



**UNICAMP - UNIVERSIDADE DE CAMPINAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA**

**MODELO FACILITADOR NA IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS NO  
TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS.**

**Adroaldo Clovis Jeronimo**

**Campinas 2007**



**UNICAMP - UNIVERSIDADE DE CAMPINAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA**

**Dissertação do Mestrado apresentada ao  
Departamento de Processos Químicos da  
Faculdade de Engenharia Química da  
Universidade Estadual de Campinas como  
requisito a obtenção do título Mestre em  
Engenharia Química.**

**Orientador: Prof. Dr. Gustavo Paim Valença.**

**Comissão Julgadora:**

**Prof Dr Letivan Gonçalves de Mendonça Filho  
Prof Dr João Sinézio de Carvalho Campos  
Prof Dr Gustavo Paim Valença.**

**Campinas 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

J483m Jeronimo, Adroaldo Clovis  
Modelo facilitador na identificação dos riscos no  
transporte de substancias químicas perigosas / Adroaldo  
Clovis Jeronimo.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Gustavo Paim Valença  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Substancias perigosas – Transporte. 2. Avaliação de  
riscos. 3. Substancias perigosas. 4. Logística. I. Valença,  
Gustavo Paim. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Facilitative model in the identification of risks when  
transporting dangerous chemical substances

Palavras-chave em Inglês: Class, subclass of risk, Dangerous chemical  
substances transport

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos

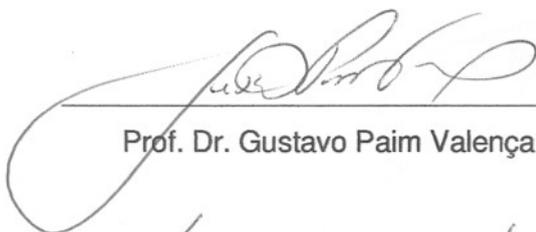
Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: João Sinézio de Carvalho Campos, Letivan Gonçalves  
de Mendonça

Data da defesa: 12/12/2007

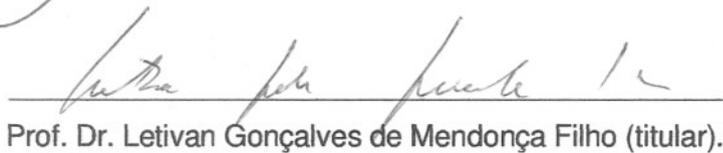
## FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de mestrado defendida por Adroaldo Clovis Jerônimo e aprovada em 12 de dezembro de 2007 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



---

Prof. Dr. Gustavo Paim Valença – Orientador.



---

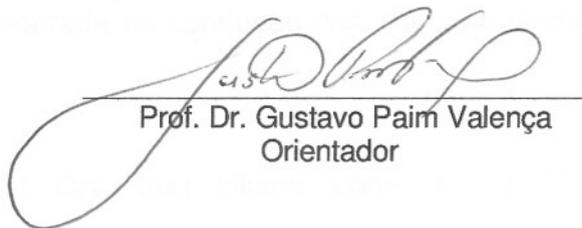
Prof. Dr. Letivan Gonçalves de Mendonça Filho (titular).



---

Prof. Dr. João Sbrézio de Carvalho Campos

Esta versão corresponde à redação final da dissertação de Mestrado em Engenharia Química defendida por Adroaldo Clovis Jerônimo e aprovada pela comissão julgadora em 12 de dezembro de 2007



Prof. Dr. Gustavo Paim Valença  
Orientador

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Paim Valença, sou grato pelo tempo a mim dedicado nas dissipações de dúvidas sobre o teor programático do curso de pós-graduação.

Aos Profs. Drs. Edson Tomaz, e João Sinézio de Carvalho Campos pela ajuda e sugestões para este modelo de tese e ainda pela paciência e boa vontade na condução das aulas no decorrer da jornada.

Aos Profs. (as) Drs. (as) Liliane Lona, Maria Alvina Krahenbuhl, Maria Teresa Moreira Rodrigues e Reginaldo Guirardello, pela paciência e boa vontade na condução das disciplinas do conteúdo programático do curso de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP.

Ao colega Victor Hugo Alvarez pela ajuda, principalmente nas dúvidas sobre os softwares usados nos estudos das disciplinas.

Aos demais colegas de pós-graduação pelas críticas, ajuda nas dúvidas e sugestões.

A minha esposa Carmen Lúcia, por assumir as responsabilidades da casa nas ocasiões da minha ausência do lar e presença no campus.

Ao Oficial General do Exército Ubirajara S Valença, mestre do Instituto Militar de Engenharia (IME) pelo apoio e ajuda sob a forma de sugestões na elaboração deste trabalho.

A Universidade Estadual de Campinas, pela oportunidade que me deu para estudar métodos de processos de Engenharia Química e, por conseguinte melhorar os meus conhecimentos práticos adquiridos no decorrer dos 25 anos que trabalhei na logística de processos de produção de especialidades químicas.

Ao meu grande amigo Élson Rodrigues Rocha, pelo seu espírito de solidariedade, incentivo e ajuda nas horas de dificuldades pelas quais passei.

A Deus, por ter permitido minha inserção neste mundo e me dar à glória de viver e então ter o privilégio de conviver nesta comunidade UNICAMP.

Aos meus pais, em memória, por terem me feito nascer e atender aos preceitos da vida de acordo com Deus.

## Resumo

Esta dissertação faz exposições de tópicos sobre o potencial de risco nas operações de transporte de substâncias químicas perigosas. Inicialmente, se propõe estudar casos de transporte de substâncias químicas perigosas, buscando explorar as características de alguns produtos químicos em relação aos cuidados especiais no gerenciamento de processos de transporte e movimentação e a complexidade na aplicação dos regulamentos, principalmente nas cargas fracionadas.

Numa outra seqüência, procura-se discursar sobre os métodos existentes utilizados nas operações de transporte de algumas substâncias químicas de alta periculosidade relacionando o tipo de transporte das substâncias químicas com materiais comuns. Afora isso, realizam-se simulações de transporte, restrições de consolidações de cargas, riscos de impactos ambientais no decorrer do transporte, necessidade de melhorar as informações das substâncias químicas transportadas.

A metodologia utilizada nas operações de transporte e sua influência nos custos de produção em de que as substâncias químicas perigosas por suas características físico-químicas requerem equipamentos de transporte personalizados às características dos produtos químicos a serem transportados. Através das idéias expostas neste trabalho, será possível situar-se no ambiente e avaliar o nível de desempenho das atividades logísticas envolvidas com o transporte de produtos químicos perigosos.

## **Abstract**

This dissertation is about topics of potential of when a company transports dangerous chemical substances. Initially the proposition is to study cases of it searching for characteristics of some chemical products regarding the special cares in the transport trials management of transporting and moving besides the complexity application of the rules, mainly in the fragmented cargo.

This material discourses about some existing methods used in the transport operations of some high dangerous chemical substances relating to the transport used with the chemical products and common material. Besides of this dissertation shows simulations of transport, restriction of consolidated cargo, analysis of risk that can be caused at the environment and the necessity to improve the information of transported chemical substances.

It is discussed also the methodology used in transport operations and influence in the costs production when the dangerous chemical products, due to its physical-chemical characteristics require special equipment of transport.

Through the ideas exhibited in this study it will be possible to be situated in the environment and evaluate the performance level of the logistic activities involved with the transport of risk chemical products.

# Sumário

	Pg.
Agradecimentos .....	i
Resumo.....	iv
Abstract .....	v
Sumário .....	vi
Introdução .....	xiv
<b>CAPITULO 1: TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS .....</b>	<b>1</b>
Considerações Sobre o Transporte de Substâncias Químicas Perigosas .....	1
<b>CAPITULO 2: PREVENÇÃO DE RISCOS .....</b>	<b>10</b>
2.1 O Referencial de Prevenção aos Riscos .....	10
2.2 Sobre as Utilidades das Substâncias Químicas Perigosas .....	12
2.2.1 Decreto-lei 2063, Decreto-lei 96044, Portaria 291 .....	17
2.3 Ponto de Fusão .....	18
2.3.1 Sob o ponto de Vista da termodinâmica .....	18
2.4 Ponto de Ebulição .....	19
2.5 Densidade do Vapor .....	20
2.6 A pressão do Vapor .....	21
2.6.1 Substância Submetida a Qualquer Temperatura .....	21
2.7 Ponto de Queima (Flash Point) .....	22
2.8 Limite de Explosividade .....	22
2.8.1 Dois limites de explosividade .....	22
2.8.2 As concentrações de Gases Explosivos .....	22
2.9 Temperatura de Auto-Ignicção .....	23
2.9.1 As informações físico-químicas .....	24
2.9.2 A prova de auto-ignição .....	24
2.9.3 Energia – mínimo limite de auto-ignição-lim de inflamabilidade...	24

2.9.4 Aplicação do método GTM G 72 .....	24
2.10 Estabilidade Química .....	24
2.10.1 Nas Análises da Instabilidade considerar compatibilidade.....	24
2.11 Toxicologia .....	25
2.12 Conceito de Processo .....	25
2.13 Classe e Subclasse de Risco .....	27
2.13.1 Classe 1 – Substâncias Explosivas .....	27
2.13.2 Os Rótulos de Risco .....	27
2.13.3 Desenvolvimento do número de risco .....	32
2.13.4 Dimensões do Painel de Segurança (placa laranja) .....	32
2.13.5 Painel de Segurança .....	36
2.14 Classe de Risco 2 – Gases .....	37
2.15 Classe de Risco 3 – Líquidos Inflamáveis .....	39
2.16 Subclasse de Risco 4 – Sólidos Inflamáveis .....	41
2.16.1 Subclasse de Risco 4.1 .....	42
2.16.2 Subclasse de Risco 4.2 .....	42
2.16.3 Subclasse de Risco 4.3 .....	43
2.17 Subclasse de Risco 5.1 – Substâncias Oxidantes .....	45
2.18 Subclasses de Risco 6.1 e 6.2 – Substâncias tóxicas e oxidantes.	46
2.19 Classe de Risco 7 – Substâncias Radioativas .....	49
2.20 Classe de Risco 8 – Substâncias Corrosivas .....	50
2.21 Classe de Risco 9 – Outras Substâncias Diversas .....	53
<b>CAPITULO 3: ESTUDO DE CASOS .....</b>	<b>56</b>
3.1 Interpretando Transporte de Explosivos .....	56
3.1.1 Transporte de Explosivos Químicos situação temerária .....	59
3.2 Transporte de Bissulfeto de Carbono .....	63
3.2.1 Bissulfeto de Carbono no AR .....	63
3.2.2 Especificações do Bissulfeto de Carbono .....	68
3.2.3 Propriedades do Bissulfeto de Carbono.....	68
3.3.4 Estabilidade do Bissulfeto de Carbono.....	68

3.2.5 Incompatibilidade do Bissulfeto de Carbono .....	69
3.2.6 Ecologicamente o CS <sub>2</sub> .....	69
3.3 Transporte de Materiais Poliméricos.....	73
3.3.2 O efeito das impurezas.....	79
3.3.3 Inibidores.....	79
3.3.4 Avaliação dos Riscos subsidiários.....	83
3.3.5 Toxicidade (definição) .....	84
3.4 Transporte de Resíduos Químicos.....	85
3.5 Fichas de Segurança.....	90
3.5.1 Roteiro de Ficha de Segurança para formaldeído.....	90
3.5.2 Objetivos das Simulações e Ensaios.....	97
3.5.3 Potencial de Impacto Ambiental .....	98
3.5.4 Controle dos Vapores – uma situação complexa.....	99
3.6 Aplicação das Faixas de Frases de Riscos.....	99

**CAPITULO 4: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 100**

4.1 Conclusões.....	100
4.2 Recomendações Para Próximos Trabalhos .....	101
Referências Bibliográficas.....	103

Anexo (Artigo científico Os Riscos no Transporte de Substâncias Químicas

Perigosas.

Apêndice A – (Exposição dos números de risco)

Apêndice B – (Modelo sugerido para divulgação dos riscos a pessoas comuns).

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Modelo de Rótulo de Risco .....	28
Figura 2 – Símbolo de Risco Explosivos subclasses 1.1 1.2 e 1.3.....	29
Figura 3 – Símbolo de Risco Explosivos subclasse 1.4.....	30
Figura 4 – Símbolo de Risco Explosivos subclasse 1.5.....	30

Figura 5 – Símbolo de Risco Explosivos subclasse 1.6.....	31
Figura 6 – Painel de Segurança para misturas à base de diclorodiflourmetano.....	32
Figura 7 – Painel de Segurança Explosivo de Demolição E.....	36
Figura 8 – Faixas de Frases de Risco para Explosivo de Demolição E.....	36
Figura 9 – Rótulo de Risco Gás Inflamável.....	37
Figura 10 – Rótulo de Risco Gás Não Inflamável.....	37
Figura 11 – Rótulo de Risco Líquido Inflamável.....	38
Figura 12 – Rótulo de Risco de Gás Tóxico.....	38
Figura 13 – Painel de Segurança para transporte de gases inflamáveis, tóxicos, comprimidos ou liquefeitos.....	39
Figura 14 – Faixa de Frases de Riscos para transporte de gases inflamáveis, tóxicos, comprimidos ou liquefeitos.....	39
Figura 15 – Rotulo de Risco Líquido Inflamável.....	40
Figura 16 – Rótulo de Risco Aplicado no Transporte de Gás Inflamável.....	40
Figura 17 – Painel de Segurança Aplicado no Transporte de Bissulfeto de Carbono.....	40
Figura 18 – Faixa de Frases de Riscos para o Transporte de Bissulfeto de Carbono.....	41
Figura 19 – Rótulo de Risco para sólido inflamável subclasse 4.1.....	42
Figura 20 – Rótulo de Risco (Sólido Combustão Espontânea) Subclasse-4.2.....	42.
Figura 21 – Rótulo de Risco (Sólido Perigoso Quando molhado) subclasse 4.3.....	43
Figura 22 – Rótulo de Risco (incompatível quando Molhado) subclasse 4.3.....	43
Figura 23 – Painel de Segurança (aplicação no transporte	

de metais alcalinos, dispersões ou metais alcalinos não terrosos, dispersões) .....	44
Figura 24 – Faixa de Frases de Riscos (transporte de metais alcalinos, dispersões ou metais alcalinos não terrosos, dispersões) .....	44
Figura 25 – Rótulo de Risco Substâncias Oxidantes subclasse de risco 5.1.....	45
Figura 26 – Rótulo de Risco classe 8 corrosivo.....	45
Figura 27 – Painel de Segurança para transporte de Peróxido de Hidrogênio estabilizado ou Soluções de Peróxido de Hidrogênio (estabilizadas com sais de 60% de Peróxido de Hidrogênio) .....	46
Figura 28 – Faixa de Frases de Riscos para Transporte de Solução Peróxido de Hidrogênio, Estabilizada ou soluções de Peróxidos de Hidrogênio (estabilizadas com sais de 60% de Peróxido de Hidrogênio).....	46
Figura 29 – Rótulo de Risco Subclasse 6.1 Tóxico.....	47
Figura 30 – Painel de Segurança para o transporte de Ferropentacarbonila.....	47
Figura 31 – Faixa de Frases de Riscos para transporte de Ferropentacarbonila.....	47
Figura 32 – Rótulo de Risco subclasse 6.2 Infectante.....	48
Figura 33 – Painel de Segurança para transporte de substâncias infectantes humanas.....	48
Figura 34 – Faixa de Frases de Riscos para transporte de substâncias infectantes humanas.....	48
Figura 35 – Rótulo de Risco classe 7 – Material radioativo.....	50
Figura 36 – Painel de Segurança para o Transporte de Nitrato de Tório Sólido.....	50
Figura 37 – Faixa de Frases de Riscos para transporte de Nitrato	

de Tório Líquido.....	50
Figura 38 – Rótulo de Risco Substância Corrosiva.....	51
Figura 39 – Rótulo de Risco para Substâncias Químicas Oxidantes.....	51
Figura 40 – Painel de Segurança para transporte de Ácido Nítrico Fumegante.....	52
Figura 41 – Faixa de Frases de Riscos para Transporte de ácido nítrico fumegante.....	52
Figura 42 – Rótulo de Risco classe 9 – substâncias diversas.....	53
Figura 43 – Painel de Segurança Aplicado no Transporte de Substâncias Diversas.....	53
Figura 44 – Sinalização Traseira Unidade de Transporte de Explosivos Químicos.....	60
Figura 45 – Sinalização Lateral Unidade de Transporte de Explosivos Químicos.....	61
Figura 46 – Sinalização Frontal Unidade de Transporte de Explosivos Químicos.....	62
Figura 47 – Sinalização Traseira Unidade de Transporte de Bissulfeto de Carbono (CS <sub>2</sub> ) .....	70
Figura 48 – Sinalização Lateral Unidade de Transporte de Bissulfeto de Carbono (CS <sub>2</sub> ) .....	71
Figura 49 – Sinalização Frontal Unidade de Transporte de Bissulfeto de Carbono (CS <sub>2</sub> ).....	72
Figura 50 – Estrutura de Átomos de Ligações simples e duplas para átomos de Carbono e Hidrogênio.....	73
Figura 51 – Estrutura de Propileno (exemplo de hidrocarboneto não-saturado).....	74
Figura 52 – Conjunto de Identificação de riscos no transporte de propileno.....	75
Figura 53 – Faixa de Frases de Risco para o transporte de	

Propileno.....	76
Figura 54 – Painel de Segurança+Rótulo de Risco para transporte de acrilato de butila.....	81
Figura 55 – Rótulo de Risco HARMFUL.....	82
Figura 56 – Faixa de Frases de Riscos para transporte de Acrilato de Butila.....	83
Figura 57 – Conjunto de Identificação de Riscos para transporte de Resíduos Químicos Industriais.....	89
Figura 58 – Faixa de Frases de Risco para Transporte de resíduos químicos industriais.....	97
Figura 59 – Rótulos de Risco+Painel de Segurança para transporte de formaldeído.....	97

#### **LISTA DE QUADROS.**

Tabela de Monitoramento de propagação de detonação .....	58
Concentração / efeitos do bissulfeto de carbono (CS <sub>2</sub> ) .....	65
Conseqüência de sulfeto de carbono (CS <sub>2</sub> ) no ar.....	65
Especificações de bissulfeto de carbono (CS <sub>2</sub> ) .....	68
Propriedades do bissulfeto de carbono.....	68
Propriedades do acrilato de butila.....	82
Matriz de aplicação de rótulos de riscos subsidiários .....	84
Classificação (administração p/ via oral contato dérmico, inalação)	84

#### **CITAÇÕES**

Relação do Transporte com a Logística – Bowersox 1989.....	11
Conceito de Produtos Controlados – Ministério da Defesa Exército Brasileiro.....	16
Definição de Produtos Controlados Dissertação de Mestrado FEQ-UNICAMP – Jerônimo A C 2007.....	16

## **EQUAÇÕES**

Ponto de Fusão – Gibbs.....	19
Temperatura de vaporização – Clausius-Clapeyron.....	20
Equação de Kelvin .....	21
Lei de Boyle.....	21
Cálculo do Índice de Evaporação – Clausius-Clapeyron.....	20
Cálculo da Distância de Segurança Explosivos Químicos	
Du Pont.....	57

## INTRODUÇÃO

Neste trabalho propõe-se discutir sobre o transporte de substâncias químicas perigosas. É comum observarmos uma infinidade de caminhões de transporte trafegando em localidades diversas, com substâncias químicas perigosas como se fossem produtos comuns, assim como aqueles que não representam riscos. Por outro lado às pessoas e o meio em que vivem se agrega a isso o que, a primeira vista se transforma num assunto de solução complexa. Discursar sobre o assunto foi possível por entender que os regulamentos que prescrevem estas atividades precisam ser melhores utilizados e melhorados. O objetivo é mostrar que o ambiente estaria menos exposto a riscos não fosse o pouco discernimento no gerenciamento dos transportes das substâncias químicas perigosas, mesmo no plano de atenção aos regulamentos e legislações vigentes no Brasil e no mundo. O conjunto de implicações aqui expostas poderá ser mais um nicho para otimizar a atenção para o assunto, que se caracterizará melhor no decorrer da exposição. Inicialmente o tema poderá não ser tão interessante para aqueles que não lidam com esse tipo de atividade, mas a partir do momento da “assimilação” de que a questão é a exposição a perigos é, nesse sentido, que conseguiremos remover o pensamento de “assunto complexo”, que não é tão complexo, se tomarmos algumas ações prévias.

As operações de transporte de substâncias químicas perigosas não são extensamente discutidas como as operações de manuseio no interior de uma fábrica e atentando para isso alguns podem entender isso como um assunto temerário para

uma dissertação de mestrado. Entretanto quando se tem uma experiência de mais duas décadas na logística de processos de produção industrial mais voltada para indústria petroquímica é fácil notar na prática que uma operação de transporte de substâncias químicas perigosas não é gerenciada como “uma operação focalizada no processo”. É uma situação de fácil solução? Não é. Então, ao invés de se limitar a gerenciar o transporte de substâncias químicas perigosas apenas nos limites dos regulamentos oficiais não se pode informar mais sobre os potenciais de risco? Sobre estas indagações, antes de prosseguir, parece oportuno respondê-las.

Quando se referencia “uma operação focalizada no processo” refere-se a decisões na programação de chão de fábrica onde se determina uma seqüência na qual os produtos são processados em cada centro de trabalho; onde o processamento de um produto pode ser atribuído a diversas máquinas e centros de trabalho, onde se determina a qual máquina determinada matéria prima é atribuída. No transporte de substâncias químicas perigosas fracionadas é comum atribuírem-se produtos químicos de diferentes características físico-químicas e riscos a uma mesma unidade de transporte; em situações assim determinar o nível de risco é praticamente impossível, pois não há simbologias e painéis de segurança com capacidade para identificar uma miscelânea de produtos químicos de classes e subclasses de risco diversas transportadas ao mesmo tempo numa só unidade de transporte. É claro que, situações assim de maior ou menor grau contém uma gama de restrições de difícil solução e porque não dizer de impossível julgamento mesmo pelos órgãos fiscalizadores. E, confrontados com a complexidade, a não abrangência das normas e regulamentos existentes nos motiva a criar alternativas para ajudar a solucionar esses problemas.

Não se pode limitar a interpretação dos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas, apenas no que prescrevem os regulamentos vigentes uma vez que, é possível gerar mais e mais dados. A proposta é uma atividade permanente de análises de laboratório, simulações conjuntas com outras matérias com objetivo de determinar características físico-químicas de quaisquer substâncias químicas, cujos dados obtidos servirão de base para a formação dos números, classe, subclasse, e grupo de risco.

O desafio de encontrar meios seguros é certamente um motivo para motivar aqueles que têm como objetivo enriquecer seus conhecimentos para assimilar e gerenciar um processo tão complexo, mas cheio de alternativas. A apresentação de alternativas capazes de resolver as dificuldades tradicionalmente encontradas nos processos de transporte de substâncias químicas perigosas será sempre bem aceito pela sociedade.

Infelizmente, parte das grandes a maior parte das pequenas corporações, deste segmento não estimula a criação de meios na criação de sistemas de controle no transporte de substâncias químicas perigosas porque o peso econômico influencia nos resultados dos lucros. Relacionando lucro com as questões de meio ambiente é possível afirmar que a preocupação geral se restringe ao agora ignorando o crescente problema que virá no futuro. Embora disposto em algumas páginas, o escopo do transporte de substâncias químicas perigosas é imenso, cobrindo em maior ou menor nível o horizonte dos problemas tradicionais inerentes ao transporte de substâncias químicas perigosas. A partir daqui pode-se abrir um campo de pesquisas tão amplo e variado que poderá ser de grande utilidade nas tentativas de abranger um plano de melhoria contínua, especialmente porque,

apesar da complexidade do problema, a implementação de novos procedimentos de controle diminuirá a exposição aos riscos.

Quando se vê na complexidade um problema e uma meta não alcançável então estaremos aproximando mais e mais do “boom” do problema. Os ensaios de laboratório são atividades relevantes a serem consideradas na geração de dados para avaliação dos riscos. Uma possibilidade viável é explorar as experiências nos laboratórios de controle de processo, examinando as características das matérias primas e dos produtos processados com elas, examinando os resultados se aprende a reformular e desenvolver alternativas de redução de riscos. Por exemplo, pode-se examinar qual o grau de risco do sulfato de alumínio quando manuseado dentro da fábrica.

Em todos esses exemplos, o transporte de substâncias químicas perigosas pode ser tomado como passível de aperfeiçoamento com perspectivas de melhorias contínuas. Um grande número de corporações do segmento petroquímico já desenvolve programas de busca de melhorias contínuas nas operações de substâncias químicas perigosas. Há políticas corporativas que relacionam o controle dos riscos a responsabilidade social e outras ao marketing da imagem. Além disso, como as empresas exercem um impacto significativo na forma pela qual influenciam, também são responsáveis por ajudar a manter e melhorar o bem-estar geral da sociedade.

Ao lado dessas abordagens cabe citar que são muitos os cuidados para prevenção de impactos ambientais no transporte de substâncias químicas perigosas. Porém, nunca é demais a criação de mais um meio viável para minimizar as oportunidades de falha para atingir os objetivos necessários, nesse sentido, é possível identificar ainda abordagem sistemática, que concebe o texto

direcionar para a identificação dos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas.

Como os objetivos para cada função se tornam claramente mensuráveis, neste trabalho o objetivo é substituir a intuição: mensurabilidade dos indicadores ao invés de uma avaliação subjetiva. Conhecendo esses princípios básicos o que se faz é estruturado pelo que se quer alcançar. Assim, será possível iniciar uma série de ações planejadas e positivas ao invés de meramente reagir aos eventos envolvendo substâncias químicas perigosas à medida que eles ocorrem, a fim de resolver de imediato um problema.

Para alguns pode até não haver nada de novo nesta abordagem no sistema de transporte de substâncias químicas perigosas, ou da importância desse assunto. O que há de relativamente novo é a tentativa de aplicar esta idéia básica de maneira que funcione de forma simples e flexível em um sistema altamente complexo.

Estes breves indicadores de algumas maneiras pelas quais se podem buscar alternativas permitem o entendimento para o transporte de substâncias químicas perigosas, foram estruturados no sentido do que deve ser feito, ao invés de como deve ser feito, o sistema deve motivar o surgimento de idéias criativas sobre soluções, o que é sem dúvida uma coisa muito valiosa para o engenheiro químico nas suas atividades de gerenciamento de processos químicos.

Regulamentos, tais como o decreto lei 2.063 de 6 de outubro de 1983 e decreto número 96.044 de 1988 e portaria 291 de 31 de maio de 1988 regulamentam o transporte de materiais perigosos no Brasil. São regulamentos específicos que embora

precisem ser melhorados enfatizam fortemente o que deve ser feito, poderá parecer que a identificação dos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas tem sua importância diminuída. Aqui as abordagens são restritas e devem corresponder, como indicadores de revisão e aperfeiçoamento. Não se tentou substituir os regulamentos em vigor, entretanto as afirmações expostas proporcionarão maior grau de liberdade na criação de bancos de dados para execução de planos de transporte de substâncias químicas perigosas. Após muitos anos de atenção com processos de transporte de substâncias químicas, se conclui que o potencial de riscos já bastante conhecido, mas diante da “complexidade” da questão é interessante propor medidas que facilitem as ações diante deles.

O texto foi dividido em capítulos. No primeiro capítulo abrange aspectos introdutórios e nele se procura passar uma visão geral para justificar a posição em relação ao sistema de transporte de substâncias químicas perigosas.

O segundo e terceiro capítulos constituem o teor do trabalho, e neles são expostas idéias sobre transporte de substâncias químicas perigosas. Mostra-se que são necessárias revisões e aperfeiçoamentos nos regulamentos formais em relação a facilitar a interpretação dos riscos agregando informações às apresentadas os regulamentos formais, e mais ainda, discernindo a importância do sistema será possível resolver algumas dificuldades com as quais se deparam no dia a dia os gerenciadores de processos químicos.

O quarto e último capítulo reserva-se para as conclusões e recomendações.

As referências bibliográficas foram poucas, pois não atingem o grande número de relatórios operacionais lidos e relidos ao longo das duas décadas de trabalho na logística de processos químicos. O objetivo é apresentar mais uma forma de interpretação sob o ponto de vista de que têm base em atividades práticas desprezando as controvérsias e polêmicas muito comuns nas atividades de transporte de substâncias químicas perigosas.

## **CAPTULO 1: TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS.**

1.1 Considerações sobre o transporte de substâncias químicas perigosas.

Naturalmente, faz parte de qualquer cadeia de suprimentos o transporte de matérias primas e produtos acabados. No entanto, em função das diferentes categorias genéricas dos materiais, não é possível utilizar um mesmo critério para transportar todos os tipos de materiais. As substâncias químicas perigosas inserem-se numa categoria especial requerendo caracterizações específicas em relação aos materiais, equipamentos e informações das substâncias químicas que serão transportadas.

As substâncias químicas estão envolvidas em todas as fases de nossa vida, como resultados de alguma atividade envolvida com essas substâncias. Uma operação de transporte de substâncias químicas perigosas pode não ser considerada atividade científica, mas está relacionada a ela. A logística de movimentação de substâncias químicas faz parte de uma variedade de atividades executadas com objetivo comum de gerenciar a produção de bens de consumo, os custos e a disponibilidade desses bens, envolvem indústria, navios de carga, transporte ferroviário, terminais portuários, empresas de transporte rodoviário e indivíduos que executam as atividades relacionadas ao manuseio e movimentação de substâncias químicas perigosas. O processo de transporte esta indiscutivelmente ligado à cadeia de suprimentos e esta, por sua vez, ligada com a logística, cuja preocupação é o modo pelo qual a administração pode prover melhores cuidados nos serviços de distribuição aos consumidores,

através do desenvolvimento de conceitos e métodos de transporte de substâncias químicas, organização e controle efetivo para a atividade de movimentação e acondicionamento, visando otimizar e facilitar o fluxo de transporte de substâncias químicas perigosas com segurança.

Grande parte das corporações do ramo química esta conscientizada para o fato de que a administração de seus produtos é de sua responsabilidade e constitui uma parte integrante no setor de produtos químicos e especialidades, onde quer que seja que esses produtos estejam sendo produzidos, transportados, armazenados, vendidos e usados, é claro que o transporte é parte integrante do processo e o gerenciamento é complexo quando as substâncias estão trafegando fora do chão de fábrica. Para padronizar esse tipo de controle as indústrias químicas se associaram sob o título *“RESPONSIBLE CARE”* a *“CMA – CHEMICAL MANUFACTURERS”*, no Brasil representada pela *ABIQUIM - Associação Brasileira de Indústrias Químicas*.

O tempo e o espaço associam-se à necessidade de transportes efetivos, porém, o transporte é uma consideração entre outras em um sistema de logística. As condições de tempo e disponibilidade de lugar naturalmente são atingidas por diversos fatores assim como a provisão de matéria-prima, localização geográfica onde essas matérias-primas se encontram. No caso das substâncias químicas, a avaliação das características físico-químicas, tipo de equipamentos de transporte, estabelecimento de rotas de tráfego, etc. Todos esses fatores representam uma necessidade na criação de banco de informações precisas para serem utilizadas no preparo do material para transporte, responder a questionamentos da comunidade e órgãos fiscalizadores e

incidentes ou acidentes no transporte de substâncias químicas perigosas.

A característica do transporte de substâncias químicas perigosas requer dos gerenciadores da cadeia de suprimentos conhecimentos apurados das suas próprias necessidades do tempo, capacidade técnica das empresas de transporte que será contratada, região geográfica por onde trafegam as substâncias químicas perigosas, planilha de custos das empresas de transporte, capacidade do seu pessoal de produção para aplicação de treinamento as partes envolvidas. A necessidade desses conhecimentos se explica pelo fato de que em muitas situações mercadológicas, relacionadas a substâncias químicas perigosas, os custos de transporte constituem um fator de peso no fechamento de um negócio em função das condições diferenciadas para transportar substâncias químicas perigosas. Num processo, muitas vezes, o transporte de tais substâncias pode tornar-se uma restrição, ao invés de ser um indicador de qual a atividade seguir.

Para qualquer produto uma área de decisão dentro da logística é a determinação da modalidade de transporte para embarcar os materiais do fabricante para as partes envolvidas no processo de produção e, depois, para os consumidores. Quase sempre os negociadores se baseiam no preço mais baixo, sem observar as condições peculiares ao transporte de substâncias químicas perigosas. Não se pode classificar isso como uma restrição e sim como um fator de risco, pois em caso de acidente a responsabilidade pelos danos causados será inteiramente do contratante dos serviços para o transporte da substância química

perigosa transportada, sem contar os impactos ao meio ambiente cuja definição de responsabilidade é ambígua.

Ações responsáveis significam metas de melhorias contínuas no desempenho dos processos químicos em relação à segurança, saúde e meio ambiente com objetivo de elevar a confiança e respeito do público na indústria química e nos produtos criados ela. Quero dizer com isso que as operações de transporte, no decorrer do trajeto estão irremediavelmente expostas ao poder de percepção pública, devendo as partes envolvidas com essas substâncias químicas formar comitês de percepção do público.

Ao longo de duas décadas exercendo atividades na logística de transporte de substâncias químicas perigosas, vem à mente questionar sobre o desempenho dos sistemas de transporte de produtos químicos em geral. No Brasil as condições das rodovias, idade média da frota, capacitação dos condutores de veículos de carga, são responsáveis por uma série de acidentes envolvendo substâncias químicas perigosas. Tradicionalmente as negociações são focalizadas mais nas questões de custeio e delas remanescem métodos arbitrários para alocação de custos e, portanto ignorar os cuidados especiais com o transporte de substâncias químicas perigosas.

Em grande número de negociações onde não se admite transportar produtos para uso humano e animal em embalagens ou vasos destinados ao transporte de substâncias químicas sejam elas perigosas ou não; as ações práticas se contrastam com isso por conta de métodos arbitrários para alocação de custos. Sob este aspecto, grande parte dos empresários de transporte acredita que após fazer a descontaminação das embalagens ou os vasos

podem utilizá-los no transporte de alimentos como óleos comestíveis, por exemplo. Sob o ponto de vista dos empresários para operar com custo mais baixo é necessário utilizar a unidade de transporte em cargas de retorno, isto é o preço contratado releva que sua unidade de transporte irá carregada e retornará carregada.

Os critérios de gerenciamento dos sistemas de transporte requerem conceitos orientados para o fluxo, com objetivo de integrar os recursos ao longo de todo o trajeto compreendido entre os pontos de carregamento e os pontos de aplicação dos produtos químicos perigosos. É claro que cada corporação tem uma forma de avaliar os custos e desempenho do fluxo. Esses critérios relevam os custos como prioridade e nem sempre atendem aos cuidados mínimos necessários para atender as exigências no transporte de produtos químicos perigosos.

Por suposição, a falta de uma conscientização sobre as características físico-químicas das substâncias químicas ou até o baixo poder de discernimento dos riscos que elas representam leva o gerenciamento dos custos a sobrepor-se sobre esses riscos. Não é uma situação de fácil resolução se relevarmos que os custos têm uma relação profunda com a competitividade e nesse caso a questão dos riscos é relegado para segundo plano. O fato é que os inúmeros casos de acidentes envolvendo substâncias químicas perigosas têm elevado o poder de percepção do público em relação ao meio ambiente e o aumento constante do comercio internacional, por outro lado o desenvolvimento acelerado das comunicações mundiais, a fluidez com que se movimenta o capital pelos continentes, vem requerendo oferta de produtos de custo baixo, qualidade e rápida

entrega. Tais situações vêm forçando as empresas a procurarem soluções globais para seus produtos químicos por onde eles transitam.

Nos pequenos volumes onde o transporte é fracionado o sistema de consolidação de cargas a falta de critério na avaliação da compatibilidade das substâncias químicas são fortes indicadores de risco. Obviamente é vedado o transporte de substâncias químicas perigosas com animais, alimentos, medicamentos para consumo humano ou animal e até embalagens vazias destinadas a estes fins, mas em função dos critérios arbitrários utilizados no custeio de transporte as operações de transporte para este fim se transformam num fator crítico de risco.

Discernir compatibilidade é entender quando duas ou mais substâncias ou produtos apresentam potencial de ocorrer explosão, desprendimento de chamas ou calor, formação de gases, vapores, compostos ou misturas perigosas, bem como alterações das características físico-químicas originais de qualquer das substâncias ou produtos transportados, se postos em contato entre si, seja por vazamento, ruptura em embalagens, ou outra causa qualquer.

O conhecimento do tipo de risco que uma substância química representa é um indicador importante na identificação de compatibilidade, o que será necessário na consolidação das cargas de substâncias químicas diversas. Sobre este aspecto, podemos definir risco como o potencial que uma substância química tem em causar danos à segurança, saúde e meio

ambiente. Os riscos podem ser agrupados nas três classes a seguir:

- 1 Risco físico: relaciona-se a inflamabilidade e explosão.
- 2 Risco a saúde: relaciona-se à toxicidade aguda e crônica.
- 3 Risco ambiental: relaciona-se à toxicologia.

Caracterizar riscos é avaliar e determinar danos à segurança, saúde e meio ambiente em caso de acidente envolvendo substâncias químicas perigosas. Esse processo requer formação técnica adquirida em escolas especializadas para permitir um julgamento profissional e responsável seja quantitativo ou qualitativo e é claro sensível a reação do público. No decorrer das operações de transporte deverá ser assimilada a exposição ao potencial de risco que a substância química apresenta quando em contato com pessoas, animais, plantas ou meio ambiente, incluindo água, solo e ar.

O fato de focalizar este trabalho para o transporte de substâncias químicas perigosas parece oportuno deixar claro o que são os riscos, porque é através do conhecimento desses riscos que será possível preparar planos de transporte de substâncias químicas perigosas. No teor deste trabalho, uma das substâncias discutidas no capítulo 3, estudo de casos foi o bissulfeto e carbono, fórmula molecular  $CS_2$ , por tratar-se de uma substância química líquida altamente inflamável, volátil, com risco de liberação de vapor ou gás a baixa temperatura, fenômeno que caracteriza baixo “ponto de fulgor”, poder elevado de explosividade e baixa temperatura de ignição, bons exemplos para

ser utilizados na elaboração de um plano de caracterização de substância química perigosa.

Também parece oportuno fazer uma exposição de estudo de caso com objetivo de melhorar a compreensão dos níveis de risco, o sistema de identificação desses riscos na unidade de transporte sinalizada de acordo com a regulamentação oficial e como o poder de percepção do público se porta em relação à simbologia e número de risco afixados na unidade de transporte.

No capítulo seguinte recomendá-se a aplicação de faixas ou placas com frases de segurança, além dos rótulos e painéis hoje ativos na sinalização de equipamentos de transporte de substâncias químicas perigosas. Das placas ou faixas recomendadas, espera-se discussões amplas, pois muitos irão de perguntar: porque ainda, a necessidade de acrescentá-las à quantidade de exigências já ativas no transporte de substâncias químicas perigosas? Isso é esperado porque, em maior ou menor grau, todo assunto inerente à substância química perigosa contém questões profundas, principalmente porque se contrapõe a interesses econômicos.

Para fazer propaganda, talvez por causa da visibilidade para os consumidores, as carrocerias e furgões são utilizados como verdadeiros cartazes para divulgar os produtos que transportam. Mesmo assim, com esse tipo de propaganda, a retro-informação ainda acontece lentamente e esse grau de lentidão aumenta em relação aos rótulos e painéis utilizados no transporte das substâncias químicas perigosas.

Não se pode afirmar que aplicando faixas ou placas contendo frases de segurança nas unidades que transportam substâncias químicas perigosas resolverão definitivamente o problema de interpretação dos riscos, mas representa uma alternativa viável a busca de melhorar a interpretação dos riscos potenciais no decorrer das operações de transporte de substâncias químicas perigosas.

A exposição de técnicas de transporte de algumas substâncias químicas perigosas nos capítulos que se seguem é uma contribuição no sentido de facilitar a interpretação dos riscos do dia-a-dia nas operações de transporte de substâncias químicas perigosas.

## **CAPITULO 2: PREVENÇÃO DE RISCOS.**

### 2.1 O referencial de prevenção aos riscos.

A prevenção aos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas, por suas características especiais, requer ações adicionais focalizadas no preparo específico das partes envolvidas com as operações de transporte. Neste capítulo faz-se uma exposição dos modelos aplicados nos transportes de substâncias químicas perigosas assim como breves informações dos métodos de avaliação, definição dos riscos e aplicação dos métodos de sinalização.

O que há de interessante no que se segue são as exposições sobre riscos como meio de chamar a atenção dos engenheiros químicos, gerenciadores de processos sobre o fato de que o êxito na condução dos processos de transporte de substâncias químicas requer responsabilidades no desempenho de certas atribuições tais como:

- Conscientização das partes envolvidas, proporcionando-lhe orientações específicas sobre prevenção dos riscos.
- Condições especiais para movimentar substâncias produtos químicas perigosas.
- Trabalho conforme preceitos de higiene, medicina e segurança do trabalho.

Independentemente desses conceitos, de forma lógica à qualificação profissional é irremediavelmente necessária, porque não se concebe a inserção de operadores de transporte de produtos químicos perigosos sem preparo prévio.

Os técnicos e profissionais envolvidos em processos químicos, além de suas atividades no processo de produção não devem exaurir-se

das responsabilidades em relação à exposição dos riscos que as substâncias químicas que formulam representam, quando circulam fora da fábrica. Isto deve ser de tal importância para as corporações produtoras de substâncias químicas que a organização deve dispor de planos para uma atuação responsável. A criação de planos de prevenção e atendimento a emergências além de ser um indicador de melhoria no desempenho nas corporações do segmento petroquímico eleva o respeito público na indústria química.

Genericamente o transporte se relaciona de forma direta com a logística, denominação dada pelos gregos à parte da aritmética e da álgebra concernente as quatro operações e ainda filosoficamente o conjunto de algoritmos aplicado à lógica. *“É a ciência do raciocínio correto que utiliza meios matemáticos” BOWERSOX 1989.* Neste trabalho, entretanto, o conceito está mais relacionado a projetos de desenvolvimento de planos de prevenção nas operações de transporte e distribuição. Então num projeto ou processo de transporte de substâncias químicas é útil identificar as categorias genéricas do produto. Por exemplo, materiais e equipamentos agregados aos materiais químicos devem ser correlacionados com o processo. As informações das substâncias químicas processadas e outros planos relacionados devem ser agregados aos planos de atendimento a emergência, preparo prévio do pessoal envolvido nas operações de transporte e outros eventos.

As categorias genéricas de produto abrangem todos os tipos de produtos fornecidos pelas organizações e nas substâncias químicas perigosas os materiais, equipamentos, serviços são itens que estão envolvidos de forma direta com o processo de transporte.

Pode-se classificar um plano de prevenção de riscos eficiente quando ele facilita a identificação das questões de segurança, saúde e meio ambiente e responde a percepção do público.

Algumas das exposições podem ser extensas e complexas, entretanto a função é condensar informações, organizá-las em blocos-chave e discutir áreas de interesse ou questões, visando sempre uma melhoria contínua. Quaisquer informações expostas neste trabalho podem ser modificadas, combinadas, atualizadas, melhoradas de acordo com a evolução dos sistemas de transporte das substâncias químicas perigosas. As exposições sobre prevenção de risco têm o propósito de atrair a atenção de todos por sua própria natureza, ninguém deve se colocar na defensiva sobre elas, pelo contrário, deve usar as informações aqui expostas para melhorar o entendimento do assunto ou melhorar o entendimento sobre as questões potenciais de risco no transporte de substâncias químicas perigosas. Sob este ponto de vista o propósito é chamar a atenção para as questões de segurança, saúde e Meio Ambiente e orientar quanto a esforço das partes envolvidas nestas causas.

2.2 Sobre as utilidades das substâncias químicas perigosas, começar-se-á com os explosivos químicos. No mundo, pode-se afirmar que o consumo é de grande utilidade. No Brasil, país de grande extensão territorial é natural à demanda de construções espalhadas por todos os Estados da Federação. A produção de explosivos é distribuída assim: 1/3 nas construções em geral, 1/3 nas minerações e demais construções como hidroelétricas, estradas, aberturas de túneis e outras necessidades.

Hoje em dia é uma realidade incontestável a expansão urbana em direção a suas periferias. O número de construções cresce e em muitas regiões os bairros residenciais e instalações empresariais ficam mais

próximos a pedreiras e minerações. Em outras épocas essas áreas de atividades ficavam em áreas isoladas.

Diante desta situação, naturalmente o transporte de explosivos químicos acontece nessas áreas e isso influencia o potencial de exposição aos riscos. Naturalmente os explosivos químicos têm inúmeras utilidades e também são partes integrantes do processo de transporte de substâncias químicas perigosas.

Por exemplo, a extração de ferro, metal de maior consumo no mundo usa explosivos químicos. No Brasil, as jazidas dessa natureza estão concentradas, nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Mato Grosso, Paraná, Pará, São Paulo, Ceará e Santa Catarina, maior parte no Estado de Minas Gerais. O volume de explosivos químicos transportados representa milhares de toneladas, cujo tráfego em maior volume acontece através das rodovias.

A primeira vista, o transporte de explosivos químicos representa um potencial alto de risco é verdade, entretanto a estabilidade química e o sistema de prevenção a risco, monitorado pelo Ministério da Defesa (Exército) são rígidos. Então o que poderia representar uma desvantagem, não representa porque usa as categorias genéricas do produto efetivamente.

Na preparação de planos de prevenção aos riscos dos explosivos químicos para transporte, as propriedades físico-químicas são indicadores importantes. Nesse sentido é importante fazer uma exposição sobre elas não somente relacionadas a explosivos químicos mais com outras substâncias químicas.

Força – nos explosivos químicos a força significa o conteúdo de energia que um explosivo químico apresentada como indicador da potência desenvolvível e a capacidade de realizar trabalho. Usualmente medida pela expansão de uma cavidade (“bloco de Trauzl”, desenvolvido por Isidor Trauzl em 1885), resulta da soma dos efeitos de Brisância e expansão dos gases de combustão. Explosivos do tipo RDX e ANFO possuem blocos de Trauzl equivalentes, mas o efeito de fragmentação do RDX é muito mais pronunciado. Na preparação de planos de transporte estas propriedades são importantes porque quantifica o raio da área a ser afetada em caso de acidente.

Densidade – no caso da densidade, medida pelo número de cartuchos contido numa embalagem de explosivos é possível quantificar a extensão dos estragos pelo volume em caso de acidentes no transporte. Estudos feitos durante anos pelo comitê de especialistas no transporte de materiais perigosos das Nações Unidas concluíram que a vibração, característica do meio de transporte de explosivos sólidos, pode causar uma distribuição na densidade gravimétrica inicial do explosivo com um gradiente relativo ao desgaste das embalagens quando partículas das substâncias formam pós que ativam quimicamente micro-superfícies provocando deslocamentos, estratificação de partículas de diferentes mudanças de porosidade permitindo a penetração de gás nas características físico-químicas das substâncias que estão sendo transportadas no caso de ignição não programada.

Sensibilidade – é a medida do poder de propagação, uma resposta a diversos estímulos externos. Tendendo a ignição e ocasionando decomposição por meio de deflagração ou detonação. Tanto na arrumação da carga como no emprego do material numa aplicação específica, sob o ponto de vista de segurança, a sensibilidade

do explosivo químico é um fator a ser considerado nas operações de transporte.

Velocidade de detonação – medição, em metros por segundo, da rapidez com que a onda de detonação se propaga através da coluna de explosivo. Taxa da propagação da razão de detonação através do material explosivo. Está relacionada a Brisância.

Efeito da velocidade – a velocidade dos explosivos atinge até 8000 metros por segundo. À medida que a velocidade aumenta, o explosivo químico geralmente produz maior efeito de fragmentação em materiais duros. A densidade também afeta o efeito de fragmentação, de modo que todas as três propriedades devem ser consideradas na preparação do plano de transporte.

Inflamabilidade – se refere à facilidade com que o material pode ser queimado. No caso dos explosivos químicos varia desde que alguns tipos que entram facilmente em ignição e queimam de forma violenta até que não mantêm a combustão, a menos que lhes seja aplicada continuamente uma chama externa. As emulsões explosivas são de difícil ignição por chamas porque a fração aquosa “esfria” a massa.

Avaliações da inflamabilidade e explosividade durante o transporte de substâncias da classe 1 são necessários e podem ser obtidas de ensaios e pesquisas com objetivo de estabelecer a situação inicial de decomposição química até o ponto de fulgor influenciado pela vibração e, como resultado, dessa vibração nos parâmetros críticos da propagação da massa explosiva.

Gases – os gases resultantes da detonação de explosivos são principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio e vapor de água que na acepção comum, são não tóxicos. No entanto, além desses gases,

podem ser encontrados gases venenosos, como monóxido de carbono (CO) e óxido de nitrogênio (NO). Tanto a natureza quanto à quantidade de gases tóxicos variam com diferentes tipos de explosivos químicos.

Sob o ponto de vista do Ministério da Defesa (Exército) “produto controlado é aquele que, devido ao seu poder de destruição ou outra propriedade, deve ter seu uso restrito a pessoas físicas ou jurídicas capacitadas e habilitadas legalmente, técnica, moral psicologicamente, de modo a garantir a segurança social e militar do país”.

Neste trabalho a definição de produtos controlados é com relação às operações de transporte: “produto químico controlado é aquele que invariavelmente precisa de métodos diferenciados em relação a outros produtos para segurança dele próprio, bem como os riscos à saúde e potencial de impacto ao meio ambiente durante as operações de transporte”.

Sob o ponto de vista de processos de produtos químicos, independentemente das exigências regulamentares para o transporte, é conveniente que os engenheiros de processos químicos atuem em conjunto com geólogos, engenheiros de minas, Engenheiros militares, biólogos, médicos, engenheiros ambientais, etc. no sentido de juntar informações inerentes aos riscos dos explosivos durante o transporte.

A proposição do item anterior é uma contribuição para o entendimento de antecipação às exigências futuras de saúde, segurança e meio ambiente e ainda gerenciar os riscos mantendo-os a níveis aceitáveis em termos jurídicos e ambientais.

Por representar um sistema de prevenção de riscos no transporte em atividade há longo tempo, as exposições sobre transporte de

explosivos químicos discutidas neste trabalho têm o propósito de servir como base nos sistemas de prevenção e controle das demais substâncias químicas, tais como os gases, líquidos inflamáveis, sólidos infláveis, substâncias oxidantes, peróxidos orgânicos, substâncias tóxicas e infectantes, substâncias corrosivas e outras, cuja preparação de planos de transporte requer dados científicos das características físico-químicas formadas através de ensaios de laboratório.

2.2.1 No Brasil o Decreto-Lei 2.063, de 6 de outubro de 1983, Decreto-Lei 96.044, de 18 de maio de 1988 e portaria 291 de 31 de maio de 1988 regulamentam os Transportes Rodoviários de Produtos Perigosos, estabelecendo regras e procedimentos para o transporte, por via pública de substâncias perigosas que represente risco para a saúde de pessoas, para a segurança pública e meio ambiente. Neste trabalho focaliza-se a concepção de transporte de substâncias químicas perigosas por rodovia por tratar-se de uma questão complexa, não somente em relação aos riscos, mas em relação aos efeitos no modelo de custos baseado em atividades aplicado à logística que passa pela conceituação de cadeia de valor e cadeia de suprimentos. Cabe salientar que para digerir a questão é necessário um certo conhecimento de gerenciamento de processos de produção industrial associado com um cenário de contexto logístico envolvendo informações físico-químicas. Por exemplo, ponto de fusão, ponto de ebulição, ponto de fulgor, densidade do vapor, pressão do vapor, densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ), ponto de queima, limite de explosão, temperatura de auto-ignição, solubilidade em água, estabilidade química, toxicidade e outras. Os resultados desses itens são fundamentais para o preparo das substâncias químicas para o transporte. O entendimento do conjunto de implicações aqui associadas será caracterizado ao longo da exposição; de início basta observar que foi tomado primordialmente em sua oposição a “material” ou “empírico”.

Portanto parece oportuno, antes de prosseguir, fazer uma breve definição dos itens expostos.

**2.3 Ponto de Fusão** – é o grau de temperatura no qual ocorre a troca do estado sólido para o estado líquido. Na maior parte das substâncias o ponto de fusão e ponto de congelamento são iguais. Contudo, em determinadas substâncias químicas a transição de estado sólido para o estado líquido pode acontecer por diferentes temperaturas. Os materiais amorfos e alguns polímeros se caracterizam por não apresentarem um ponto de fusão verdadeiro onde não há nenhuma mudança brusca na fase em qualquer temperatura específica. Comparado com o ponto de ebulição o ponto de fusão é relativamente insensível à pressão.

Independentemente da necessidade de conhecer o ponto de fusão no preparo das substâncias no transporte, os gerenciadores de processos de produção, freqüentemente o aplica com objetivo de caracterizar compostos orgânicos e para determinação do grau de pureza dos materiais. A fusão de uma substância pura se caracteriza por ser alto e ter menor alcance em relação a uma substância com maior grau de impureza. Assim, quanto maior for o grau de impureza mais baixo será o ponto de fusão.

**2.3.1 Sob o ponto de vista da termodinâmica**, não só se exige um levantamento da temperatura do sólido em relação a seu ponto de fusão, mas também seu derretimento para se conhecer o grau de temperatura da fusão. O ponto de fusão (na mudança em Gibbs) a energia livre ( $\Delta G$ ) do material é zero, porque a entalpia do material aumenta ( $H$ ) e entropia ( $S$ ) dos materiais que são multiplicados ( $\Delta H, \Delta S > 0$ ). O fenômeno do derretimento acontece quando Gibbs liberta energia do líquido torna-se mais baixo que o sólido para esse material. O interessante é que isto acontece em várias pressões e numa temperatura específica. Vide equação abaixo:

$$\Delta S = \Delta H/T.$$

(Gibbs, Josiah Willard)

Os símbolos “T”, “ $\Delta S$ ” e “ $\Delta H$ ” são respectivamente a temperatura do ponto de fusão, troca de entropia de fusão e troca de entalpia de fusão.

**2.4 Ponto de ebulição** - neste trabalho o ponto de ebulição é relacionado a riscos partindo do princípio de que durante o transporte às substâncias químicas líquidas ficam expostas a ambiente de vácuo com diferentes pressões atmosféricas, onde podem ocorrer fenômenos físico-químicos em ambientes de alta ou baixa pressão tendendo a levá-las a pontos de ebulição mais altos ou mais baixos proporcionalmente a pressão atmosférica a que se expõem durante o transporte.

Comumente o ponto de ebulição atmosférico de pressão de um líquido é identificado quando a pressão do vapor levanta este líquido através da formação de bolhas dentro do seu bulbo, cuja fervura ocorre sob a pressão de 1 bar. - este é um exemplo de fenômeno de ebulição normal. Entretanto, são inúmeras as substâncias químicas transportadas com um número infinito de pontos ferventes. Assim, os líquidos podem mudar a um vapor de temperaturas sob seus pontos de ebulição pelo processo de evaporação o que identifica um fenômeno de superfície em que as moléculas ficam localizadas próximo da fuga de líquido de superfície na sua fase de vapor. Nos vasos rodoviários aplicam-se válvulas de alívio com objetivo de monitorizar reações.

Uma temperatura saturada se caracteriza por uma pressão correspondente de saturação quando acontece a fervura do líquido na sua fase de vapor então o líquido é tido como saturado com energia térmica. Considerando que no decorrer do transporte substâncias químicas líquidas podem se expor a campos de energia térmica por tempo constante a uma pressão de energia térmica, isso pode resultar numa

mudança de fase, pois o ponto de ebulição corresponde à temperatura em que a pressão do vapor do líquido tende a igualar-se à pressão do ambiente. Assim, o ponto de ebulição é dependente da pressão e, durante os trajetos longos podem ocorrer altas e baixas pressões atmosféricas.

Quando a temperatura de vaporização + pressão de vapor de um líquido são conhecidos, comumente se aplica a equação de Clausius-Clapeyron para calcular a ponto de ebulição normal:

$$T_B = (R[1n(P_0) - 1n(101.325)] / \Delta H_{VAP} + 1/T_0)^{-1}$$

Onde:

$T_B$  = ponto normal de ebulição, K.

$R$  = gás ideal constante,  $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

$P_0$  = pressão do vapor numa temperatura, kPa.

101.325 = pressão atmosférica, kPa

$\Delta H_{VAP}$  = calor da vaporização do líquido, J/mol.

$T_0$  = temperatura, K.

$1n$  = logaritmo natural para base e

2.5 Nas operações de transporte a *densidade do vapor* deve ser relevada no preparo das substâncias químicas para transporte por suas implicações nas embalagens dessas substâncias seja nas atividades de armazenagem seja nas atividades de transporte. Com relação à saúde e segurança tem fundamental importância pelo fato de que possíveis danos nas embalagens podem provocar a liberação de gases densos, inflamáveis e tóxicos prejudicando o ambiente e expondo pessoas a situações de perigo.

2.5.1 **A densidade do vapor** pode ser definida em relação ao volume de massa de uma substância dividido pela massa de determinado volume de hidrogênio. Assim, a densidade do vapor é igual a  $\frac{1}{2}$  de massa molar.

**2.6 A pressão do vapor** é um dado físico-químico fundamental no preparo das substâncias químicas a ser transportada - sob o ponto de vista de que mudanças de temperatura afetam a pressão e volume de ocorrência possível, principalmente em percursos de longas distâncias. Cada mol de oxigênio (32 gramas) ocupa 22,4 litros a  $^{\circ}\text{C}$ . De acordo com a hipótese de Avogadro, um mol de qualquer gás ocupará também o mesmo volume em temperatura e pressão iguais. Aplicando a lei de Boyle  $P \times V = 22,4 \text{ litros} \times \text{atm} / \text{mol}$  para um mol de gás a  $^{\circ}\text{C}$ , facilmente é possível prever como o volume se modificará se houver mudanças de pressão durante o transporte. Líquidos e sólidos tendem a evaporar e mudar da forma líquida para a forma sólida ou da forma sólida para líquida.

**2.6.1 Uma substância submetida a qualquer temperatura** tende a uma pressão em que os gases dessa substância estão em equilíbrio dinâmico com sua forma seja líquida ou sólida. Então o equilíbrio da pressão do vapor é um indicador do índice evaporação.

A equação de Kelvin mostra que a pressão do equilíbrio do vapor depende do tamanho da gotícula e é usada para dimensionar a distribuição da porosidade média usando porosimetria de adsorção.

$$\ln p/p_0 = 2\gamma V_m / r RT$$

Onde:

$p$  = pressão do vapor atual

$p_0$  = pressão do vapor saturado.

$\gamma$  = pressão exterior.

$V_m$  = volume molar.

$r$  = raio da gota.

$R$  = gás constante universal.

$T$  = Temperatura.

**2.7 Ponto de Queima (flash point)** – todo líquido inflamável tem pressão e vapor e quando ocorre aumento na temperatura, a pressão do vapor aumenta. O aumento da pressão gera uma concentração do líquido inflamável evaporado aumentando o volume de ar. Assim, a temperatura representa uma determinante da concentração de líquidos inflamáveis no ar. Por isso diferentes líquidos inflamáveis requerem diferentes concentrações de combustível no ar para combustão.

**2.8 Limite de explosividade** – partindo do princípio de que o limite de explosividade de um gás se caracteriza pelas concentrações que os limita no ar então os dados científicos constituem informações importantes para o preparo das substâncias químicas para o transporte.

**2.8.1 Dois limites de explosividade devem ser considerados nas análises de qualquer vapor ou gás**, principalmente nas comparações entre os limites inferiores e superiores. Nas longas distâncias unidades de transporte carregadas com grande variedade de substâncias químicas trafegam por ares diversos. Quando há concentrações de ar sob um limite de explosividade baixo não há combustível suficiente para iniciar uma explosão, mas quando as concentrações de ar forem elevadas (acima do limite de explosividade) então acontece um deslocamento de ar provocando a insuficiência de oxigênio tendendo a começar uma reação.

**2.8.2 As concentrações de gases explosivos são obtidas através da percentagem dos limites de explosividade mais baixos e expressas na forma de percentagem relacionada com o volume de gás ou vapor no ar.**

- Deflagração é a propagação de zona de combustão numa velocidade menor do que a velocidade de som.
- Detonação é uma propagação de zona de combustão em velocidade maior do que a velocidade do som.

- Explosão é o estouro ou ruptura de um material acondicionado em embalagem fechada em função da pressão interna de deflagração ou detonação.

Nos sólidos as poeiras também podem apresentar limites de explosividade mais altos ou mais baixos, contudo os limites mais altos são de controle complexo e difícil de medir, felizmente sua importância prática é pouco significativa. O parâmetro para limite de explosividade baixa em grande número de materiais orgânicos está na faixa de 10-50 g/m<sup>3</sup>, mais elevado que os limites padrões relacionados à saúde. As micro-partículas de pós-concentrados dentro do limite de explosão mais baixo podem acumular concentrações acima do limite mais baixo e repentinamente acumulações de pó; que pode ser evitado com aplicação de embalagens bem dimensionadas acondicionadas em superfícies compactas e livres de poeiras.

Sob o ponto de vista de prevenção aos riscos os gases e as concentrações de vapores fora dos limites explosivos são fatores importantes que requerem técnicas dedicadas ao reconhecimento, avaliação e controle dos fatores ambientais ou tensões emanadas ou provocações nas regiões por onde transitam as substâncias químicas e que podem ocasionar enfermidades, destruir a saúde, ou criar alguma situação desconfortável entre as pessoas da comunidade.

Portanto os métodos de controle científico nas concentrações dos gases e dos vapores e poeiras com potencial de explosividade são fundamentais na prevenção de riscos.

**2.9 Temperatura de auto-ignição** - sob o ponto de vista de que inúmeras substâncias químicas transitam por regiões geográficas diversas com diversidade de climas, inclusive oscilações de temperaturas é exposição a riscos, então o sistema de transporte precisa dispor de informações físico-químicas afins.

2.9.1 **As informações físico-químicas** inerentes às substâncias a ser transportada são necessárias para determinação dos tipos de equipamentos a ser aplicado no transporte.

2.9.2 **A prova de auto-ignição** de uma substância é projetada com base na exposição das substâncias sólidas ou líquidas, as situações nas quais se expõem quando acomodadas em vasos rodoviários de alta pressão. Então o ponto de ignição espontânea representa uma situação de risco.

2.9.3 **A energia mínima do limite de auto-ignição está relacionada com o limite de inflamabilidade.** Os parâmetros destes limites são importantes na prevenção dos perigos de ignição. A análise do potencial em nível de faíscas é um fator que pode funcionar como parâmetro na avaliação da quantidade mínima de energia necessária para ignição de uma mistura inflamável.

2.9.4 **O método ASTM G 72** é comumente usado nas análises de temperaturas de auto-ignição, principalmente na determinação de temperatura de substâncias líquidas ou sólidas com potencial de ignição espontânea, mesmo sem exporem-se a faíscas ou chamas em ambientes de alta pressão ricos em oxigênio - pode ser usado na avaliação de pressões entre 2.1 e 2.7 Mpa (1500 psi), com variação de temperatura de ignição entre 60 e 425°C e atmosferas de 0.5% a 100% de oxigênio.

2.10 **Estabilidade química** – as relações quantitativas de uma reação química conceitua estequiometria. No transporte é necessário considerar parâmetros para o estado estacionário de qualquer substância química, partindo do princípio de que o coeficiente de equilíbrio é o estado de um sistema químico fechado, as temperaturas uniformes, que não sofre transformações macroscópicas, ainda que possam estar ocorrendo mudanças em escala macroscópica.

2.10.1 **Nas análises de estabilidade química é necessário considerar compatibilidades,** principalmente nas operações de transporte fracionado.

2.11 **Toxicologia** – pode-se afirmar a aplicação dos preceitos de toxicologia nas operações de transporte é dependente de vários outros setores do processo de formulação de produtos químicos, envolvendo as áreas de gerenciamento ambiental e os responsáveis pelas diversas áreas que compõem o sistema, visando atualizar informações inerentes aos cuidados e planos de prevenção aos riscos a saúde humana e ao meio ambiente, apresentados pelas substâncias químicas em caso de acidente na fase de transporte.

2.12 **Conceito de Processo** - Um processo em si é uma transformação que agrega valor, envolve pessoas e ou outras formas de recursos, e nas substâncias químicas, principalmente as informações de suas características físico-químicas. As atividades de transporte de produtos químicos perigosos estão relacionadas à informação (requisitos de produto, informação das características e situação do produto, comunicações de funções-suporte, etc. Item 4.6 Conceito de processo – NBR ISO 9000).

Naturalmente neste trabalho a abordagem é baseada no usuário de substâncias químicas e nos serviços envolvidos e esta adequada a seu propósito. Esta preocupação não está só com a conformidade e suas especificações, mas também com a adequação das necessidades de segurança no transporte. Nos conceitos de marketing a abordagem baseada no produto vê os critérios utilizados no transporte como um conjunto mensurável e preciso de características, que são requeridas para movimentar o produto entre o ponto de geração e o ponto de uso.

A abordagem baseada em valor, invariavelmente agregada à definição de manufatura a um estágio além em termos de transportar com segurança e preço. Essa abordagem defende que os métodos de

transporte sejam percebidos em primeiro plano e neste estágio (**pelas peculiaridades dos produtos químicos perigosos**) surgem diferenças percebidas em relação a preço. Algum consumidor de produtos comuns, por exemplo, pode muito bem estar querendo aceitar algo de menor especificação de qualidade, se o preço for menor. Nas substâncias químicas perigosas essa situação é secundária.

Sendo a segurança tão importante para o desempenho do segmento de transporte de produtos químicos perigosos, a tarefa chave da função de operação nesse tipo de transporte é garantir segurança, saúde e preservação do meio ambiente nas operações de transporte. Apesar do volume de informações sobre os cuidados com o transporte de substâncias químicas perigosas, não há entendimentos consensuais do que isso significa. Entende-se que os regulamentos aplicados na fiscalização e controle do transporte dessas substâncias apresentam uma base lógica sobre as características dos riscos nas principais substâncias químicas. O número de formulações de produtos a base da química é imenso, então o campo de análise torna-se necessário e importante no preparo da substância química para o transporte com relação à interpretação dos riscos. Os preceitos apresentados nos regulamentos devem servir como guia no processo de classificação para transporte, e afora as simbologias de risco deve ser agregado um sistema de comunicação para facilitar a interpretação de pessoas leigas. É claro que muitas vezes os conflitos de interesses, omite o poder de discernimento. Entretanto o surgimento de novas tecnologias nas formulações dos processos químicos requer dos formuladores um cuidado maior em relação à prevenção dos riscos. O fato de limitar os planos de transporte somente aos preceitos da regulamentação em vigor, não atende a percepção do público.

## 2.13 Classe e subclasse de risco.

2.13.1 **A classe de risco 1** (um) abrange as substâncias explosivas, excetuando-se as demasiadamente perigosas, cujo risco predominante indique ser mais apropriado inseri-la numa outra classe onde fique mais claro que, não sendo ela própria um explosivo possa gerar uma atmosfera explosiva de gás, vapor, por exemplo.

**A classe de risco 1**, explosivos químicos, se subdivide em subclasses aplicadas de acordo com o tipo de risco que a substância química explosiva representa. As subclasses de risco vão de 1.1 a 1.6.

No transporte de explosivos químicos a figura de uma bomba explodindo por si só passa a conotação de perigo e mesmo assim grande número de expectadores não sabe discernir o que representa este símbolo de risco. Os símbolos de risco se inserem nos rótulos de risco normatizados pela *Norma Brasileira NBR 7500 – Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Nas operações de transporte de explosivos à simbologia é complementada com bandeirolas vermelhas e plaquetas com os dizeres: CUIDADO EXPLOSIVO.

2.13.2 **Os rótulos de risco** – nas unidades de transporte de substâncias químicas perigosas uma das sinalizações aplicadas são os rótulos de risco que, nas operações de transporte de substâncias químicas perigosas têm a finalidade de indicar às classes e subclasses de riscos. Seguem as dimensões: 300 mm x 300 mm para a moldura e 330 mm x 330 mm para o limite de corte vide na próxima página.

MODELO DOS ELEMENTOS INDICATIVOS DE RISCO

Modelo de Rótulo de Risco Principal

Classe 1 – Explosivos.



(Nº 1)

Subclasses 1.1, 1.2 e 1.3.

Símbolo (bomba explodindo): preto. Fundo: laranja.

Número "1" no canto inferior.

Figura 1 - Rótulo de risco.

1.2 Esta subclasse envolve os explosivos químicos com potencial com risco de explosão em massa e com potencial de afetar toda a carga instantaneamente.

Nesta subclasse estão envolvidas as substâncias explosivas com risco de projeção, mas sem risco para explosão em massa.

1.2 Esta subclasse envolve substâncias explosivas com leve risco de fogo, explosão e projeção, mas sem risco de explosão em massa. São substâncias explosivas com capacidade de produzir grande quantidade de calor radiante e sucessão de queima, mas com leves efeitos de explosão, projeção ou ambos.

1.3 Nas operações de transporte das substâncias explosivas nas subclasses 1.1, 1.2 e 1.3 aplica-se o mesmo símbolo de risco conforme figura abaixo.



Figura 2 – símbolo de explosivo da subclasse 1.1, 1.2 e 1.3.

1.4 As substâncias explosivas inseridas nesta subclasse são insensíveis e não apresentam risco significativo em relação à ignição ou iniciação durante o transporte. Por conseguinte não se espera que os efeitos provoquem a projeção de fragmentos a grandes distâncias e também o fogo externo não tende a provocar explosão instantânea.

Nas operações de transporte das substâncias explosivas da subclasse 1.4 aplica-se o símbolo de risco conforme figura a seguir.



Figura 3 símbolo de explosivo subclasse 1.4

1.5 Esta subclasse abrange as substâncias explosivas muito insensíveis com risco de explosão em massa. Em condições normais de transporte a probabilidade de iniciação ou transição de queima praticamente não existe. Entretanto não devem explodir no teste de fogo.

Nas operações de transporte das substâncias explosivas da subclasse 1.5 aplica-se o símbolo de risco conforme figura abaixo.



Figura 4 símbolo de risco explosivo subclasse 1.5

1.6 Esta subclasse abrange as substâncias químicas explosivas com alto grau de insensibilidade e que não oferece nenhum risco de explosão em massa. São artigos compostos somente de substâncias detonantes e que apresentam risco insignificante de iniciação ou propagação acidental.

Nas operações de transporte das substâncias da subclasse 1.6 aplica-se o símbolo de risco conforme figura abaixo.



Figura 5 símbolo de risco subclasse 1.6

Nas unidades que transportam explosivos químicos e demais substâncias químicas perigosas, além das simbologias de risco aplicam também painéis de segurança (popularmente conhecidas como placa laranja). No caso dos explosivos químicos são adicionadas bandeirolas vermelhas e mais uma placa escrita: cuidado explosivo. Para expor os números no painel de segurança, é necessário conhecer as características físico-químicas da substância química para poder avaliar qual número ONU e também o número de risco, por exemplo, diclorodiflourmetano e óxido de eteno onde se aplica o número da ONU 3070 e símbolo de risco de gás inflamável e tóxico.

A seguir se expõe sobre o desenvolvimento de número de risco e como aplicá-los.

2.13.3 **Desenvolvimento do Número de Risco** – O número de riscos é desenvolvido a partir das informações remanescentes das análises de laboratório quanto ao grau de explosividade, corrosividade, inflamabilidade, radioatividade e outros fenômenos químico-físicos. Por exemplo, no painel de segurança (figura 6 abaixo) o número 2 identifica um gás liquefeito, número três um líquido inflamável e o número 6 uma substância tóxica. A aplicação dos algarismos é feita da esquerda para a direita em relação ao grau de risco.

2.13.4 **As dimensões do painel de segurança** são regidas pela Norma Brasileira NBR 7500. São painéis medindo 400 mm largura por 300 mm de altura com disposição de quatro algarismos para número da ONU e dois ou três algarismos para o número de risco conforme ilustração a seguir.

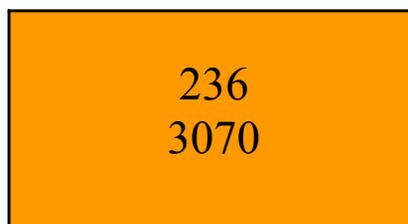


Figura 6 – Painel de segurança para transporte de misturas a base de diclorodifluorometano.

Ao lado dessas abordagens deve salientar-se que a regulamentação formal de transporte de substâncias químicas perigosas não explicita o número de risco para todas substâncias, exceto naquelas que têm este número citado no regulamento de transporte de produtos químicos perigosos. Em todos esses casos o número de risco poderia se aplicado, mesmo nas substâncias que não apresentam potencial de risco; nesse caso se usaria “zero” sobre o número da ONU. Os riscos apresentados pelos produtos químicos se relacionam com reatividade. É impossível estabelecer uma regra geral que garanta 100% de segurança

no transporte de todas as substâncias químicas representada por milhões de diferentes produtos. Daí é necessário uma avaliação que abranja não somente as características físico-químicas, mas também a reatividade, toxicidade e exposição. A imensidade de formulações químicas por si só é um processo amplo de desdobramento conceituais na caracterização de números de risco, daí possibilitando uma abordagem sistemática que conceba informações, possibilitando identificar o nível de risco.

Sob o ponto de vista de que é impossível antever se acontecerá ou ocorrerá pela liberação de substâncias químicas perigosas transportadas nos estados, sólido, líquido ou gasoso, o pleno esclarecimento, contudo, é algo inalcançável. Diante disto o estudo é, e continuará sendo, um trabalho difícil, mas necessário, principalmente para minimizar as exposições aos riscos. Após analisar o assunto, convence-se, de que é útil enfatizar os conceitos de riscos e re-enfatizar os meios para identificá-los com facilidade e rapidez. Neste trabalho a tarefa de expor sobre riscos requereu esforços, e a principal razão para escrever sobre isto é incentivar a busca contínua de procedimentos para minimizar os danos causados em acidentes de transporte de substâncias químicas perigosas.

**Os riscos químicos** ocorrem pela liberação de substâncias químicas usadas em diversos processos de fabricação e naturalmente envolvidas com o transporte. Os principais riscos químicos são:

- **Sólido:** poeiras minerais, vegetais e metálicas, fumos metálicos de solda, fornos, etc.
- **Líquido:** névoas: ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ácido nítrico, etc; neblinas (óleo de corte em usinagem).
- vapores: solventes, metálicos e outros.

Essas substâncias são indicadores de riscos pelo fato de que podem ser absorvidas através de via respiratória, via dérmica e via digestiva.

Na exposição destes conceitos de risco, é conveniente visualizar o ambiente externo (fora da fábrica), principalmente nos longos trajetos por onde as unidades de transporte trafegam e se expõem a riscos físicos tais como: ambientes quentes, baixas temperaturas, radiações ionizantes decorrentes da exposição em emissão radioativa, vibrações mecânicas, (provocadas pelo mal estado de rodovias).

O reconhecimento dos riscos implica num conhecimento detalhado dos produtos, métodos de trabalho, processos industriais e dos equipamentos usados no transporte. Em cada um desses segmentos cabe ao engenheiro químico, gerenciador dos processos, detalhar todos os aspectos que envolvem o transporte da substância química em condições desfavoráveis para a segurança, saúde e meio ambiente. Assim, é necessário determinar a natureza do risco, identificar a duração da exposição e estudar a susceptibilidade de pessoas expostas. Reconhecidos os riscos então será possível avaliar seus efeitos ambiental e biológico.

Nunca é demais expor que num exame preliminar se define a extensão dos trabalhos necessários de preparo da substância química perigosa para o transporte o que serve como documento importante nas características dos materiais. Do momento que se tenha o transporte como uma atividade focalizada no processo, com os dados do próprio processo será possível identificar:

- a variedade de materiais químicos no ambiente de todas as matérias-primas, produtos e subprodutos sujeitos a transporte. Conhecendo todas as informações desses materiais é possível estudar a toxicidade dos riscos e outros fatores relacionados. É claro que isso requer a participação de especialistas em toxicologia e médicos. Indicadores tais como: nome e natureza do risco; características de

atuação no ambiente; meios de penetração no organismo; atuação no organismo – bio-transformação, metabolismo e eliminação; conduta de controle para exposições agudas e crônicas. Normalmente qualquer substância nova que seja utilizada num processo, antes de ser colocada no mercado, as propriedades toxicológicas devem ser investigadas.

- **contaminação do ar:** o transporte faz parte das operações com riscos potenciais que na grande maioria não são detectados pela simples observação visual. Não se percebe esses riscos a olho nu o que os torna mais perigosos. No entanto a ausência de nuvens de partículas visíveis não significa que exista atmosfera livre de substâncias químicas. [Normalmente a presença de vapores e gases pode ser detectada pelo olfato. Algumas substâncias apresentam um limite de odor maior que o limite de tolerância para o ar ambiente]. Determinados gases e vapores tais como sulfeto de hidrogênio e tetracloreto de carbono, podem produzir fadigas olfativas. Em outro capítulo deste trabalho será apresentado um estudo sobre o transporte do material polimérico acrilato de butila, para ilustrar uma percepção de odor forte.

- **Os agentes físicos:** são as fontes de calor radiante, temperaturas anormais, umidades, trepidação excessiva, são dados importantes a serem considerados na elaboração dos manuais de segurança ou fichas de segurança da substância química a ser transportada.

- **As medidas de controle** se relacionam ao exame preliminar que não estará completo sem as medidas de controle a serem aplicadas bem como suas eficácias. Ventilação de diluição, exaustão, técnica de isolamento, enclausuramento, plano de proteção respiratória e outras medidas cabíveis.

2.13.5 **Painel de segurança (placa laranja):** serve para identificar a substância química de acordo com o número ONU. Há substâncias de níveis de risco diferentes com o mesmo número da ONU. A partir disso há necessidade de aplicação do número de risco e grupo de risco. Então

numa operação de transporte de explosivos químicos da subclasse 1.1 (explosivos de demolição E), a unidade de transporte deverá ser sinalizada com os seguintes acessórios:

- 03 rótulos de risco (vide figura 1) afixados na parte traseira, na lateral esquerda e na lateral direita da unidade de transporte.
- 4 Painéis de segurança (figura 7) afixados no pára-choque e dianteiro (lado esquerdo), laterais direitas, laterais esquerda a altura do eixo traseiro e parte traseira da carroceria ou baú.



Figura 7 – Painel de segurança para explosivo de demolição tipo E.

- 4 placas de sinalização (figura 9) afixadas uma na lateral direita, uma na lateral esquerda, uma no pára-choque traseiro e outra no pára-choque dianteiro da unidade de transporte.



Figura 8 – Faixa de Frases de riscos para explosivo de demolição tipo E.

Nesta breve exposição expõem-se algumas maneiras pelas quais se pode facilitar a interpretação do potencial de riscos no transporte de substâncias químicas explosivas, isto mostra o caminho para identificar os

riscos também nas demais substâncias químicas das demais classes e subclasses.

2.14 **A classe de risco 2** refere-se aos gases liquefeitos, dissolvidos sob Pressão ou altamente refrigerados, tais como os gases permanentes que não podem se liquefeitos à temperatura ambiente; gases liquefeitos que podem tornar-se líquidos sob pressão, a temperatura ambiente; gases dissolvidos sob pressão em um solvente, que pode ser absorvido em material poroso; gases permanentes altamente refrigerados, tais como ar líquido, oxigênio e outros. Nesta classe aplica-se a rotulação de risco (figuras 10 e 11) abaixo.



Figura 9 – rótulo de risco gás inflamável.



Figura 10 – Rótulo de Risco de gás não inflamável.

Os gases comprimidos venenosos referem-se a gases tóxicos que até poderiam ser inseridos na subclasse 6.1 levando em conta que a

toxicidade representa o risco principal. O fato da inserção nessa classe se relaciona mais com o tipo de recipiente que deve atender as mesmas exigências dos demais gases em relação à segurança. Nos gases inflamáveis, tóxicos, comprimidos ou liquefeitos, o regulamento de transporte de produtos químicos perigosos não expõe número de risco e grupo de risco, por exemplo. No entanto nem todos os gases apresentam o mesmo nível de risco pelo que é conveniente e necessário divulgar o número de risco e grupo de risco. Ao lado destas abordagens a proposta de sinalização abaixo é uma forma de maximizar as informações dos riscos por ordem de intensidade.



Figura 11 - Rótulo de risco Líquido Inflamável.



Figura 12 - Rótulo de risco Gás Tóxico.

Substâncias assim, quando expostas a altas temperaturas e fogo podem provocar a explosão do recipiente e dos vapores. O número de

risco desenvolvido é 361, exposto sobre número ONU conforme modelo abaixo.



Figura 13 – painel de segurança para transporte de gases inflamáveis, tóxicos, comprimidos ou liquefeitos.

**CUIDADO! SUBSTÂNCIA QUÍMICA MUITO PERIGOSA GRUPO DE RISCO I – SOB FOGO EMITE GASES TÓXICOS E VAPORES EXPLOSIVOS.**

Figura 14 – faixa de frases de riscos para transporte de gases inflamáveis, tóxicos, comprimidos ou liquefeitos.

2.15 **Classe de risco 3** – Abrange os líquidos inflamáveis. Em função dos gases os vasos que foram utilizados no transporte dessas substâncias devem estar fechados da mesma maneira e com as mesmas garantias de estanqueidade que deveriam apresentar quando cheios. Há substâncias do tipo líquido inflamável que além do risco básico apresentam risco subsidiário, como bissulfeto de carbono fórmula molecular  $CS_2$ , por exemplo, que requer o uso de água no processo de descarga e após a desova o vaso deve permanecer cheio de água. No caso do  $CS_2$  o risco subsidiário é da classe 2 gás inflamável. Em substâncias como essa na sinalização da unidade de transporte aplica-se, além do símbolo principal de risco (figura 7) mais o símbolo do risco subsidiário (figura):



Figura 15 – rótulo de risco líquido inflamável.



Figura 16 – rótulo de risco aplicado no transporte de gás inflamável.

Neste trabalho usa-se o bissulfeto como exemplo para substâncias químicas perigosas que requerem alternativas de risco subsidiário e número de risco ilustrando com o painel de segurança abaixo.

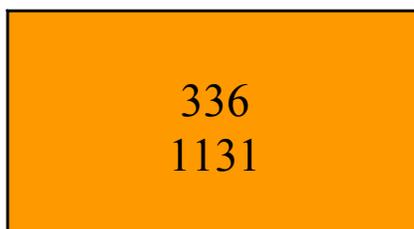


Figura 17 – Painel de Segurança aplicado no transporte de bissulfeto de carbono.

As passagens do número de risco são referidas por algarismos indicadores do tipo e intensidade do risco, formados por dois ou três

números, aplicados da esquerda para a direita de acordo com a intensidade do risco. No caso da substância bissulfeto de carbono o risco principal é extremamente inflamável, nesse caso os dois primeiros algarismos expostos à esquerda, representam esse risco e o terceiro algarismo representa o risco subsidiário (gás inflamável e tóxico). Aqui foram relevados os riscos de inflamabilidade e toxicidade em função da limitação do número de risco a três algarismos, o que omite o limite de explosão.

Em substâncias de características físico-químicas similares ao bissulfeto de carbono um fator a ser considerado na fase de análise para o transporte é o papel do oxigênio em relação à combustão, cuja concentração acima de 25% é um indicador forte de ignição de combustão. No caso do bissulfeto se aplica um selo de água de 15% no vaso de transporte.

Dependendo da situação o bissulfeto de carbono, pode se tornar por si só um explosivo em função de que seus vapores podem explodir em ambientes fechados ou abertos.

Neste trabalho a proposta é desenvolverem-se faixas de sinalização como o modelo abaixo e aplicá-las nas unidades de transporte de bissulfeto de carbono.

**CUIDADO! SUBSTÂNCIA QUÍMICA EXTREMANENTE  
PERIGOSA GRUPO DE RISCO I – SENSÍVEL AO FOGO,  
SUJEITO A EMISSÃO DE GASES TÓXICOS E EXPLOSÃO.**

Figura 18 – Faixa de frases de riscos para o transporte de bissulfeto de carbono.

**2.16 A classe de risco 4** - Abrange os sólidos inflamáveis; são substâncias sujeitas a combustões instantâneas e mais as substâncias que em contato com a água, emitem gases inflamáveis. Como na classe de risco 1 a classe 4 se divide nas subclasses a seguir.

- **Subclasse de risco 4.1** - Abrange os sólidos inflamáveis, exceto os explosivos pertencentes à classe 1, que nos riscos a que se expõem durante o transporte, são facilmente combustíveis ou quando sob o atrito, pode contribuir para o fogo. Na sinalização de risco aplica-se o rótulo da figura 19 abaixo.



Figura 19 – rótulo de risco para sólidos inflamáveis; subclasse 4.1.

- **Subclasse de risco 4.2** - Abrange substâncias químicas com risco de combustão espontânea, são substâncias químicas que quando aquecidas espontaneamente nas condições normais de transporte e que ao contato com ar se aquecem e podem se inflamar. Na sinalização de transporte aplica-se o rótulo de risco da figura 20 abaixo.



Figura 20 - Rótulo de risco Combustão Espontânea para aplicação no transporte de sólidos da subclasse 4.2.

- **A subclasse de risco 4.3** - Abrange substâncias que ao contato com água passam a emitir gases inflamáveis. São substâncias que, por interação com H<sub>2</sub>O, podem inflamar-se de forma espontânea ou produzir gases inflamáveis em quantidades perigosas. Na sinalização de transporte aplica-se o rótulo de risco da figura 21 abaixo.



Figura 21 - Rótulo de risco para aplicação no transporte de sólidos da subclasse 4.3.

Nesses tipos de substâncias o desenvolvimento do número de risco e grupo de risco é primordial para facilitar a interpretação da intensidade do risco.

Por exemplo, os metais alcalinos, dispersões, cuja referência de sinalização é a Regulamentação de Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos + Faixa de Frases de Riscos (figura 24), proposta deste trabalho.



Figura 22 – Rótulo de risco para aplicação no transporte de substância incompatível com água.



Figura 23 – Painel de segurança para aplicação no transporte de metais alcalinos, dispersões ou metais alcalinos não terrosos, dispersões.

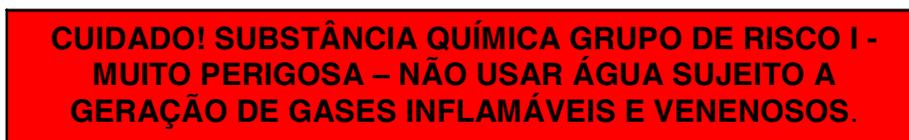


Figura 24 – faixa de frases de riscos aplicada no transporte de metais alcalinos dispersões ou metais alcalinos não terrosos, dispersões.

Escolheu-se este exemplo por tratar-se substância muito perigosa, principalmente com relação à umidade e em contato água. Os números de riscos desenvolvidos para substâncias assim requerem ainda a letra “X” do lado esquerdo, de acordo com o Regulamento de Transporte de Produtos Perigosos. Neste caso o X representa que o contato com a água produz reação violenta e emissão de gases inflamáveis.

Nesta classe de risco podem ser encontradas substâncias auto-reagentes que normalmente requerem atenção especial nas operações de manuseio e transporte com relação ao ambiente de exposição, requerendo proteção de ação direta do sol, principalmente em locais com alta temperatura e pouca ventilação. Por exemplo, a nitrocelulose em relação ao teor de água, álcool e plastificante também apresenta classe e subclasse de risco 1.1 e 4.1.

2.17 **As substâncias Oxidantes** - Formam a subclasse de risco 5.1 e por suas características muito perigosas requerem uma atenção redobrada no manuseio e transporte. Neste trabalho foram usadas como exemplo soluções aquosas de peróxido de hidrogênio, estabilizadas com sais e 60% de peróxido de hidrogênio. Neste caso além do risco principal aplica-se o risco subsidiário. Na sinalização das unidades de transporte para esse tipo de substância devem ser aplicados os acessórios conforme figuras 25, 26, 27 e 28.



Figura 25 – rótulo de risco subclasse 5.1.



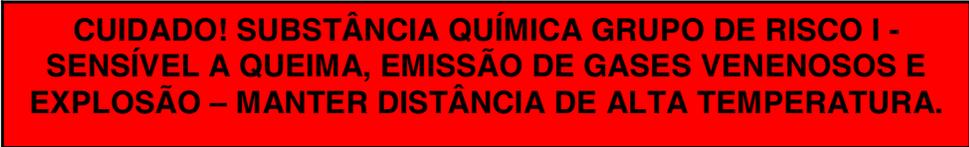
Figura 26 – rótulo de risco classe 8.



**581  
2015**

Figura 27 – Painel de segurança para transporte de peróxido de hidrogênio estabilizado ou soluções aquosas de peróxido de hidrogênio, estabilizadas, com sais de 60% de peróxido de hidrogênio.

Substâncias a base de peróxido de hidrogênio apresentam potencial de risco por inflamar-se com outros materiais combustíveis, tais como madeira, óleo e outros podendo inclusive explodir quando se mistura. Os containeres e vasos de transporte podem acumular gases inflamáveis e tóxicos, inclusive sujeitos a causar explosões quando expostos a temperaturas elevadas e proximidade com o fogo. Outros indicadores de risco são as trepidações elevadas geradoras de atritos e também contaminações que podem gerar calor e explosões. Nossa recomendação é aplicar faixas como o modelo abaixo, independente dos rótulos e painéis de segurança.



**CUIDADO! SUBSTÂNCIA QUÍMICA GRUPO DE RISCO I -  
SENSÍVEL A QUEIMA, EMISSÃO DE GASES VENENOSOS E  
EXPLOSÃO – MANTER DISTÂNCIA DE ALTA TEMPERATURA.**

Figura 28 – Faixa de frases de riscos no transporte de peróxido de hidrogênio estabilizado.

**2.18 Subclasses 6.1 e 6.2** - As substâncias tóxicas e infectantes tendem a aguçar o poder de percepção do público. Em relação aos riscos de transporte esses tipos de substâncias compõem a classe de risco 6, subdividida nas subclasses 6.1 e 6.2. São substâncias que expõe seres

vivos a injúrias sérias, ou danos à saúde quando inaladas ou em contato acidental com a pele. Há nessa classe de risco substâncias com capacidade de provocar a morte. As substâncias químicas perigosas das subclasses 6.1 e 6.2 representam um desafio à busca de alternativas capazes de resolver as dificuldades tradicionalmente encontradas nas operações de transporte.

As unidades que transportam substâncias da subclasse 6.1, como ferropentacarbonila, devem ser sinalizadas com os acessórios a seguir.



Figura 29 – Rótulo de risco subclasse 6.1.



Figura 30 – Painel de segurança para o transporte de ferropentacarbonila.

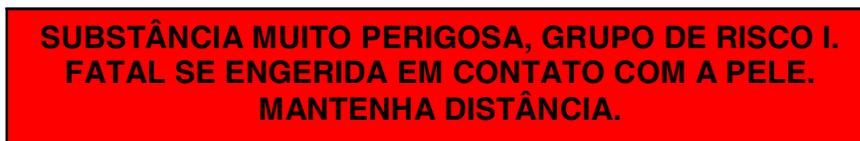


Figura 31 – Faixa de frases de riscos para o transporte de ferropentacarbonila.

O campo de substâncias infectantes é imenso - entre os diversos tipos há substâncias cujo contato afetam pessoas e animais e outras que afetam somente animais. Esse caso requer atividades contínuas de simulações e ensaios para obter e aferir os dados da proposta de classificação e controle do transporte. As unidades que transportam substâncias da subclasse 6.2, como agentes etiológicos e substâncias infectantes humanas, devem ser sinalizadas com os acessórios a seguir.



Figura 32 – rótulo de risco subclasse 6.2.



Figura 33 – Painel de segurança para o transporte de substâncias infectantes, humanas.

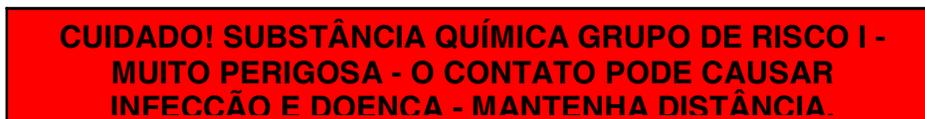


Figura 34 – Faixa de frases de riscos para o transporte de substâncias infectantes humanas.

2.18.1 A regulamentação em vigor expressa ainda três grupos de risco a subclasse 6.1. Para classificar as substâncias ao nível de grupo de risco são aplicados os critérios a seguir.

**Grupo I** – formulações que apresentam elevado nível de risco para causar envenenamento.

**Grupo II** – formulações que apresentam sério risco de envenenamento.

**Grupo III** – formulações que apresentam um risco de envenenamento relativamente baixo.

É recomendável, antes dos experimentos pesquisar casos conhecidos de envenenamento acidental de pessoas e mais as propriedades especiais do material, assim como estado líquido, alta volatilidade, probabilidade de penetração e efeitos biológicos especiais. Nos experimentos é necessário avaliar os efeitos sobre seres humanos e outros seres vivos quanto à ingestão oral, contato com a pele, neblina ou vapor.

2.19 **A classe de risco 7** - Comporta as substâncias radioativas, cujo processo de prevenção de riscos começa pelas embalagens que devem ser desenvolvidas de tal forma a evitar a fuga das substâncias radioativas nelas embaladas. Em caso de derramamento dessas substâncias radioativas o trabalho de recuperação da área contaminada é complexo e só pode ser feito por pessoal preparado para esse fim. No caso os riscos são representados por três rótulos, de acordo com o grau de risco. As unidades de transporte (aqui usando como exemplo nitrato de bário, sólido) devem ser sinalizadas com os acessórios a seguir.



Figura 35 – rótulos de risco classe 7.



Figura 36 – Painel de segurança para transporte de nitrato de tório, sólido.



Figura 37 – Faixa de frases de riscos no transporte de nitrato de tório, sólido.

2.20 **Classe de risco 8** - Entre as inúmeras substâncias químicas estão aquelas que, por ação química, naturalmente causam severos danos e destruição quando em contato com tecidos vivos e materiais diversos. São os tipos de substâncias que abrange a classe de risco 8. Nos experimentos para classificação dessas substâncias devem ser considerados outros fatores tais como risco à inalação de vapores e reações com água, formação de outros produtos perigosos remanescentes da decomposição. A classificação das novas substâncias geradas pela decomposição poderá ser avaliada através do intervalo de tempo necessário para provocar visível necrose em pele intacta de animal.

Seguindo este critério foram definidos três grupos de risco, conforme explicado abaixo.

**Grupo I** – substâncias com elevado nível de risco com capacidade para provocar visível necrose da pele após um contato de até três minutos.

**Grupo II** – substâncias com médio nível de risco que entre 3 e até o máximo de 60 minutos depois do contato provocam visível necrose a pele.

**Grupo III** – substâncias com nível de risco menor. Entre as substâncias desse grupo de risco estão aquelas que provocam visível necrose a pele num período de tempo inferior a 4 horas e também aquelas que apresentam uma taxa de corrosão sobre superfície de aço ou de alumínio superior a 6,25mm por ano.

As unidades que transportam, substâncias da classe 8, como ácido nítrico fumegante, por exemplo, devem ser sinalizadas com os acessórios a seguir.



Figura 38 – Rótulo de risco para substâncias químicas corrosivas.



Figura 39 - rótulo de risco para substâncias químicas oxidantes.



Figura 40 – Painel de segurança para o transporte de ácido nítrico fumegante.

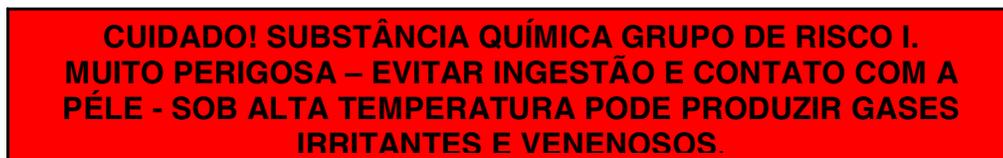


Figura 41 – Faixa de frases de riscos no transporte de ácido nítrico fumegante.

Há operações de transportes fracionados, onde substâncias como ácido nítrico fumegante são consolidadas com outras cargas e nas unidades de transportes são aplicados apenas painéis de segurança (placa laranja) sem numero algum e sem rótulo de risco. Infelizmente, o quanto à irresponsabilidade de alguns, talvez até involuntariamente ou por não saber discernir a exposição do perigo a si próprio e outros. Dessas considerações sobre a estrutura da realidade é que passamos para uma

exposição lógica, visando facilitar a compreensão dos riscos num discurso valorativo, até reflexões críticas sobre a natureza do sistema de manuseio de substâncias químicas perigosas, na expectativa de abrir naturalmente um campo amplo de investigações o que parece possa vir a abranger um plano interpretativo contínuo, principalmente porque, a complexidade do sistema não deve ser obstáculo na criação de procedimentos à busca da melhoria contínua.

**2.21 Classe de Risco 9** – Abrange substâncias diversas que estão além das classes e subclasses de 1 a 8. Infelizmente este recurso regulamentado é utilizado por muitos para omitir os níveis de risco e transportar substâncias químicas perigosas sem nenhuma informação das características físico-químicas. Em tais situações, em caso de acidente não só as pessoas comuns como as que atendem as emergências, não têm condições para avaliar os níveis de risco a que estão expostas e tampouco que ações tomar. Em alguns casos aplicam-se acessórios de sinalização como abaixo.

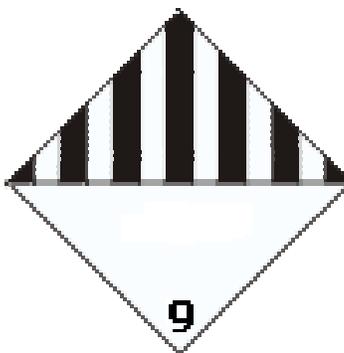


Figura 42 – Rótulo de risco substâncias diversas.



Figura 43 – Painel de segurança aplicado no transporte de substâncias químicas diversas.

No caso de transporte de substâncias diversas, a proposta é a aplicação de faixas com frases de riscos desenvolvidas de acordo com o potencial de risco que as substâncias apresentam. Nesse caso, por tratar-se de várias substâncias; no painel de segurança a proposta é - no lugar do número da ONU - colocar um traço horizontal e sobre ele escrever o número de risco. Independente do rótulo de risco classe 9 deverá ser aplicado rótulos de riscos (inflamabilidade, toxicidade, corrosividade ou outros de acordo com as características das substâncias). Sempre partindo do princípio de que as substâncias transportadas são compatíveis.

As exposições até aqui tiveram como base à experiência prática em processos de gestão de transportes e o uso prático do modelo da regulamentação oficial em vigor. Na falta de veículos de divulgação de simples interpretação dos riscos, perante pessoas comuns, o regulamento é tomado como o lugar de superação que o precedeu, ocorrendo então uma abordagem na direção contrária: a análise dos preceitos do regulamento de transporte de produtos químicos perigosos, como proposição para estudar as causas do transporte de substâncias químicas perigosas, permite um direcionamento no preparo adequado de qualquer substância química para transporte. Então a revisão dos modelos pode acontecer no cotidiano do dia a dia quando na definição das subclasses de riscos agregadas às classes de risco é em função das diferentes características dos fatores de risco apresentados pelas diversas formulações.

Notadamente a não ativação do poder de percepção das pessoas comuns as expõe involuntariamente aos riscos. É claro que, não se pode exigir que todos tenham o mesmo grau de atenção para as coisas a seu redor, entretanto uma divulgação adequada das informações poderia minimizar a situação. A falta de informações adequadas de algumas

substâncias da mesma classe de risco, mas com grau de risco diferente onde se usa o mesmo rótulo de risco confunde mesmo os técnicos envolvidos com as operações de transporte de substâncias químicas perigosas. Neste trabalho propõe-se aplicar mais efetivamente o grupo de risco com objetivo de agregar informações, sob o aspecto das substâncias da mesma classe ou subclasse de risco, mas com intensidades de riscos diferentes. Quando se expõe que a revisão dos regulamentos pode acontecer naturalmente em cada simulação e ensaio de laboratório, também pode funcionar como recurso de busca de informações.

Transportar substâncias químicas perigosas de forma adequada influencia o peso dos custos. Então os conflitos de interesses tornam-se um obstáculo para o cumprimento dos preceitos de transporte de substâncias químicas perigosas.

Determinadas substâncias químicas, quando reagem formam outras substâncias químicas, sistema largamente aplicado nos processos de produção de bens de consumo a base de química. Na cadeia de suprimentos os efeitos dos custos de transporte são imediatos, já na fase aquisição e entrada no processo produtivo. A fabricação de explosivos químicos, por exemplo, pode envolver trinitrotolueno [ $C_7H_5O_6N_3$ ] nitrocelulose [ $C_6H_7O_2(ONO_2)_3$ ], nitrato de amônio ( $NH_4NO_3$ ), clorato de sódio, ( $NaClO_3$ ), perclorato de sódio ( $NaClO_4$ ), alumínio em pó Al e outras substâncias químicas perigosas, cujo percentual de participação no processo pode ser maior ou menor. Tal situação influencia no planejamento da produção e historicamente criam conflitos com os responsáveis pela política de custos em relação ao sistema de transporte dentro da cadeia de suprimentos.

### **CAPITULO 3: ESTUDO DE CASOS.**

Neste capítulo apresentam-se casos de operações de transporte de explosivos químicos, bissulfeto de carbono, materiais poliméricos e resíduos químicos.

Embora não conste em anais nos casos de realizações de acidentes espetaculares, pelo menos quando os conceitos aqui expostos forem analisados, espera-se chamar a atenção dos profissionais da engenharia química para ampliar os campos de pesquisas relacionado aos efeitos de reações químicas indesejadas em acidentes ocorridos e então agregar informações na melhoria dos sistemas de prevenção de riscos nas operações de transporte das substâncias químicas perigosas e ainda enfatizar a importância dos cuidados necessários com vistas a minimizar os danos que futuros acidentes de transporte de substâncias químicas perigosas possam causar.

**3.1 Interpretando** - Interpretam-se as operações de explosivos químicos como transferência dos pontos de fabricação para paióis de consumo, zonas de detonação e outras áreas afins. Neste caso, antes do processamento do embarque é necessário atentar para o fato de que os riscos dependem: da quantidade do material transportado, da potência, da modalidade de embalagem, da arrumação da carga e das condições dos caminhos por onde a unidade de transporte circulará.

Recomenda-se que as operações de transporte de explosivos químicos sejam executadas como operações focadas no processo assim como nas operações a céu aberto. Entende-se que o tráfego de explosivos químicos deve representar uma situação temerária sempre, principalmente relevando que no decorrer do transporte poderão acontecer situações de exposição a altas temperaturas, faíscas, fogo e

outras capazes de iniciar queima e explosão. Operações a céu aberto referem-se a operações dos paióis (como são denominados os depósitos de explosivos), quando os caminhos de acesso devem ser traçados e mantidos de tal forma a permitir a movimentação dos explosivos sem riscos desnecessários. Para os cuidados no manuseio é necessário fazer ensaios para determinar uma distância suficiente visando a não correr riscos de detonação por propagação. É evidente que, em cada caso, há uma distância além da qual não acontece detonação por propagação. Há alguns anos atrás a Du Pont resolveu empreender investigações buscando determinar se as distâncias podiam ser estabelecidas segundo bases científicas. Então executou provas em quantidades de até 25 quilos as quais indicaram que podia ser aplicada a equação  $d = k.w^{1/3}$  onde

d = distância,

k = constante proporcional à sensibilidade do explosivo.

w = peso do explosivo.

A fórmula foi confirmada para quantidades até 200 quilos, numa região longínqua do Canadá. Pouco tempo depois surgiu a oportunidade concreta de obter a prova final, quando houve a necessidade de destruir uma quantidade enorme de explosivos em Point Barrow, no Alasca. Foram feitas verificações com cerca de 2.500, 5.000, 7.500 e 10.000 quilos e os resultados obtidos corroboraram com as previsões da fórmula.

A tabela a seguir foi calculada nessa fórmula. A coluna 1 mostra certas quantidades de explosivo sensível a espoletas, de um tipo muito utilizado em pedreiras, operações de descobertura de mineração a céu aberto. A coluna 2 mostra a distância em metros dentro da qual as quantidades da coluna 1 sempre se propagarão, enquanto a coluna 3 dá a distância em metros na qual as mesmas quantidades constantemente não propagam a detonação.

Os testes para obtenção dos dados de propagação da tabela foram realizados tanto em terreno macio como em rocha dura, com explosivos em caixas ou fora delas. Não houve diferenças significativas, permitindo

concluir que nem os acondicionamentos dos explosivos são fatores de importância apreciável. É possível, naturalmente, que um detrito lançado de uma pilha de explosivos venha a detonar outra pilha adjacente, situada à distância maior do que a indicada pela coluna 3 da tabela, mas essa probabilidade é muito pequena, sendo ainda muito menor a de detonação da terceira pilha. Então sob o ponto de vista prático, pode-se ignorar essa possibilidade.

Tabela de Monitoramento de Propagação de Detonação

<b>COLUNA 1</b>	<b>COLUNA 2</b>	<b>COLUNA 3</b>
<b>Peso do Explosivo sensível a espoleta (kg)</b>	<b>Distância Determinada M/100% de detonação.</b>	<b>Distância Determinada M/100% de falhas.</b>
22,5	2,75	6,40
45,0	3,35	7,65
90,0	3,95	9,75
135,0	4,55	11,30
180,0	5,15	12,50
225,0	5,50	13,50
335,0	6,40	15,25
450,9	7,00	16,75
655,0	7,90	19,50
900,0	8,85	21,40
1155,0	9,45	22,80
1350,0	10,0	24,40
2250,0	12,20	29,20
3365	13,70	32,80
4500,0	15,20	37,40
3650,0	16,20	38,80
6550,0	17,40	41,40
9000,0	19,20	47,70
11250,0	20,20	49,00
13500,00	22,00	51,50

Sob o ponto de vista quantitativo em relação a seqüelas a pessoas e na economia a proposta é analisar as características físico-químicas, não só dos explosivos químicos como de outras substâncias para formar a base do saber como as unidades de transporte devem ser sinalizadas de tal forma a facilitar a percepção do público em relação ao perigo que se está exposto.

**3.1.1 Partindo do princípio de que o transporte de explosivos químicos deve ser tido como uma situação temerária** no sentido de motivar a percepção do público, a proposta para este caso é sinalizar as unidades de transporte como nas ilustrações que se seguem.

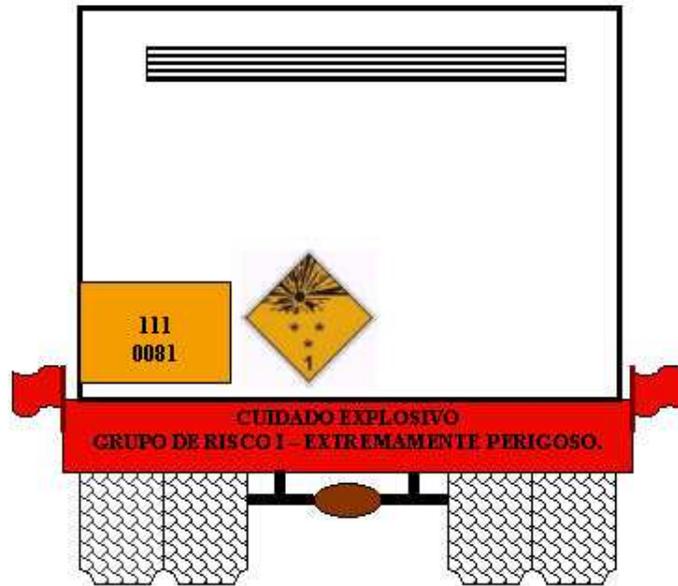


Figura 44 – Sinalização traseira na unidade de transporte de explosivos.

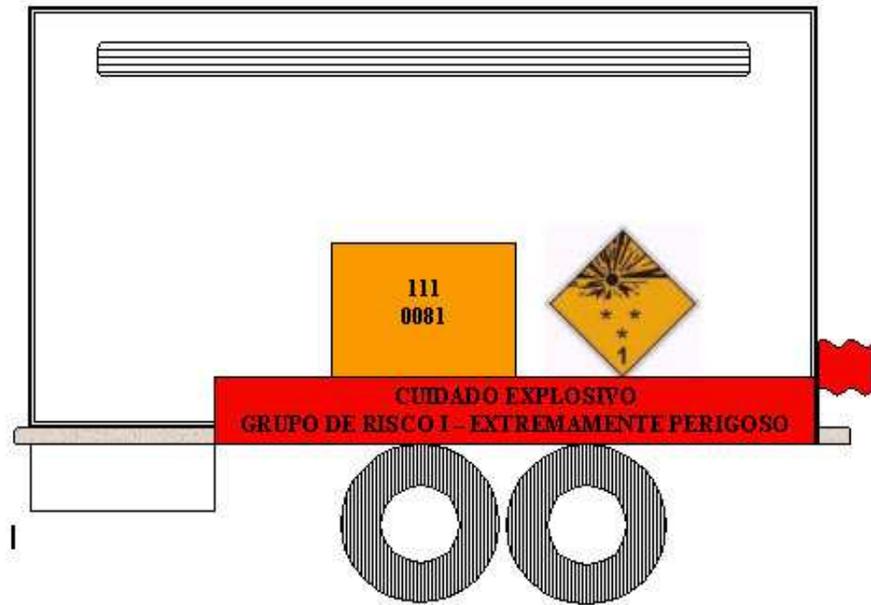


Figura 45 – Sinalização lateral na unidade de transporte de explosivos.

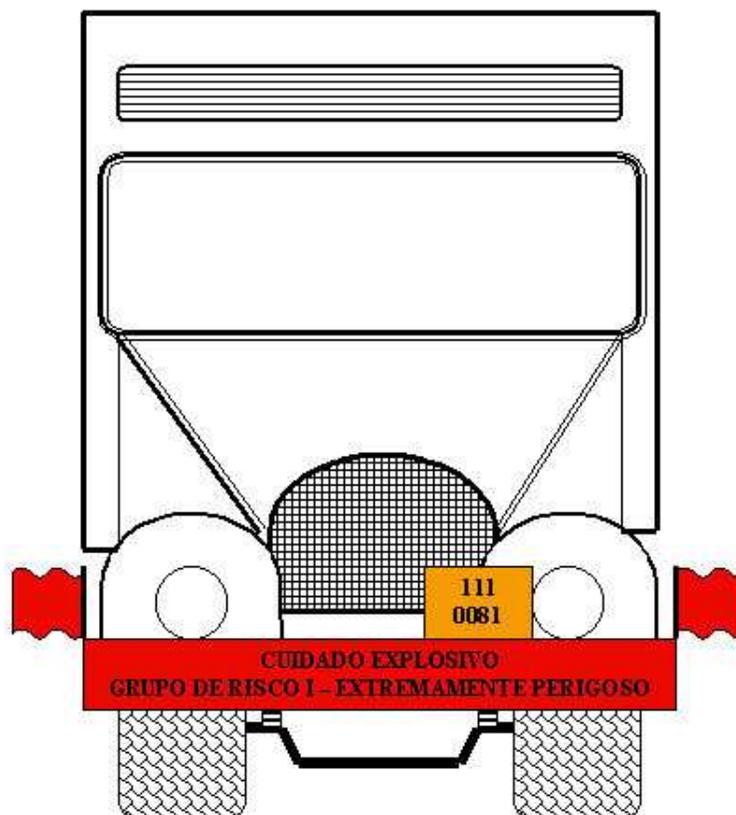


Figura 46 – Sinalização dianteira na unidade de transporte de explosivos.

**3.2 Transporte de Bissulfeto de Carbono** - O caso transporte de bissulfeto de carbono ( $CS_2$ ) foi escolhido para análise por tratar-se de substância química perigosa muito interessante, por representar uma condição especial para o transporte e que as proposições que compõem o processo de transporte parecem constituir um exemplo para mensurar idéias no preparo de outras substâncias químicas perigosas.

O bissulfeto de carbono é um líquido de cor amarelada de odor muito irritante e desagradável, assemelhado a ovo podre. Por suas características perigosas os manuseios requerem cuidados especiais, para o transporte ao redor de todo o processo de formulação e é claro na sua condição de produto final, principalmente nas operações de transporte quando está exposto a ambientes fora de fábrica. Para os percursos de longa distância é importante a elaboração de planos de atendimento a emergência, além de utilizar rotas não densamente povoadas, preferindo trafegar a noite.

Materiais assim como bissulfeto de carbono, além da subclasse de risco principal, na condição de risco subsidiário se insere na subclasse de risco 6.1 substâncias tóxicas que podem ser absorvidas através dos pulmões, entrando na corrente sanguínea e se expandindo através do corpo.

**3.2.1 Nos ensaios para determinação do sulfeto de carbono no ar**, sugeridos pelo Department of Scientific and Industrial Reseach, 1939, número 6 a base é a formação de dietilditiocarbamato cúprico, pela interação de sulfeto de carbono com dietilamina e acetato de cobre.

Um volume conhecido de ar contendo sulfeto de carbono é passado por meio de uma bomba de vácuo manual, através de 14 ml de reagentes misturados (10 ml de álcool absoluto, 2 ml de uma solução de 2 ml de

dietilamina em 100 ml de benzeno e 2 ml de uma solução de 0.1 g de acetato de cobre em 10 ml de álcool absoluto).

O sulfeto de carbono é determinado pela comparação, de cor amarela produzida, contra padrões, preparados pelo mesmo procedimento, de soluções alcoólicas de sulfeto de carbono, de concentrações conhecidas.

Concentração de 1 a 120.000 ppm (0.025 mg / l) pode ser estimada desta maneira com 20 bombeadas ou menos.

Outro método é o dos aparelhos detectores de gases, que são compostos de uma pequena bomba de fole e de tubos a ela conectados, contendo uma resina colorimetricamente sensível aos vapores de sulfeto de carbono. A concentração do sulfeto de carbono presente no ar é proporcional ao número de bombeadas necessárias à completa mudança de cor da resina.

Os ensaios e simulações em relação ao preparo de uma substância química para o transporte não são considerados por muitos sob alegação de que as operações de transporte não precisam disso, mas como identificar os efeitos das substâncias químicas sobre as pessoas e ao meio ambiente sem ensaiá-las em laboratório? Tomemos então o ensaio feito pelo "Department of Scientific and Industrial Research" (1939) pesquisa em dois grupos de trabalhadores, analisando as conseqüências em diferentes severidades de exposição.

### CONCENTRAÇÃO

EFEITOS	Mg / litro	Ppm
Leve ou sem efeito	0.5 – 0,7	160 – 230
Sintomas fracos após diversas horas	1.0 – 1.2	320 – 390
Sintomas após 30 minutos	1.5 – 1.6	420 – 510
Sérios sintomas após 30 minutos	3.6	1150
Risco de morte após 30 minutos	10 – 12.0	3210 – 3850
Fatal após 30 minutos	15.0	4815

### CONSEQUENCIA DE SULFETO DE CARBONO NO AR.

Partes Por Volume	Mg / litro	Duração Da Exposição	Efeitos
1 em 300 1 em 500	10 – 6	Em torno de 30 minutos	Enfermidades sérias e perigo de coma.
1 em 3000	1	Exposição por algumas Horas	Fortes dores de cabeça e confusão mental.
1 em 3000	1	Exposição por um dia	Sintomas consideravelmente severos com neurites, visão distorcida e distúrbio mental.
1 em 15000  1 em 30000	0.2 – 0.1	Exposição continuada	Condições gerais de doença, dores de cabeça, sonolência e histerismo.

Analisando os quadros acima se conclui que repetidas e breves exposições a altas concentrações ou exposições contínuas em baixas concentrações, são as condições que podem ser encontradas no manuseio de bissulfeto de carbono. Nessas condições, vários sintomas característicos de uma intoxicação progressiva podem se manifestar. Esses sintomas são:

- Fadiga;
- Perda de memória;
- Insônia;
- Dor de cabeça;
- Irritabilidade excessiva;
- Melancolia;
- Perda de apetite;
- Distúrbios nas funções sexuais;
- Distúrbios visuais;
- Perda dos reflexos;
- Alucinações;
- Demência crônica.

Em alguns casos de envenenamento em estágio adiantado, foram observadas variações degenerativas no sangue.

O efeito predominante de exposição a altas concentrações de bissulfeto de carbono é a narcose, causando perda de consciência precedida por delírio e seguida de morte por deficiência respiratória.

Exposições menos severas podem resultar em dor de cabeça, tonteira, distúrbios respiratórios, gastrintestinais, perdas de visão e lesão no sistema nervoso central.

O contato direto com o vapor ou líquido com a pele pode produzir dermatite.

Os estudos da ação tóxica sobre animais e seres humanos mostram os seguintes resultados:

- a) Concentração letal por inalação humana 4000 ppm / 30 minutos. 00
- b) Concentração letal intraperitônio letal em porquinhos da Índia 400 mg / kg<sup>-1</sup>.
- c) Concentração letal por inalação no homem 2000 ppm / 5 minutos.
- d) Concentração letal 50% via oral em ratos 3188 mg / kg<sup>-1</sup>.
- e) Concentração letal via oral em camundongo 2780 mg / kg<sup>-1</sup>.
- f) Concentração letal 50% via oral em coelho 2550 mg/kg<sup>-1</sup>.
- d) Concentração letal 50% via inalação em camundongos 10000 mg/kg<sup>-1</sup>.

Os efeitos neurotóxicos tais como nervosismo, irritabilidade, tremores, indigestão, dor de cabeça, perda de apetite, polineurites e psicoses, estão relacionados a neurotoxinas, onde cada uma delas de alto poder agressivo, ainda que em baixa concentração, pode causar lesões no sistema nervoso e outros sistemas nos seres humanos.

As tabelas de especificações e propriedades a seguir são dados de referência e não se constituem em parâmetros de garantia.

### 3.2.2 Especificações do bissulfeto de carbono (CS<sub>2</sub>)

VARIÁVEIS	UNIDADE	VALORES
Concentração	% peso	99,5 (mínimo).
Densidade (20 / 4° )		1,270 (mínimo).
Resíduo	ppm	100 (máximo).
Teor de ácido sulfúrico	ppm	0.10 (máximo).

Fonte: (Indústria Química Elekeiroz).

### 3.2.3 Propriedades do bissulfeto de carbono (CS<sub>2</sub>).

VARIAVEIS	UNIDADE	VALORES
Fórmula química molecular		CS <sub>2</sub>
Ponto de fusão	°C	-112
Ponto de ebulição	°C	46
Densidade do vapor	Ar=1	2,57
Pressão do vapor	300 mm Hg <sup>°C</sup>	20
Massa específica	cm <sup>-3</sup>	1,26
Ponto de fulgor	°C	-30
Limite de explosão	%	1 – 50
Temperatura de auto-ignição	°C	90
Solubilidade em água		Insolúvel

Fonte: Indústria Química Elekeiroz.

3.2.4 **Estabilidade** o CS<sub>2</sub> é estável, extremamente inflamável, altamente volátil. Notadamente baixo ponto de fulgor e amplo limite de explosão. Logo as operações de manuseio desta substância química perigosa requerem sistemas contra calor, fricção, choque, luz do sol. O CS<sub>2</sub> reage de forma violenta com flúor, poeira de zinco, cloro líquido com presença de ferro.

**3.2.5 Incompatibilidade o CS<sub>2</sub>** é incompatível com agentes oxidantes fortes, alumínio, zinco, grande parte de metais comuns, óxido de nitrogênio, flúor, cloro e hipocloritos.

**3.2.6 Ecologicamente o CS<sub>2</sub>** quando liberado no solo se volatiliza, lixívia e pode se tornar biodegradável. Na água, a substância volatiliza e no ar degrada. Não apresentar alto poder de bioacumulação.

Para as operações de transporte de substâncias assim como o bissulfeto de carbono deve ser considerado os fenômenos de aumento de volume a pressão constante, quando ocorrem alterações de temperatura aumentando o volume do gás o que, aliás, é diretamente proporcional à mudança da temperatura absoluta. Nos percursos longos as substâncias se submetem a situações climáticas diferentes. Sob este aspecto a especificação das válvulas de alívio instaladas no vaso, por exemplo, depende das características da substância química, identificadas na etapa de análises.

Ao lado das abordagens, neste caso de análise do bissulfeto de carbono, certamente será mais fácil interpretar os riscos expostos por uma unidade transportando substâncias químicas perigosas, como ilustrado nas figuras a seguir.

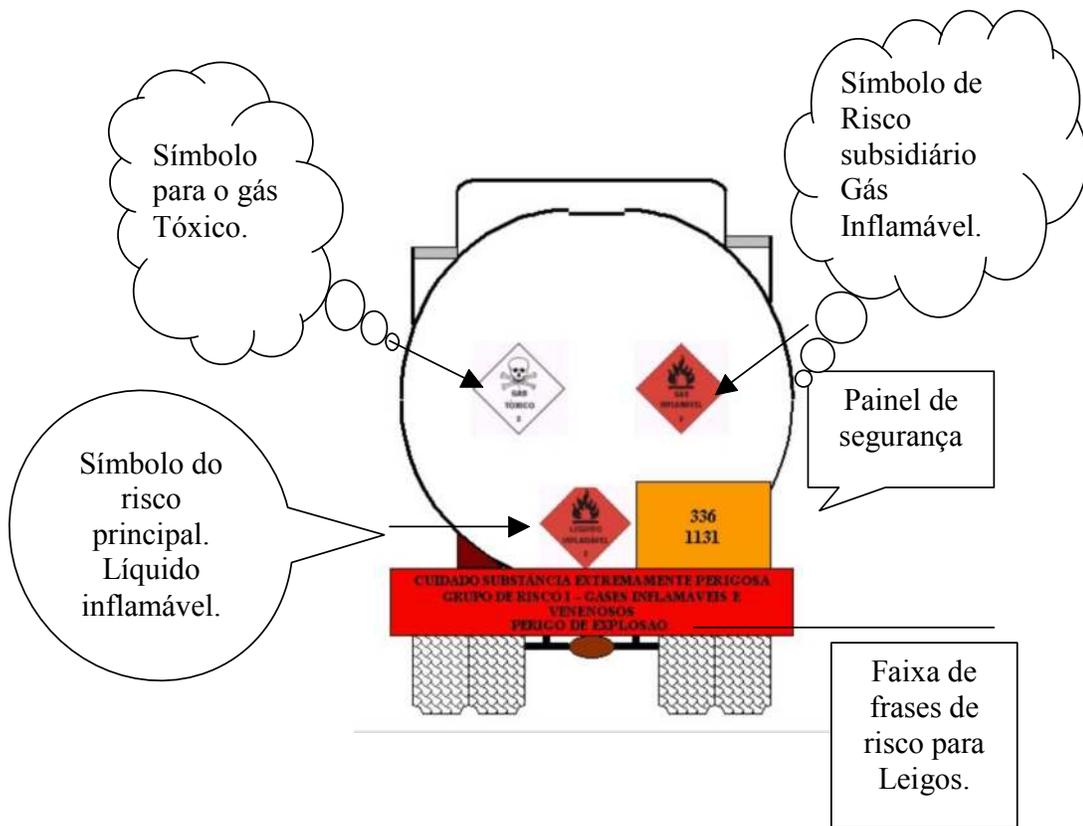


Figura – 47 - Sinalização traseira de unidade de transporte sinalizada para transportar bissulfeto de carbono.

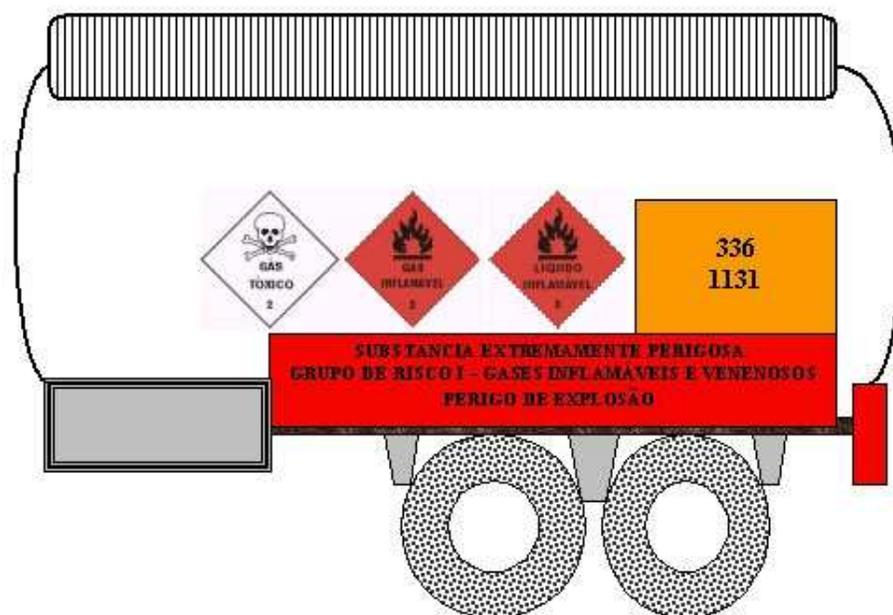


Figura 48 – Sinalização lateral de uma unidade de transporte sinalizada para transportar bissulfeto de carbono.

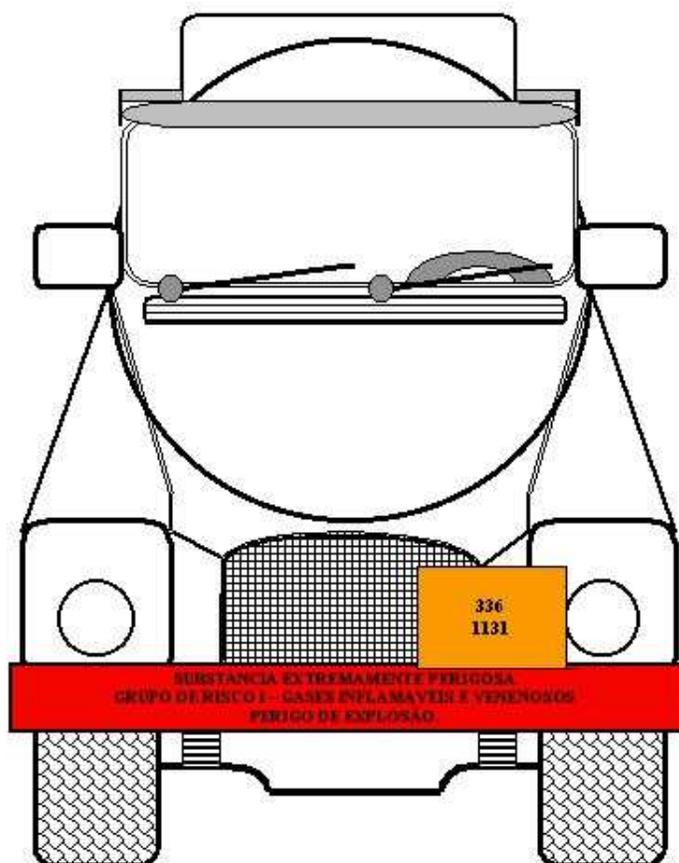


Figura 49 – Sinalização dianteira de uma unidade de transporte sinalizada para transportar bissulfeto de carbono.

**3.3 O transporte de materiais poliméricos** – os materiais poliméricos não se constituem numa descoberta do presente – eles vem sendo usados desde a antiguidade. A diferença é que antigamente eram usados materiais poliméricos naturais. No entanto esses materiais fazem parte de um processo que requer tecnologia sofisticada envolvendo reações de química orgânica. Aliás, isto começou na segunda metade do século XIX. A partir daí, graças à química, começaram a surgir polímeros modificados partindo de materiais naturais. Na atualidade inúmeros processos de materiais poliméricos estão sendo implementados, aperfeiçoados e viabilizados para obtenção de plásticos, borracha e resinas diversas. Com o decorrer do tempo esses processos ficam cada vez mais sofisticados, graças a uma engenharia molecular cada vez mais complexa. Os polímeros condutores de eletricidade são um exemplo claro de matérias orgânicas, que apresentam seqüências de átomos de carbonos ligados a átomos de hidrogênio e também entre si por ligações simples e duplas.

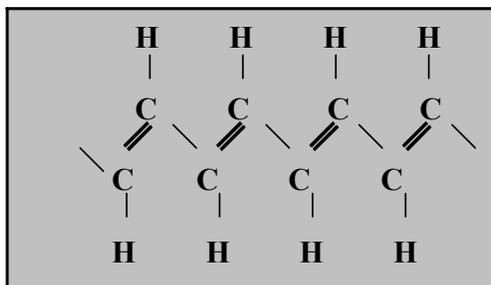


Figura - 50 Estrutura de átomos de ligações simples e duplas para átomos de carbono e hidrogênio.

Os polímeros já são tão extensamente discutidos e analisados e por isso pareceu interessante incluí-los neste trabalho. Por quê haveria ainda de acrescentar as discussões ao transporte de substâncias químicas perigosas? O que poderia ser adotado diante dessas questões de transporte? Que nova perspectiva poderia ser adotada diante do aqui

exposto até agora passado despercebido aos analistas em relação às condições especiais para transporte? Será que estamos, aqui, num terreno em que se possam esperar novas descobertas? Parece oportuno, chamar a atenção para as questões do transporte de materiais poliméricos.

Se todas as substâncias químicas transportadas fossem iguais à inércia dos hidrocarbonetos saturados pelo fato da quase ausência de reatividade, então essas questões de transporte não teriam importância. O fato é que os materiais poliméricos estão mais para os grupos funcionais, que, em geral são muito mais reativos que o “esqueleto” de carbono. Vejamos o propileno, em ordem de complexidade dos hidrocarbonetos não-saturados, que tem a fórmula  $C_3H_6$ . O propileno é uma das substâncias químicas inseridas no grupo do propeno, nas regulamentações nacional e internacional de transporte. Como essa substância deve ser transportada? Qual potencial de riscos que ela apresenta? O que adotar para facilitar a interpretação dos riscos? É oportuno discorrer sobre este assunto.

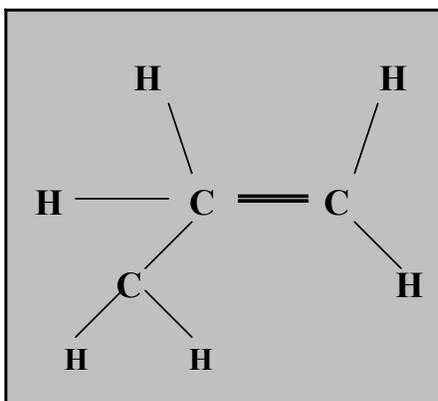


Figura - 51 Estrutura de Propileno (hidrocarboneto não-saturado).

O que há de interessante nas proposições deste estudo de casos é que as exposições que o compõe a primeira vista, pode constituir apenas a superfície textual visível de uma elaboração teórica, mas a medida do desdobramento passa uma aprendizagem efetiva sobre a interpretação dos símbolos de risco aplicados no transporte de substâncias químicas perigosas. Por exemplo, sob a visão do engenheiro químico a figura 51 acima é identificada como hidrocarboneto não-saturado, mas para uma pessoa leiga nada significa.

Historicamente sob o ponto de vista das operações de transporte à maioria dos engenheiros químicos e químicos bem como na percepção do público os símbolos da figura abaixo (identificação dos riscos no transporte de propileno) não são interpretados adequadamente porque a maioria não sabe o que significa.

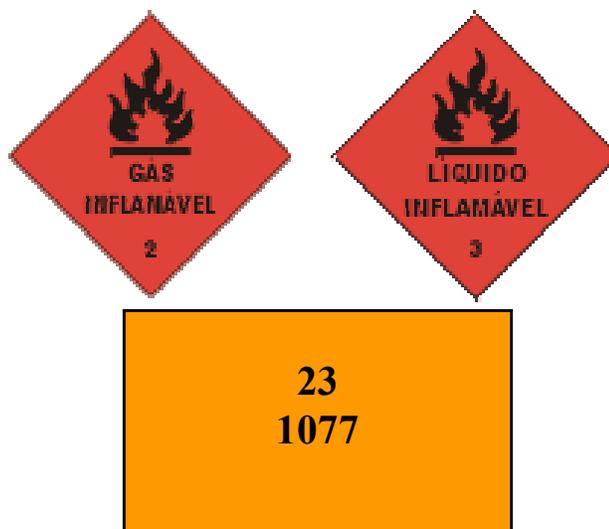


Figura 52 – Conjunto de identificação de risco no transporte de propileno.

Engenheiros químicos e de outras funções multidisciplinares devidamente capacitados para lidar com substâncias químicas certamente logo identificarão nos símbolos tratar-se de um gás extremamente inflamável - mas qual a intensidade dos riscos? A resposta para essa

pergunta depende das informações remanescentes dos ensaios e simulações de laboratório. No caso deste material polimérico estamos diante de uma substância química perigosa com potencial de inflamar-se com facilidade quando próximas a fontes de calor, fagulhas ou chamas. Seus vapores podem deslocar-se até fontes de ignição e provocar retrocessos das chamas. Os vasos podem explodir quando expostos ao calor. Quando confinados há risco de explosão do vapor e dependendo da temperatura mesmo em ambiente aberto há riscos do vapor causar explosão.

Com relação aos riscos tóxicos os vapores podem causar tonturas e sufocação, o contato causa lesões graves por congelamento e quando sob o fogo pode causar a emissão de gases tóxicos e venenosos.

Como já dito o acréscimo de faixas com frases de risco tem objetivo de chamar a atenção da percepção do público para minimizar a exposição aos riscos. No transporte de propileno aplicar a faixa ilustrada a seguir.

**CUIDADO! SUBSTÂNCIA QUÍMICA MUITO PERIGOSA -  
GRUPO DE RISCO I – EVITE O CONTATO SOB PENA DE  
LESÕES GRAVES - SOB ALTA TEMPERATURA EMITE  
GASES VENENOSOS**

Figura 53 – Faixa com frase de riscos para transporte de propileno.

Os polímeros são tão intensamente discutidos e analisados que assim como o Departamento de Tecnologia de Polímeros da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, a maioria das grandes universidades dispõe de departamentos específicos para materiais poliméricos. Estes materiais naturalmente fazem parte da cadeia de suprimentos e pelo que representam não poderiam deixar de ser incluídos neste trabalho. Infelizmente os materiais poliméricos, pela imensidade e sofisticação das formulações, não recebem uma atenção adequada para as operações de transporte que, por conseguinte fazem parte do grupo de substâncias

químicas, cuja classificação de risco e grupo de risco são omitidos quando se usa a simbologia de risco da classe nove, “substâncias químicas não classificadas”. Aqui não se coloca em dúvida a utilidade dos materiais poliméricos, mas não poderia deixar passar despercebido que neles há potencial de risco se expostos a climas inadequados, como temperaturas oscilantes, reações com outros materiais incompatíveis, etc.

O propósito, das exposições sobre polímeros é chamar a atenção dos gerenciadores de processos de produção para os critérios de transporte das substâncias químicas, os monômeros. Sem dúvida os monômeros integram um volume muito grande de novas matérias primas e, portanto, é importante assimilar alguns fundamentos físico-químicos inerentes aos produtos a serem transportados. O potencial de incêndio durante o transporte existe. Sobre os materiais poliméricos é possível afirmar que grande parte deles quando queimam liberam grande quantidade de gases tóxicos, com compostos de cloro, bromo e outros sais metálicos. Esses sais quando expostos a altas temperaturas e ao fogo tendem a dificultar a evacuação em ambientes com poucas áreas de escape. A intoxicação é um fator de risco considerável, representando a principal causa das vítimas fatais.

Por exemplo, a celulose forma as paredes de todos os vegetais trata-se de material insolúvel em água, álcool e solventes de laboratório – se dissolve no ácido sulfúrico, solução amoniacal de óxido de cobre e ainda depois de tratada com soda cáustica, no bissulfeto de carbono. Sob o aspecto da química é um hidrato de carbono relacionado com açúcar e amido reagindo com álcool. Assim, a estrutura da celulose esta inserida no grupo de moléculas encadeadas e polimerizadas, como uma borracha natural.

A primeira vista, para os leigos, pode parecer uma substância que não oferece risco, entretanto é um material combustível e incompatível

com agentes oxidantes fortes. Relacionando a celulose a toxicologia é possível afirmar que em contato com o fogo emite gases inflamáveis e venenosos e em contato com a pele e olhos pode causar queimaduras sérias, as águas residuais de celulose podem poluir. Se observarmos os critérios básicos expostos na regulamentação de transporte lá está citado que este material não é perigoso para o ar, mar e transporte rodoviário.

No preparo de substâncias poliméricas a termodinâmica de equilíbrio e potencial químico é muito importante na análise de muitas substâncias. As simulações e ensaios em laboratórios são úteis para a coexistência de fase das condições de equilíbrio nas reações químicas. Isso se justifica sob o aspecto de que energia livre sob fluxo pode depender do tensor viscoso de pressão, tensor de configuração e/ou gradiente de velocidade influenciando no estado de não-equilíbrio da substância química com relação à quantidade transportada. Os materiais poliméricos transportados em relação à definição do potencial químico em situações de não-equilíbrio representam campo amplo para a análise clássica geral em diagramas de fases de reações e estados de não equilíbrio que as substâncias podem se sujeitar durante o transporte.

O objetivo dos ensaios científicos é mostrar que os efeitos da temperatura podem influenciar diretamente nas taxas de reação, tais como iniciação, propagação e inibição, aumentando a taxa global de reação.

**3.3.1 Em via de regra para determinar a fórmula estrutural de um composto orgânico,** são necessárias experiências muito complexas e trabalhosas. Isso se aplica aos materiais poliméricos que fora da fábrica, no decorrer do transporte, passam por regiões com nível de temperaturas oscilantes. Aqui não se tentará detalhar as experiências necessárias à determinação de estruturas moleculares, as exposições servem somente

para afirmar que, embora uma operação de transporte não seja uma atividade científica esta agregada a ela.

A temperatura também afeta o peso molecular do polímero, onde as altas temperaturas produzem polímeros de baixo peso molecular.

**3.3.2 Efeitos de impurezas e inibidores** - para ilustrar este caso podemos citar que através de experiências simples, com a fórmula empírica de alguns compostos formados de carbono, hidrogênio e oxigênio, é possível descobrir a igualdade entre a fórmula empírica e molecular. Mas afora isso a situação fica complexa, o que pode levar o engenheiro químico a propor duas estruturas possíveis para um composto que tenha fórmula empírica igual a molecular, como  $C_2H_6O$ , por exemplo. Ora, os materiais poliméricos existem e é exatamente, por terem estruturas diferentes que podemos explicar sobre as consideráveis diferenças em seu comportamento físico e químico durante as operações de transporte. Em muitas operações de transporte se usam inibidores e solventes - monômeros nem sempre estão livres de impurezas. Essas impurezas reagem com os radicais, diminuindo a taxa de reação. A taxa de reação pode ser temporária, sendo sentida até que as impurezas sejam consumidas. Os efeitos das impurezas são mais sentidos em polimerizações a baixa temperatura pela baixa aplicação de inibidores.

**3.3.3 Inibidores** - São substâncias adicionadas no processo reacional para decrescer a taxa de reação. São os chamados retardadores.

As exposições deste caso de estudo de monômeros têm o objetivo de discursar sobre inibidores que podem ser adicionados aos materiais poliméricos para evitar reações não programadas durante as operações de transporte. Então, no caso do monômero não purificado antes do processo de polimerização, o efeito do inibidor será igual ao das

impurezas. Historicamente, nos contratos de prestação de serviços entre empresas de transporte e indústrias químicas, alguns materiais poliméricos apresentam traços à primeira vista de contaminação quando chegam no ponto de descarga – isso provoca discussões e dúvidas sobre de quem foi à culpa – teria sido no transporte? O transportador descontaminou adequadamente o vaso antes de liberá-lo para o transporte? O engenheiro químico do processo purificou o monômero adequadamente? O inibidor aplicado foi na dose certa?

O número de compostos poliméricos conhecidos é grande e todos os dias surgem outros novos. Para estudar com eficiência o banco de informações, é essencial dispor de sistema para distinguir os diferentes compostos já existentes e criar nomes para os novos. A nomenclatura em química orgânica é complexa e no rol de substâncias classificadas pelos regulamentos de transporte existem muitas antigas que receberam nomes arbitrários que se mantêm em uso comum. Muitas vezes esses nomes não se encaixam em nenhum esquema sistemático de classificação química, também na classificação para transporte. Diante disso, o estudo de química orgânica correlacionada com transporte requer do engenheiro (a) químico (a) familiarizar-se com os sistemas lógicos atuais da química orgânica, tanto quanto com os nomes antigos, muitas vezes mais conhecidos. Por exemplo, o etanol que nada mais é do que álcool etílico ou álcool de cana.

Em função da complexidade é possível que muitas vezes o engenheiro (a) químico (a) encontre dificuldades para identificar as causas da contaminação de monômeros durante as operações de transporte. Sob este aspecto é compreensível levando em conta que a formulação de polímeros é uma ação inerente ao controle de processo e o transporte faz parte. No processo primário, quando se processa a polimerização, requer do engenheiro (a) químico (a) atencioso acompanhamento nas complexas técnicas de fabricação. O controle das reações químicas se dá sob

condições controladas de temperatura e pressão. Num trajeto de transporte, especialmente distâncias longas os monômeros circulam por diversas regiões com pressões e temperaturas diversas. Por exemplo, uma unidade de transporte, transportando determinado tipo de material polimérico entre o pólo de Camaçari (BA) e São Paulo, num determinado momento às pequenas moléculas se entrelaçam umas nas outras para formar uma molécula gigante. Assim, pode ocorrer uma polimerização não prevista e por consequência não interrompida. Em casos assim identificar as causas é um processo complexo.

Como já exposto o número de compostos poliméricos é imenso, por isso neste trabalho a base de discussão será acrilato de butila, elemento químico de fórmula molecular  $C_7H_{12}O_2$ , trata-se de um líquido claro, incolor, móvel; odores intensos ardentes e penetrantes. De acordo com o regulamento de transporte de produtos perigosos, o destaque é o símbolo de líquido inflamável, entretanto é aplicado em inúmeras substâncias líquidas inflamáveis de odor leve. Diante das características, principalmente quanto ao odor intenso, as informações do painel de segurança e rótulo de risco na prática, não convencem a percepção do público. Vide abaixo os acessórios de sinalização, atualmente aplicados no transporte.



Figura 54 – Painel de segurança + rótulo de risco para transporte de acrilato de butila.

No transporte internacional o símbolo de risco chama a atenção mesmo de pessoas leigas.



Figura 55 – Rotulo de risco HARMFUL

São sinônimos do acrilato de butila: éster butílico do ácido acrílico inibido, BA, ácido acrílico n-butil éster e 2-propionato de butila.

Propriedades do acrilato de butila.

VARIÁVEIS	UNIDADE	VALORES
Fórmula química		$C_7H_{12}O_2$
Ponto de fusão	$^{\circ}C / ^{\circ}F$	- 65 / - 85
Ponto de ebulição	$^{\circ}C / ^{\circ}F$	148 / 298
Densidade do vapor	Ar = 1	N/D
Pressão do vapor	3.3 mm Hg $20^{\circ}C / ^{\circ}F$	20 / 68
Massa Específica.	$g\ Cm^{-3}$	0,89
Ponto de fulgor	$^{\circ}C / ^{\circ}F$	41 / 106
Limite de explosão	%	1,3 –9,9
Temperatura de auto-ignição	$^{\circ}C / ^{\circ}F$	293 / 559
Solubilidade em água	%	0,2

Toxicologia:

- Pessoas que inalam a neblina ou vapor em altas concentrações correm sérios riscos de fatalidade.

- O contato com a pele pode irritar de forma moderada.
- O contato com os olhos é perigoso porque a acrilato de butila tem características corrosivas com potencial de causar injúria irreversível.
- A exposição contínua pode causar danos ao fígado e alterações no humor e temperamento dos indivíduos.

A acrilato de butila está entre as substâncias com o número de risco expresso no regulamento de transporte de produtos químicos perigosos. Entretanto, a sinalização não expressa todas as características de risco, como o potencial corrosivo, por exemplo. Nesse caso caberia aplicar nas unidades de transporte a faixa com frases de segurança.

**GRUPO DE RISCO II - SUBSTÂNCIA MUITO PERIGOSA.  
MANTENHA DISTÂNCIA DE ALTAS TEMPERATURAS.  
VENENOSA QUANDO INALADA OU ABSORVIDA PELA PELE**

Figura 56 faixa de frase de risco para o transporte de acrilato de butila.

**3.3.4 Avaliação dos Riscos Subsidiários** - Em relação à avaliação desses riscos, pelo número das formulações de materiais poliméricos certamente entre eles haverá substâncias químicas perigosas que ao nível de transporte podem se enquadrar nas definições de duas ou mais classes de risco. Nesses casos a determinação do risco principal deve ser feita utilizando-se a matriz de procedência de características de riscos, onde além do rótulo de risco principal aplicar-se-á aqueles correspondentes aos grupos de riscos subsidiários. Vejamos os indicadores na tabela a seguir.

Matriz de aplicação de rótulos de riscos subsidiários.

Grupo de Risco Subsidiário	Classe ou Subclasse de Risco subsidiário						
	3	4.1	4.2	4.3	5.1	6.1	8
I	X	X	X	X	X	X	X
II	X	X	X	X	X	X	X
II			X	X			

O “X” sob as classes e subclasses de risco significa que no transporte das substâncias aplicar-se-á rótulos de risco subsidiários.

**3.3.5 Definição de toxicidade** (classificação por vias oral e dérmica, bem como para inalação de pós-neblinas) - quadro a seguir.

Tabela de critérios de classificação administração por via oral, contato dérmico e inalação de pós-neblinas.

GRUPO DE RISCO	TOXICIDADE ORAL DL <sub>50</sub> (mg / kg)	TOXICIDADE DÉRMICA DL <sub>50</sub> (mg / kg)	TOXICIDADE POR INALAÇÃO PÓS-NEBLINAS CL <sub>50</sub> (mg/l)
I	≤ 5	≤ 40	≤ 0,5
II	> 5 – 50	> 40 - 200	> 0.5 - 2
III	Sólidos > 50 – 200 Líquidos > 50 - 500	> 200 - 1000	> 2 - 10

Nestes critérios de classificação, as particularidades que se seguem, são tomadas como perspectivas das pesquisas científicas que as precederam, como os critérios para determinação da toxicidade por inalação de pós-neblinas, baseados em dados de CL<sub>50</sub> relativos a um

período de 60 minutos de exposição onde tal informação deve ser utilizada quando disponível. Quando for o caso onde se dispõe de dados relativos a 4 horas de exposição de pós-neblina, por exemplo, é aceitável multiplicar os valores por 4, substituindo os dados expostos no quadro acima pelo novo produto obtido.  $CL_{50}(4h) \times 4$  equivale a  $CL_{50}(1h)$ .

Algumas substâncias químicas líquidas possuem vapores tóxicos, as quais devem ser classificadas num dos seguintes grupos de risco.

- No grupo de risco I se  $V \geq 10 CL_{50}$  e  $CL_{50} \leq 1000 \text{ ml} / \text{m}^3$ .
- No grupo de risco II  $V \geq CL_{50}$  e  $CL_{50} \leq 3000 \text{ ml} / \text{m}^3$  não atendidos os critérios para o grupo de risco I.
- No grupo de risco III  $V \geq 1/5 CL_{50}$  e  $CL_{50} \leq 5000 \text{ ml} / \text{m}^3$  e não atender os critérios para os grupos I e II. Aqui pode acontecer caso de substâncias lacrimogêneo gasoso, cujos valores correspondem ao grupo de risco III, mas por suas condições diferentes devem ser re-classificadas para o grupo de risco II.

Onde V é a concentração de vapor saturado, em milímetros por metro cúbico de ar, à temperatura de 20°C e a pressão normal.

**3.4 Operações de transporte de resíduos químicos** – na maioria dos processos de manufatura os resíduos industriais não são extensamente discutidos e analisados no controle de processo. Por quê então havia de acrescentar essa discussão nesta dissertação de mestrado sobre transporte de substâncias químicas perigosas? Por quê se haveria de perder tempo com assunto que não representa nada para os resultados econômicos da corporação? Em princípio estaríamos diante de perguntas sem respostas, mas parece oportuno, através deste estudo de caso, tentar

uma breve resposta a essas considerações. O que há de interessante nesta questão é que as proposições que a compõe representa uma chamada de atenção para uma ação de antecipação a problemas futuros, principalmente nas operações de transporte dos resíduos químicos. É claro que, em maior ou menor grau, classificar resíduos é uma atividade complexa e por incrível que pareça essa etapa do processo não recebe uma atenção adequada, embora necessite de acompanhamento tão completo quanto o controle de processo, por exemplo.

3.4.1 Para estudar este caso na logística de transporte nas questões de resíduos químicos a base foi os resíduos metálicos remanescentes de operações de corte – substância que faz parte das operações de transporte de substâncias químicas perigosas. Trata-se de resíduos químicos de óleos nas operações de corte, muito necessária em determinados processos industriais, em princípio, sob o ponto de vista das exposições acima, não representa risco significativo. No entanto quando se mistura com outras substâncias reagentes e reagidas se tornam resíduos químicos industriais, transformando-se em substância química perigosa para transporte.

Partindo das atividades práticas na logística de transporte, as tarefas de classificação dos riscos de substâncias químicas a ser queimadas em autos fornos de fábricas de cimento ilustram este estudo de caso. A prática foi classificar um lote de substâncias químicas residuais geradas de processo de determinada indústria de elevadores. O diagnóstico foi de que não havia um histórico de análise na fase de controle do processo. Pelas reações observadas superficialmente, se tratava de uma substância química perigosa, no estado de resíduos industrial aparentemente com a presença de: solventes oriundos da limpeza de máquinas, residuais metálicos oriundos das operações de corte, alterações diversas acidentais com outras substâncias (o próprio óleo de corte, por exemplo).

Na maioria das vezes as razões dos resíduos químicos são representadas por água; presença de solventes; impurezas sólidas oriundas do meio ambiente, resíduos metálicos de operações de corte, materiais poliméricos de formulação desconhecida, etc; variações de viscosidade; contaminação com outro tipo de óleo mineral e oxidação manifestada por alteração de odor e aparência – no caso ora analisado, após as perguntas: esta substância é apenas um resíduo simples de óleo de corte? Há histórico de informações do produto? Na falta de respostas prevaleceu o índice de acidez.

No caso de resíduos químicos o trabalho do (a) engenheiro (a) químico (a) é complexo em função da falta de respostas como as colocadas no parágrafo anterior. Infelizmente, na maioria, os resíduos industriais, não dispõem de um plano de controle passo a passo como no controle do processo de transformação dos produtos normais. Assim, quando em seu estado de resíduo, a classificação para transporte torna-se complexa e demorada em função da falta de histórico de controle.

O cenário, neste caso era uma área muito grande, onde estavam expostos ao tempo centenas de tambores de resíduos químicos aguardando destinação. A questão requereu ações de pesquisa e análise química com o propósito de avaliar o grupo de risco e possibilitar a classificação da substância. Embora o plano estabelecido para destinação fosse utilizar os resíduos como combustível em autos fornos de fábricas de cimento, antes seria preciso fazer a classificação para o transporte independente dos lotes a ser queimados sem oferecer riscos à saúde, segurança e meio ambiente. Aspectos dos tambores vistos de cima era uma camada de H<sub>2</sub>O sobre um sólido amarelado quando homogeneizado com água se transformava numa substância viscosa amarronzada, que no processo de homogeneização fragilizava os tambores, rompendo-se alguns deles.

Como já exposto nos capítulos anteriores conhecendo os métodos de classificação dos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas é possível chegar a um grau de liberdade para analisar naturalmente os dados físico-químicos e toxicológicos e então determinar a natureza do grau de risco: alto, moderado e baixo.

Após análise do efeito da substância nas embalagens se concluiu que os tambores ofereciam “zero” segurança para o manuseio direto, quando então foi aplicado um plano para homogeneizar a substância cuidadosamente com objetivo de prevenir o rompimento dos tambores. O processo de transferência utilizado foi através de uma bomba de sucção sugando a substância dos tambores para um container tanque e então viabilizar a operação de transporte para os tanques de combustível das fábricas de cimento.

Para ser transportada a substância foi classificada como: líquido corrosivo, venenoso N.E. com aplicação dos símbolos e painel de segurança e faixa com frases de risco abaixo...



Figura 57 – conjunto de sinalização de riscos para o transporte de resíduos industriais.

No princípio o processo teria sido uma operação de transporte adequada se na descarga não tivesse ocorrido um processo de polimerização inesperado, cujo efeito foi uma camada espessa colada nas paredes internas do container, requerendo um processo complexo para recuperação do equipamento.

Independentemente da obrigação de cumprir a Regulamentação de Transporte de Produtos Químicos Perigosos, neste trabalho se tomou o *capítulo 19 da Agenda 21 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento - Rio de Janeiro em 1992)* por uma teoria da representação de conhecimento das coisas para explicar as relações entre o domínio dos símbolos e o domínio das coisas. Em termos concisos, o

objetivo é mostrar que quaisquer processos precisam de planos bem definidos, assim como...

- Dados científicos que permitam a avaliação dos riscos inerentes à movimentação e transporte de produtos químicos perigosos;
- Recursos para a análise de risco dos resíduos;
- Sistema de ampliação e aceleração das providências para a avaliação dos riscos de origem química;
- Harmonização dos critérios de classificação e rotulagem de produtos químicos;
- Intercâmbio de informações sobre produtos químicos tóxicos e riscos de origem química.

### **3.5 Fichas de Segurança.**

Em todas as operações de transporte de produtos químicos sejam perigosos ou não as fichas de segurança representam relatórios importantes em relação às características físico-químicas dos produtos, principalmente em relação à avaliação dos riscos apresentados no decorrer das operações de manuseio e transporte. Ao lado de um processo amplo de informações, por tornarem as fichas de segurança um processo mais amplo de desdobramentos conceituais, é possível identificar detalhes sobre o que fazer em caso de derramamento, que concebe não como teoria, mas como base nas ações seguras a ser tomadas.

#### **3.5.1 Formaldeído - roteiro sugerido para desenvolvimento da ficha de segurança.**

##### **1.0 Identificação do Produto.**

###### **1.1 Nome Químico: Formaldeído.**

1.2 Sinônimo: N/A.

1.3 Marca: N/A.

1.4 Código CAS No. 50-00-0 – EC No. 200-001-8.

## 2.0 Aplicações.

2.1 Como matéria-prima em diversos processos industriais.

## 3.0 Emergência: 193 e 0xx 11...

## 4.0 Composição e Informações sobre ingredientes.

4.1 Aldeído fórmico – gás incolor de odores agressivos e característicos, bactericidas; metanal.

4.2 Natureza Química: química orgânica.

4.3 Fórmula Molecular: CH<sub>2</sub>O.

4.4 Peso Molecular: 45,04

## 5.0 Componentes que envolvem risco.

5.1 Formaldeído 37% solução.

5.2 Principais perigos: exposição ao fogo e contato com seres vivos.

5.3 O formaldeído é um material combustível sensível à claridade e ao ar. A polimerização pode ser instantânea.

5.4 Saúde: Causa queimaduras – muito tóxico por inalação, inspiração e ingestão – pode causar danos aos rins – pode causar reações alérgicas – pode causar sensibilização – pode causar danos na herança genética – lacrimogêneo de 20 ppm em diante – muito destrutivo das mucosas e no trato respiratório, olhos e pele.

5.5 Perigos físico-químicos: o formaldeído é estável – entre as substâncias a serem evitadas incluem-se bases fortes, ácidos fortes, agentes oxidantes fortes, anilina, fenol, isocianato e anidridos.

5.6 Meio ambiente: as águas residuais deste material podem causar poluição. Em caso de derramamento sobre a água será necessário prestar informações aos órgãos ambientais de controle.

5.7 Perigos específicos.

5.7.1 Fogo e explosão: substância inflamável/combustível – afastar as vítimas para local fresco e bem ventilado, longe da área afetada – chamar assistência médica de emergência – se a vítima não estiver respirando aplicar respiração boca-a-boca e se a respiração não voltar ao normal administrar respiração artificial (oxigênio).

5.7.2 Contato com a pele: o contato excessivo com a pele causa reações alérgicas – lavar a pele com água em abundância por 15 minutos no mínimo.

5.7.3 Contato com os olhos: o contato com os olhos causa irritações, lacrimeja – lavar os olhos das vítimas com água corrente por um tempo mínimo de 15 minutos.

5.7.4 Sintomas mais importantes: a ingestão do formaldeído pode provocar irritações sérias – danos aos rins – mutações na herança genética.

5.7.5 Proteção necessária para os prestadores de primeiro socorro: equipamentos autônomos de respiração e roupas protetoras adequadas para manusear produtos químicos – luvas de PVC – máscara de proteção facial – óculos de segurança com abas laterais.

5.7.6 Nota ao médico: pacientes remanescentes da exposição estão sujeitos a danos na herança genética, reações alérgicas, destruição das membranas mucosas. Danos aos rins podem ocorrer.

#### 6.0 Medidas de prevenção e combate a incêndio.

- 6.1 Algumas substâncias a base de formaldeído podem reagir de forma violenta com água.
- 6.2 Incêndios de pequenas proporções podem ser combatidos com pó químico CO<sub>2</sub>, halogenados, neblina de água e espuma normal.
- 6.3 Incêndios de grandes proporções podem ser combatidos com neblina de água ou espuma normal.
- 6.4 É recomendável resfriar lateralmente as embalagens expostas ao fogo e mesmo depois de extinguidas as chamas manterem-se longe das embalagens até a certeza de que estão inteiramente resfriadas.
- 6.5 Após avaliar os riscos remover os recipientes da área afetada pelo fogo se isso poder ser feito com segurança.
- 6.6 Em caso de fogo intenso em área de carga, utilizar mangueiras com suporte manejadas a distância ou canhão monitor, antes avaliar a situação e não sendo possível abandonar a área e deixar o material queimar.
- 6.7 Nunca iniciar o combate ao fogo sem antes se proteger com roupas de proteção adequadas.
- 6.8 Quando se tratar de tanque sobre a ação do fogo onde pode se escutar o vazamento através do aumento do barulho do dispositivo de segurança (alívio e sinais de descoloração do tanque), afastar-se imediatamente para longe do local.

## 7.0 Medidas de controle para derramamento.

- 7.1 Avaliar a extensão do derramamento e estancá-lo se isso poder ser feito com segurança.
- 7.2 Eliminar fontes de ignição.
- 7.3 Não fumar na área de risco.
- 7.4 Aplicar neblina de água para reduzir possíveis vapores – isso quando não houve ignição em locais fechados.
- 7.5 Não tocar no produto derramado.
- 7.6 Cuidar para que não entre água dentro das embalagens.
- 7.7 Pequenos derramamentos devem ser absorvidos com areia ou outro material absorvente não combustível – guardar os recipientes limpos que devem ser removidos da área afetada e destinados a descarte posterior.
- 7.8 Grandes derramamentos devem ter o fluxo confinado longe do derramamento, para posterior descarte.

## 8.0 Manuseio e armazenamento.

- 8.1 Pode ocorrer a formação de peróxidos explosivos durante o armazenamento – os peróxidos geralmente se formam quando o material é exposto a altas temperaturas – se uma embalagem contendo peróxido é aquecida à concentração aumenta progressivamente remanescendo o risco de explosão.
- 8.2 Não armazenar o formaldeído junto a substâncias tais quais bases fortes, ácidos fortes, agentes oxidantes, anilina, fenol, isocianato e anidridos.
- 8.3 Armazenar o formaldeído em locais secos, limpos e bem ventilados.
- 8.4 Manter as embalagens bem fechadas, aplicar a simbologia de risco e faixas de segurança de forma adequada, inclusive o painel de segurança 1198 e

simbologia de risco 3 inflamável, nas operações de armazenagem e transporte.

#### 9.0 Controle de exposição e proteção individual.

9.1 Medidas de controle de engenharia: determinar a segurança do produto, os riscos a saúde e o impacto ao meio ambiente durante o desenvolvimento do produto, antes da venda, durante o uso e de forma contínua.

9.2 Parâmetros de controle: avaliação objetiva das conseqüências potencial de saúde e meio ambiente ligados ao formaldeído ao longo de seu ciclo de vida, inclusive durante as fases de revisão do processo de formulação, transporte, distribuição e destino final.

#### 10.0 Limites de exposição/indicadores biológicos/informações toxicológicas.

10.1 Experiências em cobaias: oral em mulheres LDLO 108 mg/kg-1, oral em ratos LD50 100 mg/kg-1, intraperitoneal em camundongo LDLO 16 mg/kg-1, na pele de coelho LD50 270g/kg-1.

10.2 Procedimentos para monitoramento EPI(s): bom sistema de ventilação, máscara de proteção facial contra vapores orgânicos e gases venenosos, óculos de proteção para manuseio de produtos químicos, luvas de PVC cano longo e botas de borracha cano longo.

#### 11.0 Propriedades físicas do formaldeído.

11.1 Estado físico: solução.

11.2 Forma: líquida.

11.3 Odor: forte e característico.

11.4 Cor: incolor.

11.5 pH. N/D.

12.0 Temperaturas específicas ou faixas de temperatura nas quais ocorrem mudanças de estado físico.

- Ponto de ebulição: 96°C.
- Faixa de destilação: N/D.
- Ponto de fusão/congelamento: N/D.
- Ponto de fulgor: 56°C.
- Temperatura de auto-ignição: 572°F.
- Limite de explosividade: 7% - 73%.
- Pressão do vapor: 400 mm Hg a 18°C.
- Coeficiente de partição água / octanol: N/E.
- Radioatividade: N/A.
- Densidade do vapor aparente: (AR=1): N/D.
- Densidade específica (g cm<sup>-3</sup>): N/E.
- Gravidade específica (água=1): 1,083.
- Solubilidade em H<sub>2</sub>O: substancial.

13.0 Informações ecológicas.

- Classe de risco/divisão: 3.
- Risco subsidiário: 6.1
- Número de Risco: 360.
- Grupo de Risco: II.
- Grupo de Embalagem: III.
- Comentários: Inflamável - muito tóxico por inalação e contato com a pele - muito tóxico se engolido - pode causar queimaduras - possibilidade de efeitos irreversíveis - pode causar sensibilização no contato com a pele - qualquer quantidade é reportável - qualquer quantidade é regulamentada.

**CUIDADO - SUBSTÂNCIA GRUPO DE RISCO II  
MUITO PERIGOSA POSSIBILIDADE DE  
CAUSAR DANOS COM EFEITOS IRREVERSÍVEIS.**

Figura 58 – Faixa de frases de risco para o transporte de formaldeído –solução.

#### 14.0 Transporte rodoviário no Mercosul.

- Nome apropriado: formaldeído – solução.
- Número da ONU: 1198.
- Classe de Risco: 3
- Risco subsidiário: 6.1
- Número de Risco: 360.
- Grupo de Risco: II.
- Grupo de Embalagem: III.
- Comentários: inflamável / muito tóxico por inalação e em contato com a pele / muito tóxico se engolido / pode causar queimaduras / risco de efeitos irreversíveis / pode causar sensibilização no contato com a pele / qualquer quantidade é reportável e regulamentada.



Figura 59 – rótulos de risco + painel de segurança para o transporte de formaldeído.

**3.5.2 Simulações e Ensaio**s - Um dos objetivos das simulações e ensaios dos diversos produtos químicos perigosos é desenvolver banco de dados para a emissão dos relatórios técnicos de segurança. Então

esses relatórios representam os parâmetros pelos quais os órgãos de controle e atendimento a emergência planejam as ações a serem tomadas em caso dos acidentes envolvendo produtos químicos perigosos. Os produtos químicos, principalmente os materiais poliméricos representam um campo amplo de novas formulações e por isso a meta grandiosa que requer busca constante, pelo que resta muito trabalho relevante a ser realizado no campo de interpretação dos riscos. Uma possibilidade muito explorada consiste em tomá-la em seu imenso campo de informações, examinando como essas informações aprende, reformula e desenvolve alguma problemática preexistente. Para isso, as várias causas discutidas representam mais informações para o desenvolvimento das fichas de segurança de produtos químicos, cuja constância se dá em função do contínuo desenvolvimento de novas substâncias. Os dados físico-químicos, riscos a saúde, segurança e meio ambiente explícitos nas fichas de segurança das substâncias químicas são fundamentais nos atendimentos a emergência.

**3.5.3 Potencial de Impacto Ambiental** - Ao lado de todas abordagens sobre produtos químicos perigosos não poderia deixar de lado o potencial de impacto ambiental nas operações de transporte das inúmeras substâncias químicas perigosas. O próprio sistema requer atenção maior do que se dá a esse assunto em função de que a rotina é a circulação de milhares de unidades carregando produtos químicos rotineiramente expondo o meio ambiente. Por exemplo, a água freqüentemente é utilizada para lavar derramamentos e controlar a expansão das substâncias. Além disso, há um número razoável de substâncias perigosas que podem reagir de forma violenta e explodir quando em contato com água. Há também casos, em relação de substâncias químicas e água em que se devem considerar as condições locais do vento, chuvas, localização e acesso ao acidente, bem como a disponibilidade de outros agentes de controle. O número de variáveis é

imenso, a decisão de relacionar as reações das diversas substâncias em relação ao meio ambiente deve ser tomada por grupo competente e nesse caso as informações explícitas nas fichas de segurança dos produtos químicos influenciarão nas tomadas de decisão.

**3.5.4 Controle de Vapores** - Uma outra situação complexa é controlar os vapores gerados substâncias químicas perigosas, cujo efeito é negativo ao meio ambiente é as seqüelas apresentadas acontece em curto espaço de tempo. Na maioria das vezes, como forma de reduzir a concentração de vapores abaixo de seu limite de inflamabilidade, aplica-se água e, pelas reações expostas no item anterior é necessário instruir-se sobre o emprego de água. Quanto maior for o número de informações nas fichas de segurança das substâncias químicas perigosas maior será a rapidez nas tomadas de decisões quanto ao tipo de atendimento à emergência.

**3.6 Aplicação de Faixas com Frases de Risco** - As aplicações dessas faixas e grupo de risco facilitarão a identificação rápida do nível de risco tanto por leigos como por técnicos de atendimento a emergência – neste trabalho a proposta de aplicação do número de risco e grupo de risco tem o objetivo de fornecer mais recursos para as partes responsáveis no atendimento a emergências. Por outro lado às faixas com frases de risco têm o objetivo de divulgar meios de simples compreensão chamando a atenção das pessoas leigas que se expõem naturalmente às unidades que transportam substâncias químicas perigosas. As faixas são processos mais simples que possibilitam identificar os riscos mais críticos de forma fácil e ágil e assim contribuem para a melhoria do sistema de identificação dos riscos no transporte de substâncias químicas perigosas – ou seja, a concepção da proposição como mais uma melhoria – é capaz de prover um eficiente modelo para o tratamento dos problemas de prevenção aos riscos.

## **CAPITULO 4: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.**

### **4.1 CONCLUSÕES.**

Neste trabalho procurou-se desenvolver, partindo das bases conceituais relacionadas à logística da movimentação de substâncias químicas perigosas. As técnicas podem ser desenvolvidas a partir da implementação das ferramentas propostas.

A revisão e análise de casos foram feitas de forma estruturada, realizada com objetivo de explorar a sua aplicação no preparo de substâncias químicas perigosas para o transporte. Procurou-se também, na apresentação das técnicas explorar pontos fortes e fracos. O foco do trabalho foi agrupar ferramentas, sob o ponto de vista que, na pesquisa bibliográfica há escassez de publicações sobre o assunto. Então, as exposições feitas neste trabalho partiram da experiência prática na movimentação e transporte de substâncias químicas perigosas.

Assim, da corroboração, pelo menos em parte, espera-se sanar dúvidas sobre identificação dos riscos que representam inúmeras substâncias químicas, em última análise de gerenciamento complexo acerca da natureza e formas de percepção dos riscos por pessoas leigas.

O transporte de substâncias químicas perigosas requer dos gerenciadores de processos químicos uma visão horizontal de toda a logística de manuseio e transporte. Essa visão proporciona enxergar as interações entre as várias fases de manuseio seja nas entradas de matérias primas seja nas saídas de produtos acabados. O importante para essa perspectiva é um bom entendimento dos processos de transporte de substâncias químicas perigosas.

Análise, simulações e ensaios poderão servir de base para o modelo de gerenciamento de transporte de substâncias químicas perigosas. Partindo do pressuposto que as substâncias químicas são, em grandes partes, perigosas e que os dados obtidos nos ensaios e simulações representam uma boa alternativa para a determinação dos riscos de transporte, devido a sua aplicabilidade nesses ambientes.

O modelo proposto pode ser considerado como meio de gerenciamento baseado em atividades, com as quais as informações geradas neste trabalho podem ser aplicadas para a melhoria na capacidade de percepção dos riscos com as substâncias químicas perigosas.

Como contribuição deste trabalho pode-se citar:

- Melhoria no isolamento de área.
- Identificação e análise das classes de riscos.
- Identificação e formação dos números de riscos.
- Identificação e formação dos grupos de riscos.
- Meios para preparar unidades de transporte de substâncias químicas perigosas.
- Elaboração de fichas de segurança para o transporte de substâncias químicas perigosas.
- Definição de parâmetros para transporte de substâncias químicas perigosas.

#### **4.2 RECOMENDAÇÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS.**

Tomando como base à importância do número de risco e grupo de risco na geração de informações, algumas recomendações podem ser feitas para trabalhos futuros. Das inúmeras formulações envolvendo produtos químicos perigosos as informações deste trabalho são limitadas.

Inicialmente pode-se sugerir a adoção do modelo proposto para desenvolver sistemas de informações mais completos. Além disso, pode-se também sugerir que novas ferramentas de avaliação de substâncias químicas perigosas possam ser desenvolvidas a partir das ferramentas exploradas neste trabalho.

Há informações e conceitos nas regulamentações oficiais aplicadas no transporte de produtos químicos perigosos. Contudo, não se pode ignorar o permanente desenvolvimento de novas formulações químicas o que requer aperfeiçoamentos constantes nos sistemas de preparo de substâncias químicas perigosas para o transporte. É interessante analisar as exposições sob o ponto de vista de que as proposições compõem uma integração de ferramentas que representa um grande impacto na visibilidade dos riscos incorridos em um sistema de transporte de substâncias químicas perigosas.

A observação do fluxo de transporte de substâncias químicas perigosas leva a compreensão da necessidade de sistemas de identificação das classes, números e grupos de riscos. Contudo não se pode afirmar que a melhor compreensão dos riscos elimine completamente o envolvimento das pessoas, mas certamente minimizará a exposição aos riscos.

O uso corrente apenas das ferramentas expostas nos regulamentos oficiais de transporte de substâncias químicas perigosas é uma ordenação dos meios. A pesquisa e desenvolvimento de números e grupos de riscos para as substâncias químicas constituem sugestões para os próximos trabalhos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AERGI IND COM PAPEIS LTDA. Produtos Químicos Auxiliares aplicados no Processo de Produção de Celulose e Papel.
- ABIQUIM – Associação Brasileira de Indústrias Químicas.
- AMBIÊNCIA ENGENHARIA AMBIENTAL. Relatórios de Classificação de Resíduos Químicos Industriais para Transporte.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- BOWERSOX – Class 1996
- CMA CHEMICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION – USA.
- DECRETO-LEI 98.973 de 21 DE FEVEREIRO DE 1990.
- DU PONT DO BRASIL. Manual de Uso de Explosivos – São Paulo 1969.
- DU PONT DO BRASIL. Relatórios de Operações de Transporte de Produtos Químicos.
- DU PONT COMPANY – RESPONSIBLE CARE.
- F. ALBERT COTTON – Massachusetts Institute of Technology, Boston, E.U.A; LAWRENCE D. LYNCH – Beverly Hills High School, California, E.U.A e MACEDO, HORÁCIO – UFRJ – CURSO DE QUÍMICA – FORUM EDITORA RIO/SÃO PAULO.
- GAITHER, NORMAN e FRAZIER GREG - Administração da Produção e Operações. 8º edição – Editora Pioneira.
- GUMMESS, E. SERVICE PRODUCTIVITY, SERVICE QUALITY AND PROFITABILITY – Reino Unido 1989.
- LOURENÇO TRANSPORTE E COMÉRCIO – Relatórios de Implantação da Divisão de Transporte de Substâncias Químicas Perigosas.
- MERCOSUL – DECRETO-LEI 1796 de 15 DE JANEIRO DE 1996.
- MINISTÉRIO DA DEFESA – R105 – EXÉRCITO BRASILEIRO.
- MOSANTO DO BRASIL – Relatórios de Classificação de Riscos de Produtos Químicos para Transporte.
- NAFTA – ONU.
- NBR 7500 – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR ISO 9000-1 – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- NORTH AMERICAN COUNCIL OF LOGISTICA MANAGEMENT-NACLM.
- ONU - Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods.
- OXFORD UNIVERSITY. PHYSICAL THEORETICAL CHEMISTRY LABORATORY SAFETY.
- Prof Dr Fabiano A N Fernandes e Profa Dra Liliane M F Lona – Modelagem de Sistema de Polimerização.
- PRÓ-QUÍMICA – Manual de Emergência.
- REAGENTS BIOCHEMICALS DIAGNOSTICS FINE CHEMICALS – BDH 1988/89.
- REGULAMENTO DE TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS – DECRETO-LEI 96.044 de 18 de maio de 1988 – MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES.
- ROHM AND HAAS BRASIL LTDA – Relatórios de Atividades Operacionais de Transporte – 1984 – 1989.
- UELZE REGINALD. LOGÍSTICA EMPRESARIAL – Livraria Pioneira Editora 1974.
- UNIVERSITY OF TENNESSEE – CENTER FOR INDUSTRIAL SERVICE.
- WARWICK. Conferência de Gerenciamento de Operações. Reino Unido 1993.

OS RISCOS NO TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS.

Adroaldo Clovis Jerônimo.  
E-mail: [acejota\\_cl@hotmail.com](mailto:acejota_cl@hotmail.com)

Gustavo Paim Valença (Orientador).  
e-mail: [gustavo@feq.unicamp.br](mailto:gustavo@feq.unicamp.br)

UNICAMP – UNIVERSIDADE DE CAMPINAS.

DPQ – Departamento de Processos Químicos.  
Caixa Postal, 6066 CEP 13081-970.

RESUMO: Palavras Chaves:  
riscos, químicos, Sinalização e  
Transporte.

Este estudo foi desenvolvido com objetivo de discutir sobre sinalização e interpretação de riscos nas unidades de transporte que movimentam substâncias químicas perigosas. Em química uma das principais características estequiométricas é a relação qualitativa e quantitativa de uma reação química. Assim, nos processos de produção de substâncias químicas umas desaparecem para formar outras. Em relação à classificação dos riscos para o transporte, as substâncias químicas reativas (matérias-primas) em condições assim apresentam uma intensidade de riscos e quando transformadas em produto ou produtos esta intensidade pode se alterar para mais ou para menos, diferente do número de átomos que são iguais nos reagentes e reagidos. Minha questão é enfatizar as ações de que controlar os níveis de risco nas substâncias químicas perigosas no interior de uma fábrica é bem diferente de controlar essas mesmas substâncias no decorrer das operações de transporte, onde elas se expõem a diversos e

diferentes climas longe das bases de formulações.

ABSTRACT

This study of road signs in the units of transport that risky chemical substances move. In chemistry one of the main characteristics is the qualitative and quantitative relation of a chemical reaction. Like this, in the chemical substances output trial disappear for form other. Regarding the classification of the risks for the transport, the chemical substances you reactivate (raw materials) in this condition present an intensity of risk and when transformed in product or products this intensity can be altered for more or for less, unlike the number of atoms that is equal in the reagent and reacted. My question is going to emphasize the question of that control the levels of risk in the risky chemical substances in the interior of a plant is well unlike control those same substances in elapse of the operations of transport, where they are exposed to diverse and

different climates far from the bases of formulations.

## 1.0 INTRODUÇÃO

### 1.1 Avaliação dos riscos químicos

- no interior de uma fábrica de petroquímicos os riscos das substâncias podem ser avaliados de várias formas, ambientalmente é possível fazer medições aplicando-se equipamentos específicos e até mesmo observações, qualitativa e quantitativa dos riscos possíveis nas situações desfavoráveis. Biologicamente as corporações organizadas dispõem de planos clínicos e laboratoriais dos seres humanos expostos ao processo.

1.2 Felizmente a principal vantagem nas substâncias químicas é permitir naturalmente investigações, usando a lógica pertinente a elas. As estruturas específicas advêm das análises físico-químicas, mais comumente na química, mas no controle das substâncias químicas fora dos ambientes de fábrica, como nas operações de transporte, por exemplo, a variedade de ambientes em que expõe os riscos torna complexo qualquer sistema de controle. Dependendo das exposições de certas substâncias químicas perigosas no decorrer do transporte poderíamos dizer que estamos diante de uma situação temerária. Infelizmente, nem sempre a identificação dos riscos que essas substâncias representam é assimilada pela percepção do público e quando ocorrem acidentes o número de seqüelas é drástico. Então criar veículos de informações sobre riscos para pessoas leigas não é um trabalho fácil, mas uma ação necessária que deverá ser realizada em laboratório e em conjunto com outras

áreas do processo produtivo em geral, a fim de obter informações suficientes sobre os riscos e apresentá-las de forma simples a percepção do público. Uma vez obtidas informações suficientes sobre riscos, estuda-se a toxicidade desses riscos. São informações advindas de publicações especializadas que requereram a participação de toxicólogos, médicos, biólogos e outras disciplinas afins. A capacitação para identificar os potenciais de riscos nas substâncias químicas perigosas transportadas deve abranger os seguintes dados básicos:

- Nome e natureza dos riscos;
- Característica de atuação no ambiente por onde a substância circulará;
- Forma pela qual penetra no organismo;
- Forma pela qual atua no organismo (bio-transformação, metabolismo e eliminação);
- Critérios de controle para exposições agudas e crônicas.

1.3 Ao lado dessas abordagens que se poderia denominar cabíveis, por tomarem um campo de ações necessárias à prevenção dos riscos, antes da colocação de qualquer substância nova no mercado, as propriedades toxicológicas devem ser investigadas.

1.4 Numa operação de transporte envolvendo substância química perigosa o ideal seria os riscos potenciais ser detectados por simples observação. Isso, no entanto não quer dizer que a substância química transportada seja de maior ou menor risco. No ar podem existir partículas impossíveis de ser vistas a olho nu e que se constituem em partículas muito perigosas, pois são de tamanhos respiráveis. Então a ausência de nuvens de partículas visíveis não significa

que o ambiente esteja livre de substâncias químicas. Algumas substâncias perigosas sejam químicas ou não nos permite, através do olfato detectar a presença de vapores e gases. Substâncias químicas como o sulfeto de hidrogênio, tetracloreto de carbono e acrilato de butila, podem produzir fadigas olfativas, principalmente quando os gases se apresentam em altas concentrações.

1.5 Para esclarecer os fundamentos da percepção do público nas operações de transporte das substâncias químicas perigosas, foram desenvolvidos regulamentos, exemplo Regulamentação do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, Decreto-Lei 2063, de 06 de outubro de 1983, Decreto-Lei 96.044, de 18 de maio de 1988 e Portaria nº 291 de 31 de maio de 1988 entre outros nacionais e internacionais.

1.6 Para adaptar quaisquer substâncias químicas perigosas aos preceitos da regulamentação de transporte de produtos químicos perigosos é preciso reconhecer os riscos bem como a intensidade de cada um deles para possibilitar a classificação das substâncias químicas para transporte. A exposição das classes e subclasses de riscos nas regulamentações de transporte de substâncias químicas perigosas vai de 1 a 9. Infelizmente, seja por incapacidade técnica, sejam involuntariamente ou ainda de forma premeditados alguns usam a classe 9 (outras substâncias não classificadas) para omitir os riscos que as substâncias transportadas apresentam.

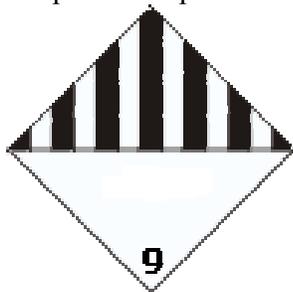


Figura 1 (símbolo de risco para substâncias químicas diversas)

1.6.1 Em casos assim a situação torna-se mais temerária, mesmo para os órgãos fiscalizadores e de atendimento a emergência, que não poderão fazer nada em caso de acidentes uma vez que não têm informações dos riscos bem como das suas intensidades.

1.7 Para prevenir e minimizar os estragos em casos de acidentes envolvendo substâncias químicas perigosas há necessidade de desenvolver meios de comunicação motivadores da percepção do público, além de chamar a atenção para o fato de que dependendo da situação pode se estar diante de um cenário eminente de risco.

1.8 Em mais de duas décadas, trabalhando com a cadeia de suprimentos em grandes corporações do segmento petroquímico verifiquei movimento profundo de substâncias químicas perigosas entre os pólos petroquímicos nos Estados da Bahia, São Paulo, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e San Lorenzo na Argentina.

1.8.1 Nos percursos longos, entre Candeias (BA) e cidades de São Paulo e Grande São Paulo é comum se vê unidades de transporte carregando substâncias químicas perigosas por regiões densamente povoadas e expostas aos impactos de possíveis acidentes.

1.8.2 Entre as várias substâncias químicas transportadas há aquelas que em caso de vazamento ou derramamento pode apresentar-se em altas concentrações e tornarem-se problemáticas para o ambiente, pois podem expelir gases inflamáveis e venenosos e causar danos sérios para a segurança, saúde e meio ambiente dessa forma é importante que se disponha de

informações a respeito dos fenômenos físico-químicos que possam ocorrer em caso de acidentes. Então esta proposta tem como objetivo agregar mais informações a sinalização de riscos no transporte de substâncias químicas perigosas.

## 2.0 Material e Método.

2.1 Este trabalho foi germinado com minha defesa de tese no curso de pós-graduação em Engenharia Química na Universidade de Campinas (SP), buscando aperfeiçoar a prática de duas décadas e meia na logística de processos de produção de produtos químicos e assim completar a prática com a teoria.

## 3.0 Modelo, Críticas e Regras.

3.1 Sob o meu ponto de vista os regulamentos oficiais de transporte de substâncias químicas perigosas devem funcionar como instrumento introdutor dos processos de classificação das substâncias químicas perigosas para o transporte. As intensidades e tipos de riscos são determinantes para aplicação dos rótulos de risco e placas de sinalização nas unidades de transporte de substâncias químicas perigosas. Leva-me a defender a necessidade de melhorias na identificação dos riscos, porque entrevistando um grupo de pessoas leigas em diversas regiões por onde passei foi notório que a maioria dos entrevistados não entendia o significado dos rótulos de riscos e painéis de segurança afixados em diversos veículos de cargas transportando substâncias químicas perigosas. Das mais de 100 pessoas de faixa etária e culturas diferentes, apenas 10% responderam de forma razoável que se tratava de produtos químicos perigosos.

3.2 Além dos rótulos de risco e placas laranja (painel de segurança –

NBR 7500) aplicar faixas com frases de risco é minha colaboração para minimizar discernimento na percepção do público. Por exemplo, usarei a substância bissulfeto de carbono fórmula química  $CS_2$ , aqui escolhida apenas para demonstrar como se deve sinalizar uma unidade de transporte que movimenta substâncias químicas perigosas. O bissulfeto de carbono é um líquido de cor amarelada de odor muito irritante e desagradável assemelhado a ovo podre. Substâncias assim, por suas próprias características extremamente perigosas requerem cuidados especiais, para o manuseio ao redor de todo o processo de formulação, principalmente no estado de produto final. Normalmente os gases ocupam um volume em litros e com a pressão constante, há um aumento de temperatura aumentando o volume do gás proporcionalmente a mudança da temperatura absoluta. Então substâncias químicas perigosas como o  $CS_2$  requererão sempre sistemas de transporte especiais e específicos, por exemplo, as válvulas de alívio de instalação obrigatória nos vasos são importantes instrumentos de controle de pressão e por isso requerem manutenção constante.

3.3 Aplicando as especificações e propriedades.

3.3.1 As especificações e propriedades tais como concentração (99,5%) peso mínimo / densidade (20 / 4°) 1,270 mínimo / resíduo 100 ppm máximo / teor de ácido sulfúrico 0,10 ppm máximo e as propriedades ponto de fusão – 112°C / ponto de ebulição 46°C / densidade do vapor (300 mm Hg) 20°C / densidade 1,26  $cm^{-3}$  / ponto de fulgor – 30°C / limite de explosão 1 – 50% / temperatura de auto-ignição 90°C / desprezível solubilidade em água / etc. São dados importantes e tecnicamente aplicáveis, desde que o uso, manuseio, transporte e estocagem, sejam operados

através de procedimentos adequados e caracterizados de acordo com as características da substância. Aqui estes valores estão sendo apresentados como dados de referência, portanto não se constituem parâmetros da garantia plena.

**3.3.2 Estabilidade** – no caso o bissulfeto de carbono é estável, extremamente inflamável, altamente volátil. Notadamente baixo ponto de fulgor e amplo limite de explosividade. As operações de transporte de substâncias assim requerem sistema de proteção contra calor, fricção, choque, luz do sol. Com relação à reatividade reage violentamente com flúor, poeira de zinco, cloro líquido com presença de ferro.

**3.4 Incompatibilidade** – incompatível com agentes oxidantes fortes, alumínio, zinco, flúor, óxido de nitrogênio, cloro, hipocloritos e grande parte dos metais comuns.

**3.4 Sequelas nos seres humanos** – quando absorvido através da pele pode ser fatal / pode afetar o sistema reprodutivo humano / na superexposição pode causar danos ao fígado e rim / prejudica drasticamente o sistema ocular / causa queimaduras e irrita o sistema respiratório.

**3.4.1** Historicamente a exposição continuada com substâncias assim tende a causar efeitos neurotóxicos, cuja relação são neurotoxinas, onde cada uma delas, mesmo em baixa concentração, pode causar lesões no sistema nervoso e outras partes do corpo humano.

**3.4.2** Ecologicamente quando essas substâncias são liberadas no solo volatiliza e no ar se degrada. Não apresentam alto grau de bioacumulação.

**3.5 Tecnicamente e cientificamente** o bissulfeto de carbono pode ser estocado em tanques de aço carbono, aterrados, com selo de água. Este processo técnico tem a finalidade de reduzir os riscos de evaporação e evitar a

presença de oxigênio – submerso na água para manter o produto a uma temperatura abaixo do seu ponto de ebulição que é 46°C.

**3.6** No transporte somente vasos rodoviários confeccionados em aço inox devem ser utilizados. Um processo de aterramento aplicando 15% de água é obrigatório e tem o objetivo de manter a substância a uma temperatura de 46° C para inibir o ponto de ebulição.

As informações do último item se relacionam com o efeito do O<sub>2</sub> a combustão, cujos ensaios científicos mostraram que aumentos na concentração de oxigênio acima de 25% tornam essas concentrações ricas para a combustão.

**3.7** Como dito o CS<sub>2</sub> está sendo utilizado apenas como exemplo para análise e preparo de uma substância química perigosa para transporte.

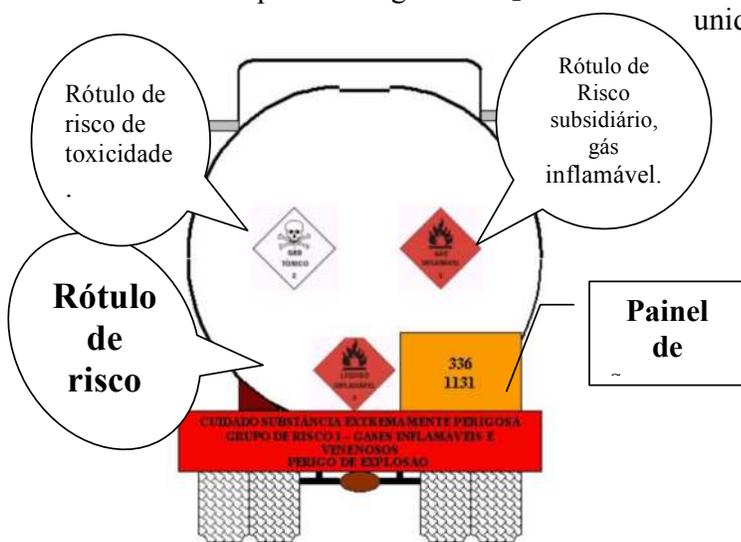
**3.8** Em química assim como as letras representam os elementos químicos, no transporte os rótulos de risco e placas representam o grau de risco dos produtos transportados.

**3.9** Ao lado dessas abordagens que poderiam denominar tópicos de informações de riscos, por tomarem os dados iniciais de uma etapa num processo facilitador de interpretação de riscos, é possível ainda motivar os gerenciadores de processos químicos a buscar abordagem sistemática, que conceba oportunidades não como momento de debate subjetivo, mas como repertório de conceitos e princípios capazes de contribuir para um melhor tratamento das questões relacionadas ao transporte de substâncias químicas perigosas, afinal trata-se de materiais úteis que fazem parte dos processos da nossa vida e que só apresentam riscos em determinadas situações. Então a busca da estabilidade química é um processo contínuo.

#### 4.0 Uma ferramenta para execução do processo.

4.1 Vejamos nas figuras apresentadas a seguir minha proposta para sinalizar unidades de transportes de substâncias químicas perigosas. Nesse caso estamos discursando sobre uma substância química de risco intenso, cujo manuseio requer obrigatoriamente condições técnicas especiais e permanentes. Em substâncias químicas assim, as informações científicas representam as principais ferramentas para o gerenciamento do transporte. Para os órgãos de atendimento a emergências, impactos ambientais e outros órgãos afins os símbolos de riscos são importantes porque a primeira vista passam uma visão geral sobre as prioridades das ações a tomar em caso de acidentes. As faixas com frases de risco passam as pessoas às informações genéricas, sem detalhes, mas são chamativas.

#### 4.2 Visualização traseira de uma unidade de transporte carregando CS<sub>2</sub>.

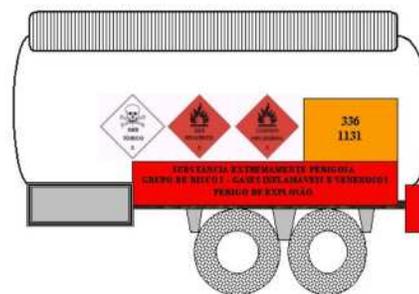


As frases de riscos devem ser escritas sobre faixas com fundo vermelho a serem afixadas nos pára-choques dianteiro e traseiro e nas laterais da

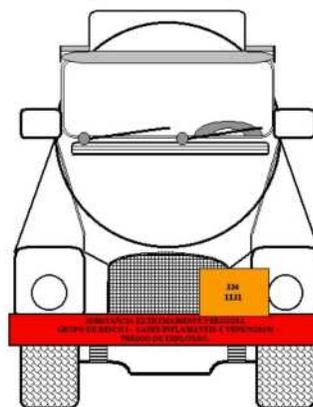
unidade de transporte. O objetivo das faixas é facilitar a interpretação dos riscos por leigos.

O número de risco 336 sobreposto no número da ONU 1131 e a letra "T" maiúscula nas faixas permitem que às partes envolvidas com operações de transporte de substâncias químicas façam uma avaliação ágil da intensidade e tipo dos riscos que a substância apresenta para se habilitarem a aplicar as ações específicas.

#### 4.3 Visualização lateral de uma unidade de transporte carregando CS<sub>2</sub>.



#### 4.3 Visualização dianteira de uma unidade de transporte carregando CS<sub>2</sub>.



## 5.9 Conclusões e recomendações.

Para definir o tipo de simbologia de risco a ser aplicado no transporte de substâncias químicas perigosas é necessário ensaios de laboratório e equipamentos específicos de medições

para gerar as informações necessárias ao desenvolvimento do número de risco e grupo de risco por nível de intensidade.

### **Referências (fontes).**

Ministério dos Transportes, Regulamentação do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

Decreto-Lei no. 2.063, Brasília, 06 de outubro de 1983.

Decreto no. 96.044, Brasília, 18 de maio de 1988.

Portaria no. 291, Brasília, 31 de maio de 1988.

PRÓ-QUÍMICA, Manual de Emergências.

Instituto Brasileiro de Petróleo.

Relatórios de atividades na gestão de tráfego de substâncias químicas perigosas nas Companhias ROHM AND HAAS BRASIL LTDA., MINISTÉRIO DA DEFESA (1ª REGIÃO MILITAR), LOURENÇO TRANSPORTE E COMÉRCIO LTDA., MONSANTO DO BRASIL S.A., AMBIÊNCIA ENGENHARIA AMBIENTAL, AERGI INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PAPEIS LTDA., DU PONT DO BRASIL S.A.

Dados do Bissulfeto de Carbono – INDÚSTRIA QUÍMICA ELEKEIROZ.

### **Referencia do autor:**

Jerônimo A C é Economista, experiência de 25 anos na logística de processos de produção industrial, destaque para químicos, professor para disciplinas: Administração da Produção e Controladoria Operacional em cursos de graduação COMEX e Administração.

## APÊNDICE – A.

Exposição dos números e grupos de risco.

Os regulamentos oficiais aplicados no transporte de substâncias químicas perigosas são definidos em relação à identificação das substâncias químicas que estão sendo transportadas, entretanto nem todas as substâncias têm os números e grupos de risco definidos. Neste trabalho o foco é chamar a atenção com objetivo de “facilitar a assimilação e interpretação dos riscos” por pessoas leigas.

A idéia é deixar clara a necessidade de definir e explicar um número de risco no painel de segurança e ainda afixar uma faixa escrita com o grupo de risco nos pára-choques traseiros e dianteiros e laterais das unidades de transporte e nos porta containeres que estejam transportando produtos químicos perigosos, seguindo os critérios:

- Número 1 para caracterizar risco de explosividade.
- Número 2 para caracterizar o risco de gás.
- Número 3 para caracterizar risco de inflamabilidade.
- Número 4 para caracterizar risco de sólidos.
- Número 5 para caracterizar risco de oxidação.
- Número 6 para caracterizar o risco de radioatividade.
- Número 8 para caracterizar o risco de corrosividade.

Por exemplo – após ensaios de laboratório de determinada substância química seja apurado que esta substância possua características de inflamabilidade (3), toxicidade (6) e corrosividade (8) então sobre o número da ONU no painel de segurança será aplicado o número 368.



Número de Risco no Painel de Segurança

## **APENDICE - B.**

Modelo sugerido para divulgação dos riscos a pessoas comuns.

O grupo de risco I identifica risco de maior intensidade, o número de risco identifica o tipo de risco (inflamabilidade, toxicidade, etc). A explicitação de grupo de risco e número de risco tem objetivo de informar imediatamente a intensidade e tipo de risco aos membros dos órgãos controladores e de atendimento a emergência. As frases de risco têm o objetivo de facilitar a interpretação dos riscos por pessoas leigas.

As faixas de divulgação do grupo de risco e número de risco devem ser confeccionadas de acordo com as medidas dos pára-choques das unidades de transporte na cor de fundo vermelha para substâncias químicas do grupo de risco I, na cor de fundo laranja para substâncias químicas do grupo de risco II e na cor de fundo marrom claro para substâncias química do grupo de risco III.

**ATENÇÃO! GRUPO DE RISCO I  
SUBSTÂNCIA QUÍMICA EXTREMAMENTE PERIGOSA,  
INFLAMÁVEL, TOXICA, CORROSIVA.**

Modelo de Faixa de Frases de Risco para Grupo de Risco I

**ATENÇÃO! GRUPO DE RISCO II.  
SUBSTÂNCIA QUÍMICA MUITO PERIGOSA. RISCO DE  
FOGO E CORROSÃO.**

Modelo de Faixa de Frases de Risco para Grupo de Risco II

**ATENÇÃO GRUPO DE RISCO III.  
SUBSTÂNCIA QUÍMICA PERIGOSA.**

Modelo de Faixa de Frases de Risco para Grupo de Risco III