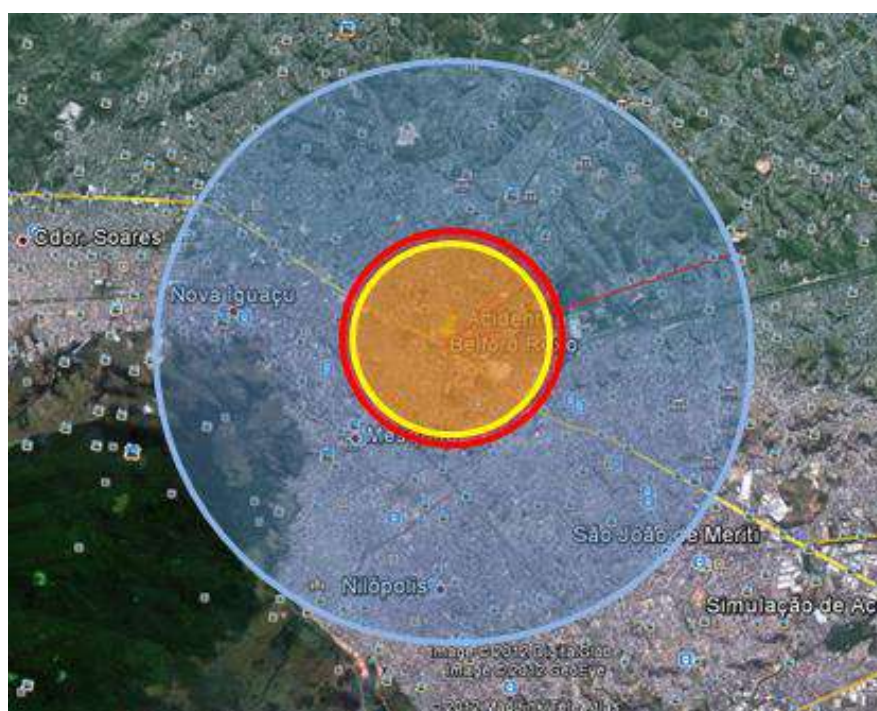


Figura 55 - Áreas de proteção na direção do vento para amônia na situação noturna

Pode-se observar que o círculo vermelho na maioria das vezes é menor que os demais, mostrando que as distâncias recomendadas pela Abiquim são inferiores às aquelas consideradas seguras empregando parâmetros internacionais de toxicologia e software de simulação. Pelas figuras percebe-se que, ao seguir o Manual, uma grande quantidade de residências e comércios pode ser atingida por concentrações perigosas para a saúde.

5.3. Comparação dos cenários com as recomendações

Para melhor visualização os resultados das simulações, bem como as recomendações da Abiquim foram reunidos em tabelas, sendo a Tabela 24 para a amônia, Tabela 25 referente ao cloro e a Tabela 26 ao 1,3-butadieno.

Analisando as distâncias para isolamento inicial percebe-se que, em todas as simulações, a distância que a concentração foi maior ou igual ao ERPG-3 é maior ou muito maior que as distâncias recomendadas pelo Manual para Atendimento de Emergências com Produtos Perigosos da Abiquim. A situação é ainda mais preocupante em acidentes noturnos, onde as discrepâncias entre as recomendações e simulações mais significativas. Talvez seria interessante que as recomendações de isolamento inicial apresentadas pelo Manual da Abiquim fossem diferenciadas para dia e noite, conforme acontece para a proteção na direção do vento.

Já em relação às áreas a serem protegidas e monitoradas as diferenças foram menos significativas, havendo, inclusive, situações em que as recomendações da Abiquim se mostraram conservadoras.

Na situação de incêndio, avaliada somente para o produto 1,3-butadieno, a Abiquim possui recomendações para isolamento inicial pouco menores que as distâncias estipuladas como seguras no presente trabalho (10% do LEL). Para proteção na direção do vento, a distância recomendada pela Abiquim é superior às que foram obtidas nas simulações, inclusive para BLEVE. Isso é muito positivo, pois para tais situações o Manual mostra-se conservador.

Amônia										
Modelo Horário	Abiquim	ALOHA (ERPG-3 = 750ppm)				Abiquim	ALOHA (ERPG-2 = 150 ppm)			
	Isolamento Inicial (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso		Proteção na direção do vento (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso	
		Distância (m)	Tempo para chegar em 750 ppm a 150m de distância da fonte (min)	Distância (m)	Tempo para chegar em 750 ppm a 150m de distância da fonte (min)		Distância (m)	Tempo para chegar em 150 ppm na distância recomendada (min)	Distância (m)	Tempo para chegar em 150 ppm na distância recomendada (min)
Dia (10h)	150	214	1	383	< 1	800	489	-----	909	5
Noite (22h)		2.100	5	922	10	2.300	6.000	> 60	2.200	-----

Tabela 24 - Resultados para a amônia

Tabela 25 - Resultados para o cloro

Cloro										
Modelo Horário	Abiquim	ALOHA (AEGL-3 = 20 ppm)				Abiquim	ALOHA (AEGL-2 = 2 ppm)			
	Isolamento Inicial (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso		Proteção na direção do vento (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso	
		Distância (m)	Tempo para chegar em 20 ppm a 600m de distância da fonte (min)	Distância (m)	Tempo para chegar em 20 ppm a 600m de distância da fonte (min)		Distância (m)	Tempo para chegar em 2 ppm na distância recomendada (min)	Distância (m)	Tempo para chegar em 2 ppm na distância recomendada (min)
Dia (10h)	600	772	4	1.400	5	3.500	2.700	-----	4.800	20
Noite (22h)		> 10.000	10	3.300	20	8.000	> 10.000	> 60	9.800	> 60

Tabela 26 - Resultados para o 1,3-butadieno

1,3 - Butadieno

1,3 - Butadieno										
Modelo Horário	Abiquim	ALOHA (AEGL-3 = 5000 ppm ou 10%LEL=)				Abiquim	ALOHA (AEGL-2 = 200 ppm ou 5%LEL =)			
	Isolamento Inicial (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso		Proteção na direção do vento (m)	Modelo Gaussiano		Modelo de Gás Denso	
		Distância (m)	Tempo para chegar em 5000 ppm a 100m de distância da fonte (min)	Distância (m)	Tempo para chegar em 5000 ppm a 100m de distância da fonte (min)		Distância (m)	Tempo para chegar na concentração de referência na distância recomendada (min)	Distância (m)	Tempo para chegar na concentração de referência na distância recomendada (min)
nuvem tóxica	100	241	2	140	5	800	1.400	20	643	-----
Incêndio		617	-----	227	-----	1.600	911	-----	314 (1,1km para bleve)	-----

Capítulo 6 – CONCLUSÃO

A partir dos resultados das simulações com amônia, cloro e butadieno em um acidente com caminhão-tanque em uma rodovia pode-se concluir que existem grandes riscos associados a essa atividade, que devem ser bem gerenciados para minimizar os danos para a população.

A comparação dos resultados das simulações com as recomendações do Manual da Abiquim permite concluir que o Manual apresenta alguns de seus valores inferiores ao considerados como seguros através das simulações. É preciso refletir sobre os critérios e premissas adotados no estabelecimento dessas distâncias ditas seguras pelo Manual.

É necessária a realização de estudo mais detalhado sobre a real necessidade de mudanças nas distâncias preconizadas pela Abiquim. Contudo, é inquestionável a necessidade dos métodos/protocolos utilizados atualmente como plano de emergência serem melhor avaliados, visando prioritariamente a segurança da população, socorristas e do meio ambiente.

Uma evidência de que as autoridades estão atentas à importância da atualização das técnicas de resposta foi a recente realização do “I Simpósio Internacional sobre Emergências com Produtos Perigosos”. Esse evento aconteceu em Brasília nos dias 10 a 12 de Dezembro de 2012 e teve como foco a prevenção, preparação e resposta rápida às emergências químicas, tendo em vista, entre outros fatores, os grandes eventos que o Brasil sediará (Portal de Produtos Perigosos).

BIBLIOGRAFIA

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. Manual para Atendimento de Emergências com Produtos Perigosos. Guia para as Primeiras Ações em Acidentes. Departamento Técnico, Comissão de Transportes. São Paulo, 2011, 6ª edição, 340 p.

AEGL DEFINITIONS. United States Environmental Protection Agency. Disponível em <<http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/define.htm>>. Acesso em 10 set. 2012.

AIR POLLUTION DISPERSION GLOSSARY. Disponível em <<http://www.translationdirectory.com/glossaries/glossary249.php>>. Acesso em 15 Set. 2012.

AIR POLLUTION DISPERSION MODELING. Disponível em <<http://chemengineering.wikispaces.com/Air+pollution+dispersion+modeling>>. Acesso em 17 set. 2012.

ALMEIDA, Ten. Operação com Produtos Perigosos. Apostila do curso de habilitação de Sargentos do Corpo de Bombeiros Militar. Governo do Estado do Espírito Santo.

ALOHA – Area Location of Hazardous Atmospheres. Disponível em <<http://www.epa.com.br>>. Acesso em 10 set. 2012.

ALOHA - User's Manual. 2007, U.S. Environmental Protection Agency e National Oceanic and Atmospheric Administration.

ALVES, Priscilla; CONTIJO, Geisa Aparecida da Silva; JUNIOR, Archimedes Azevedo Raia. Análise do transporte rodoviário de produtos perigosos no estado de São Paulo suas consequências no meio ambiente. Programa de pós-graduação em engenharia urbana – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

AMÉRICO, Sérgio. Apostilada disciplina agentes químicos do curso de pós graduação em engenharia de segurança do trabalho – GESTORE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ARAÚJO, G.M. Regulamentação do transporte de produtos perigosos comentada. Rio de Janeiro, 2001, 1ª edição.

BACKERS, Denise. Análise e perspectivas do mercado do butadieno. Trabalho de diplomação em engenharia química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BORGES, Filipe. Elaboração de um programa para previsão da dispersão de gases mais densos que o ar. Projecto de Termodinâmica aplicada - Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2000.

COMPLIANCE SIGN. Disponível em <<http://www.compliancesigns.com>>. Acesso em 07 set. 2012.

CROWL, Daniel A; LOUVAR, Joseph F. Chemical Process Safety. New Jersey, 2002, 2º edição, 650p.

CUNHA, Wallace de Castro. Análise do transporte de produtos perigosos no Brasil. Tese de doutorado em engenharia de transportes – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CURBANI, Flávio; RADAELI, Luiz Antônio. Aplicação da modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera para avaliação de situações de emergência relacionadas a emissões acidentais de agentes químicos. 2006. Monografia de Pós graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho - Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Vitória. 2006.

CURSO INTERVENÇÃO EM EMERGÊNCIAS COM PRODUTOS PERIGOSOS. SENASP/ANP. 2008.

EMERGENCY MANAGEMENT ISSUES SPECIAL INTEREST GROUP. Disponível em <<http://www.orise.ourau.gov/emi/escapa/chem-pacs-teels/aegls-ergp>>. Acesso em 10 set. 2012.

EMERGENCY RESPONSE GUIDEBOOK . Secretariat of Transport and Communications, Canadá. 2008.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS – AMÔNIA. White Martins. Disponível em <<http://www.whitemartins.com.br>>. Acesso em 26 set. 2012.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS – BUTADIENO. White Martins. Disponível em <<http://www.whitemartins.com.br>>. Acesso em 04 out. 2012.

FICHA DE INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA DO BUTADIENO. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental – CETESB. São Paulo, 2012.

FLECK, André Brenner. Dispersão de gases inflamáveis em plataforma offshore: localização de detectores. Dissertação de mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FONTANA, Geraldo Luiz Pereira. Dispersão de gases densos na atmosfera. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, 2004.

FONTANIVE, Silvia. Estudo da análise de risco do cloro em estações de tratamento de água. Dissertação de mestrado em engenharia de processos químicos – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GALBÁN, María del Pilar Almeida, et al. Evaluación de atmosferas peligrosas em uma planta química. Centro de Estudios de Meio Ambiente de Matanzas – Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.

GOOGLE EARTH. Disponível em < <http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em 22 set. 2012.

GUIDELINE FOUNDATION ADMINISTRATIVE OPERATING PROCEDURES. American Industrial Hygienist Association. Disponível em <<http://www.aiha.org/inseideaiha/guidelinedevelopment/erpg/pages/default.aspx>>. Acesso em 10 set. 2012.

JUNIOR, Carlos André Vaz. Apostila do curso de segurança de processos químicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazjunior>>. Acesso em 23 set. 2012.

JUNIOR, Neyval Costa Reis. Departamento de engenharia ambiental – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

KRAMER, Caio Reimann. Estudo de avaliação de risco aplicado a estação de tratamento de esgoto de São José do Rio Preto. 2010. Monografia de graduação em Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

LIMA, Ricardo Célio Vieira de Souza; BARBOSA, José Geraldo Pereira; COSENZA, Harvey. A implementação do sistema de avaliação de saúde, segurança, meio ambiente e qualidade (SASSMAQ) em empresas de transporte de produtos perigosos. XXVI ENEGEP – Fortaleza. 2006.

MANUAL DO CLORO. Adaptação do “The Chlorine Manual - Sixth Edition, January 1997”, realizada pela CLOROSUR com autorização do The Chlorine Institute, Inc. Disponível em < <http://www.grupohidromar.com.br> >. Acesso em 27 set. 2012.

MARGARIDA, Caroline. Sistema de informações como apoio à gestão de risco no transporte rodoviário de produtos perigosos. Dissertação de mestrado em engenharia civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NTP 329-MODELOS DE DISPERSIÓN DE GASES Y/O VAPORES EM LA ATMOSFERA: FUENTES PONTUALES E CONTINUAS. Instituto Nacional de Higiene em el Trabajo. Espanha. Disponível em <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_329.pdf>. Acesso em 12 set. 2012.

OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH AND SAFETY. Northeastern University – Massachuset. Disponível em http://www.ehs.neu.edu/laboratory_safety/general_information/nfpa_hazard_rating/guide_hazard/#a . Acesso em 20 set. 2012.

PASCON, P.E. Dispersão Gasosa e a Classificação de Área Perigosa.

PEREIRA, Olynto Carmo. Soluções de Otimização Energética de uma Ferrovia de Carga: o caso da estrada de ferro de Carajás. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2009.

PLANOS REGIONAIS DE ATENDIMENTO EMERGENCIAL (PRAES) PARA ACIDENTES COM PRODUTOS PERIGOSOS NO ESTADO DE SANTA CATARIANA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

PORTAL DE NOTICIAS DA GLOBO. Disponível em <http://g1.globo.com/> . Acesso em 15 out. 2012.

PORTAL DE PRODUTOS PERIGOSOS. Disponível em <http://www.produtosperigosos.com.br>. Acesso em 03 nov. 2012.

POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>. Acesso em 07 set. 2012.

PROPRIEDADE DOS GASES – CLORO. Gama Gases. Disponível em http://www.gamagases.com.br/propriedades_cloro.htm. Acesso em 27 set. 2012.

REAL, Márcia Valle; BRAGA, Marilita Gnecco de Camargo. Controle dos Riscos no Transporte Rodoviários de Produtos Perigosos no Brasil – Uma Proposta. Programa de Engenharia de Transporte – COPPE –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RELATÓRIO PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2011. CNT. Brasília, 2011.

RESOLUÇÃO N° 420. Agência Nacional de Transporte Terrestre – Ministério dos Transportes. Brasil, 2004.

RODRIGUEZ, Rafael Martinez. Estudo teórico e experimental de agregados iônicos (NH₃)_nNH_m dessorvidos de amônia sólida bombardeada por ions de 65 MeV. Tese de doutorado em física – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SEIXAS, Ângela; BATEIRA, Carlos. Determinação de áreas potencialmente afetadas em caso de acidente com transporte de mercadorias perigosas – comparação entre duas metodologias na estação ferroviária de Vila Nova de Gaia. Tese de doutorado em geografia – Universidade do Porto, Porto. 2011.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES PARA ATENDIMENTO DE OCORRÊNCIAS NO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS. Disponível em <http://200.144.30.103/siipp/public/busca_ppcomuns.aspx>. Acesso em 07 set. 2012.

SETTI, Egle. Apresentação de Gestão de SMS na indústria de Petróleo – Decreto N° 5.098, de Julho de 2004. Programa de Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

VAZ, José Luiz Lima. Estudo da dispersão de particulado na atmosfera considerando-se meio florestal e sua topografia. Tese de doutorado em ciências em engenharia nuclear – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

VERSILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M.; HEINE, Auren G. Introduction to Environmental Engineering.

VIANA, Viviane Japiassu. Riscos ambientais associados ao transporte de produtos perigosos na área de influência da ETA Guandu-RJ. Tese de mestrado em engenharia ambiental – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

VICENTE, Silva Helena. Dano ambiental no transporte e armazenagem de carga perigosa. Monografia de bacharelado em direito – Universidade Santa Cecília, Santos, 2002.

ANEXO 1 – RÓTULOS DE RISCO PARA CADA CLASSE



(Nº 1)

Subclasses 1.1, 1.2 e 1.3

Símbolo (bomba explodindo): preto. Fundo: laranja. Número "1" no canto inferior.



(Nº 1.4)



(Nº 1.5)



(Nº 1.6)

Fundo: laranja. Números: pretos. Os numerais devem medir cerca de 30mm de altura e cerca de 5mm de espessura (para um rótulo medindo 100mm x 100mm). Número "1" no canto inferior.



(Nº 2.1)

Subclasse 2.1

Gases inflamáveis

Símbolo (chama): preto ou branco.

Fundo: vermelho. Número "2" no canto inferior.



(Nº 2.2)

Subclasse 2.2

Gases não-inflamáveis, não-tóxicos

Símbolo (cilindro para gás): preto ou branco.

Fundo: verde. Número "2" no canto inferior.



(Nº 2.3)

Subclasse 2.3

Gases tóxicos

Símbolo (caveira e ossos cruzados): preto.

Fundo: branco. Número "2" no canto inferior.



(Nº 3)
 Símbolo (chama): preto ou branco.
 Fundo: vermelho. Número "3" no canto inferior.



(Nº 4.1)
 Subclasse 4.1
 Sólidos inflamáveis
 Símbolo (chama): preto.
 Fundo: branco com sete listras verticais vermelhas.
 Número "4" no canto inferior.



(Nº 4.2)
 Subclasse 4.2
 Substâncias sujeitas à combustão espontânea
 Símbolo (chama): preto.
 Fundo: metade superior branca, metade inferior vermelha.
 Número "4" no canto inferior.



(Nº 4.3)
 Subclasse 4.3
 Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis
 Símbolo (chama): preto ou branco. Fundo: azul.
 Número "4" no canto inferior.



(Nº 5.1)
 Subclasse 5.1
 Substâncias oxidantes
 Símbolo (chama sobre um círculo) preto.
 Fundo: amarelo.
 Número "5.1" no canto inferior.



(Nº 5.2)
 Subclasse 5.2
 Peróxidos orgânicos
 Símbolo (chama): preto ou branco
 Fundo: metade superior vermelha, metade inferior amarela.
 Número "5.2" no canto inferior.





(Nº 6.1)
Subclasse 6.1
Substâncias tóxicas
Símbolo (caveira e ossos cruzados): preto. Fundo: branco.
Número "6" no canto inferior.



(Nº 6.2)
Subclasse 6.2
Substâncias infectantes
A metade inferior do rótulo pode conter as inscrições: "SUBSTÂNCIA INFECTANTE" e "Em caso de dano ou vazamento, notificar imediatamente as autoridades de Saúde Pública". Símbolo (três meias-luas crescentes superpostas em um círculo) e inscrições: pretos.
Fundo: branco. Número "6" no canto inferior.



(Nº 7A)
Categoria I - Branco
Símbolo (trifólio): preto.
Fundo: branco.
Texto (obrigatório): preto,
na metade inferior do rótulo:
"RADIOATIVO"
"CONTEÚDO....."
"ATIVIDADE....."
Colocar uma barra vermelha
após a palavra "RADIOATIVO".
Número "7" no canto inferior.



(Nº 7B)
Categoria II - Amarela
Símbolo (trifólio): preto.
Fundo: metade superior amarela com bordas brancas,
metade inferior branca.
Texto (obrigatório): preto, na metade inferior do rótulo:
"RADIOATIVO....."
"CONTEÚDO....."
"ATIVIDADE....."
Em um retângulo de bordas pretas: "ÍNDICE DE TRANSPORTE".
Colocar duas barras verticais
vermelhas após a palavra
"RADIOATIVO".
Número "7" no canto inferior.



(Nº 7C)
Categoria III - Amarela

Colocar três barras verticais
vermelhas após a palavra
"RADIOATIVO".



(Nº 7E)
Classe 7: Material Físsil
Fundo: branco.
Texto (obrigatório): preto na metade superior do rótulo: "FÍSSIL".
Em um retângulo de bordas pretas na metade inferior do rótulo:
"Índice de segurança de criticalidade".
Número "7" no canto inferior.



(Nº 8)

Símbolo (líquidos, pingando de dois recipientes de vidro e atacando uma mão e um pedaço de metal): preto.
Fundo: metade superior branca.
metade inferior preta com borda branca.
Número "8" no canto inferior.



(Nº 9)

Símbolo (sete listras verticais na metade superior): preto.
Fundo: branco.
Número "9", sublinhado no canto inferior.

APÊNDICE 1- ENTRADAS DAS SIMULAÇÕES

A) Simulação 1

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.56 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 1000 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3.5 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: C
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.4 meters
Tank Volume: 39.1 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,025 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 95 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 5,659 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)

Model Run: Gaussian
Red : 214 meters --- (750 ppm = ERPG-3)
Orange: 489 meters --- (150 ppm = ERPG-2)
Yellow: 1.3 kilometers --- (25 ppm = ERPG-1)

B) Simulação 2

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.56 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 1000 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3.5 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: C
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.0 meters Tank Length: 9.4 meters
Tank Volume: 39.1 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in tank: 20,025 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALUHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 95 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 5,659 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
Red : 383 meters --- (750 ppm = ERPG-3)
Orange: 909 meters --- (150 ppm = ERPG-2)
Yellow: 2.3 kilometers --- (25 ppm = ERPG-1)

THREAT AT POINT:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 800 meters OFF Center-line: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 191 ppm
Indoor: 76.5 ppm

C) Simulação 3

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.4 meters
Tank Volume: 39.1 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,025 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 95 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 5,659 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)

Model Run: Gaussian
Red : 2.1 kilometers --- (750 ppm = ERPG-3)
Orange: 6.0 kilometers --- (150 ppm = ERPG-2)
Yellow: greater than 10 km --- (25 ppm = ERPG-1)

THREAT AT POINT:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 2000 meters Off Centerline: 0 meters
The point selected is more than 1 hour downwind of the source.
The model cannot provide useful concentration information.

D) Simulação 4

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
Ambient Boiling Point: -33.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.4 meters
Tank Volume: 39.1 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,025 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 95 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 5,659 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
Red : 922 meters --- (750 ppm = ERPG-3)
Orange: 2.2 kilometers --- (150 ppm = ERPG-2)
Yellow: 5.7 kilometers --- (25 ppm = ERPG-1)

E) Simulação 5

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.56 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 1000 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm AEGL-2 (60 min): 2 ppm AEGL-3 (60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Ambient Boiling Point: -34.0° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3.5 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: C
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 4.05 meters
Tank Volume: 16.8 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 19,998 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 127 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 7,508 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)

Model Run: Gaussian
Red : 772 meters --- (20 ppm = AEGL-3 (60 min))
Orange: 2.7 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 (60 min))
Yellow: 6.4 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 (60 min))

F) Simulação 6

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.56 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 1000 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm AEGL-2 (60 min): 2 ppm AEGL-3 (60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Ambient Boiling Point: -34.0° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3.5 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: C
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 4.05 meters
Tank Volume: 16.8 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 19,998 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 127 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 7,508 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas
Red : 1.4 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 4.8 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 9.7 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])

H) Simulação 8

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1 (60 min): 0.5 ppm AEGL-2 (60 min): 2 ppm AEGL-3 (60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Ambient Boiling Point: -34.0° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 4.05 meters
Tank Volume: 16.8 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 19,998 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 127 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 7,508 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
Red : 3.3 kilometers --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 9.8 kilometers --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])

I) Simulação 9

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: 1,3-BUTADIENE Molecular Weight: 54.09 g/mol
AEGL-1 (60 min): 670 ppm AEGL-2 (60 min): 5300 ppm AEGL-3 (60 min): 22000 ppm
IDLH: 2000 ppm LEL: 16900 ppm UEL: 160000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: -4.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.2 meters
Tank Volume: 38.2 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,036 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 44.1 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,633 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)

Model Run: Gaussian
Red : 241 meters --- (5000 ppm = ERPG-3)
Orange: 1.4 kilometers --- (200 ppm = ERPG-2)
Yellow: 9.5 kilometers --- (10 ppm = ERPG-1)

THREAT AT POINT:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 800 meters Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
 Outdoor: 538 ppm
 Indoor: 82.9 ppm

J) Simulação 10

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: 1,3-BUTADIENE Molecular Weight: 54.09 g/mol
AEGL-1 (60 min): 670 ppm AEGL-2 (60 min): 5300 ppm AEGL-3 (60 min): 22000 ppm
IDLH: 2000 ppm LEL: 16900 ppm UEL: 160000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: -4.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.2 meters
Tank Volume: 38.2 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,036 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 44.1 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,633 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas
Red : 140 meters --- (5000 ppm = ERPG-3)
Orange: 643 meters --- (200 ppm = ERPG-2)
Yellow: 3.3 kilometers --- (10 ppm = ERPG-1)

K) Simulação 11

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: 1,3-BUTADIENE Molecular Weight: 54.09 g/mol
AEGL-1 (60 min): 670 ppm AEGL-2 (60 min): 5300 ppm AEGL-3 (60 min): 22000 ppm
IDLH: 2000 ppm LEL: 16900 ppm UEL: 160000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: -4.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.2 meters
Tank Volume: 38.2 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,036 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Internal Temperature at Failure: 50 C
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 44.1 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,633 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red : 617 meters --- (1690 ppm = 10% LEL)
Yellow: 911 meters --- (845 ppm)

L) Simulação 12

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: 1,3-BUTADIENE Molecular Weight: 54.09 g/mol
AEGL-1 (60 min): 670 ppm AEGL-2 (60 min): 5300 ppm AEGL-3 (60 min): 22000 ppm
IDLH: 2000 ppm LEL: 16900 ppm UEL: 160000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: -4.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.2 meters
Tank Volume: 38.2 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,036 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 1 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Internal Temperature at Failure: 50 C
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 44.1 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 2,633 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE: (HEAVY GAS SELECTED)

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Heavy Gas
Red : 227 meters --- (1690 ppm = 10% LEL)
Yellow: 314 meters --- (845 ppm)

M) Simulação 13

SITE DATA:

Location: MIAMI, FLORIDA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (unsheltered single storied)
Time: September 8, 2012 2200 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: 1,3-BUTADIENE Molecular Weight: 54.09 g/mol
AEGL-1 (60 min): 670 ppm AEGL-2 (60 min): 5300 ppm AEGL-3 (60 min): 22000 ppm
IDLH: 2000 ppm LEL: 16900 ppm UEL: 160000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: -4.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.63 meters/second from ese at 50 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: F
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank
Tank Diameter: 2.3 meters Tank Length: 9.2 meters
Tank Volume: 38.2 cubic meters
Tank contains liquid
Internal Storage Temperature: 25° C
Chemical Mass in Tank: 20,036 kilograms
Tank is 85% full
Internal Temperature at Failure: 50 C
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100.0%
Fireball Diameter: 158 meters Burn Duration: 11 seconds

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball
Red : 1.1 kilometers --- (1 kW/(sq m))