



Rede PROSAB Microbiologia para o Saneamento Básico

MANUAL DE DE PROTOCOLOS

Capítulo 2: Manuseio Seguro de Produtos Químicos Perigosos

René Peter Schneider* / Rosa de Carvalho Gamba*
Leny Borghesan Albertini**

- * Laboratório de Microbiologia Ambiental, Departamento de Microbiologia, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, Av. Professor Lineu Prestes, 1374, CEP 05508-900, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil.
- ** Laboratório de Resíduos Químicos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador Sancarlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos SP, Brasil.

Referência bibliográfica deste documento:

SCHNEIDER, R.P.; GAMBA, R.C.; ALBERTINI, L.B. **Manuseio de Produtos Químicos. Capítulo 2 Manuseio Seguro de Produtos Químicos Perigosos.** São Paulo: ICBII USP, 2010. 63 p. Protocolo da Rede PROSAB Microbiologia. Área: Métodos Básicos. Disponível em: <<http://www.prosabmicrobiologia.org.br/rede/protocolos>>. Acesso em: xx/yy/zzzz (dia/mês/ano).

Documento original 01/08/2011
Revisão:

São Paulo
2011



RESUMO

SCHNEIDER, R.P.; GAMBA, R.C.; ALBERTINI, L.B. **Manuseio de Produtos Químicos. Capítulo 2 Manuseio Seguro de Produtos Químicos Perigosos.** São Paulo: ICBII USP, 2011. 63 p. Protocolo da Rede PROSAB Microbiologia. Área: Métodos Básicos.

Neste capítulo são apresentados os aspectos de relevância para a segurança do trabalho em laboratórios e na manipulação de resíduos perigosos em particular. São discutidos os fundamentos do trabalho seguro em laboratórios, boas práticas e higiene. São elucidadas as características de cada categoria de perigos físicos de produtos químicos (explosivos, gases inflamáveis, aerossóis inflamáveis, líquidos inflamáveis, sólidos inflamáveis, gases oxidantes, líquidos oxidantes, sólidos oxidantes, substâncias reativas, substâncias auto reativas, substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis, líquidos pirofóricos, sólidos pirofóricos, substâncias auto-aquecíveis, peróxidos orgânicos, corrosivos aos metais, gases sob pressão, produtos criogênicos) e os critérios de classificação de compostos nestas categorias. Os cuidados no transporte e armazenamento de produtos químicos perigosos são discutidos, com ênfase nos aspectos de compatibilidade entre produtos e de formação de compostos perigosos durante o armazenamento.

Palavras chaves: segurança, manuseio, produtos químicos perigosos



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DETRAN	Departamento de Transporte do Estado
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
GHS	<i>Globally Harmonized System of Classification</i>
HEPA	<i>HEPA High Efficiency Particulate Air</i>
LII	Limite de Inflamabilidade Inferior
LIS	Limite de Inflamabilidade Superior
MSDS	<i>Material Safety Data Sheets</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OSHA	Administração de Saúde e Segurança Ocupacional do governo federal dos EUA
PEL	Limite de Exposição Permissivo
TAAD	Temperatura de Aceleração de Autodecomposição
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>
USA	<i>United States of America</i>



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA	6
2.1	Segurança	7
2.2	Boas Práticas de Trabalho Indispensáveis na Operação Segura de Laboratórios	7
2.3	Higiene Pessoal no Laboratório	8
2.4	Planejamento de Experimentos em Laboratório	9
3.	PROGRAMA DE SEGURANÇA QUÍMICA (PSQ)	9
4.	PRODUTO QUÍMICOS PERIGOSOS: RISCOS FÍSICOS	11
4.1	Produtos Químicos Explosivos	12
4.1.1	Produtos Explosivos Sensíveis ao Choque	12
4.2	Produtos Químicos Inflamáveis ou Combustíveis	14
4.2.1	Classificação de Substâncias Inflamáveis Segundo a Norma GHS	16
4.2.1.1	Gases Inflamáveis	16
4.2.1.2	Aerossóis	16
4.2.1.3	Líquido Inflamável	16
4.2.1.4	Sólidos Inflamáveis	17
4.3	Oxidantes	17
4.3.1	Gases Oxidantes	18
4.3.2	Líquidos oxidantes	18
4.3.3	Sólidos Oxidantes	18
4.4	Substâncias Químicas Reativas	19
4.4.1	Substâncias químicas auto-reativas	19
4.4.2	Substâncias e Misturas Auto-aquecíveis	20
4.4.3	Produtos Químicos que Reagem com Meios Aquosos	20
4.5	Produtos Químicos Pirofóricos	22
4.6	Peróxidos e Produtos Formadores de Peróxido	22
4.6.1	Risco de Explosão de Peróxidos	23
4.6.2	Classificação de Peróxidos Orgânicos Segundo a Norma GHS	23
4.7	Reagentes Corrosivos	24
4.8	Gases sob Pressão	24
4.9	Líquidos Criogênicos	25
5.	TRANSPORTE DE PRODUTOS QUÍMICOS	26
5.1	Uso de Contenção Secundária	26
5.2	Precauções Extras para Transporte de Produtos Químicos em Veículos	26
6.	ARMAZENAMENTO E MANIPULAÇÃO	26
6.1	Inventário de Produtos Químicos	26
6.2	Princípios de Armazenamento de Produtos Químicos	27
6.2.1	Etiqueta das Embalagens	28
6.2.2	Recipientes e Contenção Secundária para Prevenir Acidentes	28
6.2.3	Gabinetes ou Áreas para Armazenamento de Produtos Químicos Perigosos	29
6.2.4	Inspecione Áreas de Armazenamento Periodicamente	30
6.2.5	Algumas Regras Gerais de Armazenamento	30
6.2.6	Mantenha Produtos Químicos Incompatíveis Separados	30
6.2.6.1	Incompatibilidade entre Ácidos	31
6.2.6.2	Prevenção de Perigos Associados a Misturas Binárias	32
6.2.6.3	Incompatibilidades de Oxidantes e Redutores Fortes	32
6.2.6.4	Produção de Gases Tóxicos	35
6.2.6.5	Armazenamento de Produtos Químicos Inflamáveis e Combustíveis	37
6.2.6.5.1	Refrigeradores para Armazenamento de Líquidos Inflamáveis	38
6.2.6.5.2	Refrigeradores a Prova de Explosão	38
6.2.6.6	Precauções no Manuseio e Armazenamento de Produtos Corrosivos	38
6.2.6.7	Produtos Químicos Reativos	38
6.2.6.8	Oxidantes	39
6.2.6.9	Produtos Químicos Pirofóricos	39
6.2.6.10	Substâncias Sensíveis ao Choque, Auto-reativas, Explosivas ou Endotérmicas	39
6.2.6.11	Produtos Químicos Formadores de Peróxidos	40
6.2.7	Produtos Químicos que Demandam Precauções Especiais	43
6.2.7.1	Toxinas de Reprodução	45
6.2.7.2	Produtos químicos carcinogênicos ou mutagênicos	45
6.2.7.3	Drogas Antineoplásicas	46



6.2.7.4	Reagentes Bioquímicos.....	46
6.2.7.5	Produtos Químicos que Possuem Padrão Específico OSHA	47
6.2.7.5.1	Formaldeído.....	48
6.2.7.5.2	Benzeno	48
6.2.7.5.3	Óxido de Etileno	49
6.2.7.6	Tetróxido de Ósmio	49
6.2.7.7	Brometo de Etídeo	49
6.2.7.8	Mercúrio.....	50
7.	REFERÊNCIAS.....	52
ANEXO A.	FORMULÁRIO PARA IMPLEMENTAR UM PLANO DE SEGURANÇA QUÍMICA (ADAPTADO DE UWM, 2005).	A1
ANEXO B.	FORMULÁRIO PARA ANÁLISE DO RISCO DE EXPOSIÇÃO A PRODUTOS QUÍMICOS (ADAPTADO DE UWM, 2005).	B1
ANEXO C.	TABELAS AUXILIARES GHS.....	C1



1. INTRODUÇÃO

A manipulação de compostos químicos perigosos e a operação de equipamentos que podem causar acidentes são inerentes à atividade de pesquisa científica. O objetivo deste capítulo é apresentar em linhas gerais os aspectos mais importantes da manipulação segura de compostos químicos. As informações contidas neste capítulo estão baseadas, primordialmente, no **Laboratory Safety Guide da Universidade de Wisconsin-Madison** e nos textos da norma **GHS** e **ABNT-NBR 14725**. Outras referências consultadas incluem os livros sobre explosivos de Sickler (1992), Meyer *et al.* (2007), Tenney (1972) e Zukas e Walters (2002).

A cadeia de pessoas e órgãos responsáveis pela formulação de procedimentos de segurança de trabalho em laboratórios, a implementação de medidas e fiscalização de sua aplicação correta, varia de instituição para instituição, porém a prevenção de acidentes com equipamentos ou produtos químicos é responsabilidade do usuário e depende da contribuição de cada integrante do laboratório.

As atividades listadas abaixo representam um quadro resumido das ações necessárias para garantir a segurança de trabalho em laboratórios científicos:

- Manter atualizado o inventário de produtos químicos;
- Manter todas as áreas de uso comuns limpas e em ordem;
- Manter um arquivo atualizado com as FISPQs de todos os produtos manipulados;
- Garantir a operação correta e manter a manutenção em dia de todos os equipamentos;
- Estabelecer procedimentos ambientalmente corretos e seguros para o descarte de cada tipo de resíduo químico gerado;
- Manter-se informado sobre novos desenvolvimentos na área de segurança através da procura e distribuição de informações;
- Reavaliar e atualizar periodicamente o Plano Segurança Química.

Além dos itens citados acima, para trabalhar com segurança em laboratórios, é fundamental e imprescindível estar informado sobre as propriedades e os perigos associados à manipulação de todos os produtos utilizados. Muitos deles representam **perigos múltiplos: à saúde, ao ambiente de trabalho e ao meio-ambiente**.

Este capítulo ajudará a identificar os perigos e a entender os fundamentos das informações de segurança constantes na **Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)** ou **Material Safety Data Sheet (MSDS)**, que podem ser solicitadas para todos os produtos químicos comercializados.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA

Avaliemos o laboratório, como se fosse a primeira vez que entramos nele. Esta é a visão que os visitantes terão deste laboratório.

Questione-se:

- Parece seguro?
- Está limpo e arrumado?



- As pessoas dão a impressão de estarem manuseando produtos químicos de forma segura e competente?
- As pessoas usam EPIs, quando recomendado?
- Os produtos químicos estão armazenados de forma segura?
- Os equipamentos estão limpos e bem acondicionados?
- Há odor de produto químico?
- Os equipamentos de segurança como capelas estão funcionando, estão disponíveis para o uso e estão acessíveis?
- As FISPQs e demais instruções de segurança estão acessíveis a todos os integrantes do laboratório?
- Todos os integrantes conhecem estas informações?
- Há meios de tornar seu laboratório um lugar mais seguro?
- O laboratório dispõe de um plano de segurança química?

Este momento seria uma boa oportunidade de submeter o laboratório a um exame sistemático das práticas de segurança, utilizando o formulário Anexo A deste capítulo.

Em termos gerais, um laboratório limpo e arrumado é indicativo de laboratório seguro. Uma boa disciplina no local do trabalho pode diminuir o número de acidentes e reduzir o risco e as consequências de um incêndio. Uma boa disciplina na manutenção da ordem pode aumentar de forma significativa a área útil disponível e facilitar as tarefas no laboratório.

2.1 Segurança

Um laboratório eficiente e seguro é caracterizado pelos seguintes aspectos:

- Áreas de escape livres;
- Acesso liberado das áreas em torno de duchas de segurança, extintores de incêndio, cobertores para fogo e painéis elétricos;
- Produtos químicos armazenados nos locais designados e seguros;
- O chão, as escadas e os corredores não são usados como áreas de armazenagem;
- Balanças, fluxo laminares, centrífugas, incubadoras, fornos e outros itens de uso comum, estão limpos;
- As estantes de paredes estão bem fixadas e sem sobrecarga;
- Kit de emergência para controle de derramamentos de produtos químicos disponível;

2.2 Boas Práticas de Trabalho Indispensáveis na Operação Segura de Laboratórios

As boas práticas indispensáveis para o trabalho com segurança em laboratórios incluem:

- O acesso ao laboratório deve ser permitido somente para pessoas autorizadas (não deve ser permitido o acesso a visitantes ocasionais e a crianças em particular);
- Mantenha as portas de acesso fechadas enquanto os trabalhos estiverem em andamento;
- Informe os profissionais de manutenção sobre os riscos do laboratório e sobre medidas de prevenção apropriadas. Designe um membro do laboratório para acompanhar profissionais externos durante a sua estadia no local;
- Informe o pessoal de limpeza sobre os riscos do laboratório e sobre medidas de prevenção apropriadas. Informe estas pessoas sobre áreas que não devem ser limpas ou compartimentos com resíduos que não devem ser removidos;



- Minimizar os estoques de compostos altamente perigosos ou carcinogênicos mantidos no laboratório;
- Afixe, nos rótulos dos frascos com os produtos, avisos sobre a toxicidade ou carcinogenicidade;
- Áreas reservadas para trabalhos específicos devem ser devidamente sinalizadas;
- Utilize EPIs, quando necessário, no ambiente de trabalho;
- Se usuário de lentes de contato, remova-as quando estiver em ambientes com a atmosfera carregada com vapores, partículas de poeira ou manuseando compostos químicos potencialmente perigosos;
- Manuseie todos os produtos químicos com o máximo cuidado;
- Manuseie agulhas, instrumentos perfuro-cortantes e vidraria com extremo cuidado para evitar ferimentos;
- Não utilize o gelo empregado na pesquisa para consumo humano;
- Evite usar gelo seco em ambientes confinados, pois isto pode resultar em concentrações de dióxido de carbono elevadas no ambiente. Gelo seco misturado com isopropanol ou etanol pode causar queimaduras, devido ao congelamento da pele que entra em contato com esta solução;
- Evite produzir aerossóis;
- Limpe equipamento contaminado ou locais de vazamentos de produtos químicos imediatamente.

2.3 Higiene Pessoal no Laboratório

A higiene pessoal no laboratório constitui-se do conjunto de práticas para evitar a exposição acidental ou inadvertida a produtos químicos e prevenir acidentes na manipulação e operação de equipamentos. Um resíduo de produto químico esquecido sobre uma bancada de uso comum por uma pessoa pode se espalhar rapidamente e contaminar todo o laboratório. A exposição repetida a pequenas quantidades de algum composto tóxico como, por exemplo, o corante mutagênico de DNA, brometo de etídio, pode comprometer a saúde das pessoas que trabalham no laboratório todos os dias.

O objetivo dos procedimentos de higiene pessoal nos laboratórios é evitar todo e qualquer contato da pele com produtos químicos de laboratório. Ao contrário da contaminação com produtos radioativos, a contaminação por produtos químicos é difícil de ser detectada.

As seguintes precauções devem ser adotadas para minimizar sua contaminação acidental e a de outras pessoas com produtos químicos:

- Proteja as mãos com luvas descartáveis quando for manipular produtos químicos. Utilize luvas duplas para manipular compostos cancerígenos ou muito tóxicos. Não toque as mãos com luvas em telefones, maçanetas de portas, etc. Após conclusão dos procedimentos, remova as luvas, descarte-as nos recipientes apropriados e lave as mãos com sabonete. Luvas podem ser lavadas com sabão em casos onde a sua remoção temporária for inconveniente;
- Use jalecos para proteção de suas roupas;
- Lave as suas mãos após trabalhar e antes de comer, beber, aplicar cosméticos ou sair da área de trabalho;
- Rotineiramente limpe as maçanetas, telefones, teclados de computador e mesas;
- Nunca use a boca, quando utilizar pipetas. Utilize sempre uma pêra ou outro sistema mecânico de aspiração;



- Não armazene alimentos em geladeira usada para estocar produtos químicos, compostos radioativos ou produtos de experimentos biológicos. Nunca acondicione alimentos em equipamentos de laboratório;
- É expressamente proibido comer ou beber em laboratório;
- É expressamente proibido fumar em laboratórios;
- Não insira seus dedos ou as suas mãos em líquidos, use sempre instrumentos;
- Não experimente o sabor ou determine diretamente o odor de produtos químicos.

2.4 Planejamento de Experimentos em Laboratório

No planejamento de seus experimentos, utilize as instruções dos Anexos B e C deste capítulo, como um guia para avaliação rápida do risco associado à manipulação dos produtos químicos, em conjunto com as etapas indicadas abaixo:

- Informe-se sobre os perigos dos produtos químicos e dos equipamentos que você planeja manusear. Conheça a inflamabilidade, reatividade, corrosividade e toxicidade desses produtos e aprenda a consultar e interpretar corretamente as FISPQs;
- Consulte as instruções de operação dos equipamentos que pretende utilizar;
- Informe-se sobre como atuar em diferentes situações de emergência com produtos químicos ou equipamentos;
- Nunca trabalhe sozinho no laboratório;
- Não subestime os riscos;
- Assuma que algumas misturas podem ser mais perigosas que o mais perigoso dos componentes;
- Assuma que toda a substância de toxicidade desconhecida, é tóxica;
- Poucos produtos químicos utilizados em laboratórios não oferecem absolutamente nenhum risco à saúde;
- Minimize a exposição a produtos químicos, usando EPIs adequados para a natureza do trabalho;
- Designe equipamentos de aquecimento como fornos de microondas com exclusividade para uso laboratorial ou para o preparo de alimentos. Assegure que a finalidade de uso destes equipamentos esteja bem sinalizada;
- Providencie ventilação adequada;
- O melhor meio de prevenir exposição a substâncias transportadas pelo ar, é garantir a renovação da atmosfera no entorno da área trabalho, de forma a afastar os vapores dos produtos ou as suas partículas. Esta é a função das capelas e de coifas;
- Elabore medidas de contingência para equipamentos operados sem a supervisão contínua do operador, para eventos de queda de energia, interrupção do fornecimento de água, rompimento de tubos ou conexões de transporte de líquidos, defeitos em bombas, superaquecimento do equipamento ou outros tipos de danos.

3. PROGRAMA DE SEGURANÇA QUÍMICA (PSQ)

Todo o laboratório que utiliza produtos químicos perigosos deve possuir um Programa de Segurança Química (PSQ). O PSQ inclui a relação de materiais para proteger os profissionais dos perigos associados aos produtos químicos. Todos os indivíduos que trabalham em laboratórios devem estar familiarizados com o PSQ local.

O manuseio seguro de produtos químicos é uma pré-condição fundamental para o trabalho de laboratório. Antes de iniciar qualquer experimento com produtos químicos, é importante levantar as seguintes informações:



- Identificar os produtos químicos que serão utilizados e as condições nas quais serão manipulados.
- Determinar a quantidade a ser utilizada.
- Determinar o número de vezes que o produto será manipulado.
- Esclarecer se o experimento será conduzido na atmosfera, em um equipamento fechado ou em uma capela.
- Verificar o risco de produção de substâncias novas ou desconhecidas no experimento.
- Verificar a participação de mulheres grávidas nos trabalhos.
- Verificar se existe alguém que apresente alguma sensibilidade conhecida a um dos produtos.
- Consultar a FISPQ para cada produto químico a ser empregado no experimento. Se alguma substância a ser utilizada oferece riscos significativos ou incomuns é aconselhável consultar referências mais detalhadas sobre as propriedades físicas, químicas e toxicológicas do composto. Dependendo do nível de experiência do pesquisador e do grau de perigo associado ao experimento, será necessário consultar orientadores ou especialistas em segurança ocupacional antes de proceder com a avaliação do risco. É recomendável discutir o resultado final da avaliação de risco com uma ou mais pessoas experientes do laboratório.

Avalie o tipo de toxicidade.

- Utilize as informações obtidas acima para determinar o tipo de toxicidade associada com cada produto químico envolvido no experimento.
- Verifique se algum dos produtos é extremamente tóxico ou corrosivo.
- Verifique se algum dos produtos a serem usados é irritante ou sensibilizador.
- Se alguma substância carcinogênica ou possivelmente carcinogênica será produzida durante o experimento.
- Se algum dos produtos químicos envolvidos no experimento é teratogênico, um composto que afeta o desenvolvimento fetal ou uma neurotoxina.

Considere possíveis rotas de exposição.

- Determine as possíveis rotas de exposição para cada produto químico.
- Trata-se de gases ou de produtos que volatilizam em quantidade suficiente para causar risco de exposição através da inalação?
- No caso de líquidos, estes podem ser absorvidos através da pele?
- É possível que pó ou aerossóis sejam formados no experimento?
- O experimento envolve risco significativo de ingestão acidental do produto químico?

Avalie a informação quantitativa sobre toxicidade.

- Consulte as fontes de informação para determinação do LD50 para cada produto, pela rota relevante de exposição.
- Determine o nível do perigo de toxicidade aguda para cada substância, classificando cada produto como altamente tóxico, moderadamente tóxico e assim por diante.
- Substâncias que apresentam perigo de inalação:
 - Anote os valores-limite relacionados à exposição mediana (TLV-TWA);
 - ao limite de exposição curta (STEL);
 - e os valores de limite de exposição permissíveis (PEL).



Selecione procedimentos apropriados para minimizar a exposição.

- Siga as práticas prudentes básicas de manipulação de produtos para todo o trabalho no laboratório.
- Determine se algum dos produtos químicos utilizados nos seus experimentos se enquadra nas definições de substância particularmente perigosa, devido à sua alta toxicidade aguda, carcinogenicidade, e/ou toxicidade na reprodução.
- Se houver necessidade de utilizar um composto deste tipo, considere primeiro se há a possibilidade de substituí-lo por um composto menos perigoso.
- Caso isso não seja possível, estime a quantidade total da substância que será usada no experimento proposto, a frequência com a qual a substância será utilizada, as rotas de exposição ao produto químico e as circunstâncias específicas do uso do produto químico no experimento, se houver.
- Analise estas informações para determinar se há necessidade de aplicar procedimentos adicionais para trabalhar com substâncias altamente tóxicas ou se há necessidade de consulta adicional com profissionais de segurança.

Prepare contingências.

- Anote os sinais e sintomas de exposição aos produtos químicos a serem usados no experimento.
- Prepare medidas apropriadas a serem adotadas no evento de exposição ou liberação acidental de qualquer produto químico.

Como visto acima, a finalidade do PSQ é fornecer informações sobre procedimentos gerais de manipulação segura de substâncias utilizadas em laboratórios.

Os anexos A, B e C deste capítulo auxiliarão a elaborar um PSQ para o seu laboratório de pesquisa.

4. PRODUTO QUÍMICOS PERIGOSOS: RISCOS FÍSICOS

Riscos físicos são riscos associados às propriedades físico-químicas dos compostos, que incluem:

- Explosivos
- Gases inflamáveis
- Aerossóis inflamáveis
- Líquidos inflamáveis
- Sólidos inflamáveis
- Gases oxidantes
- Líquidos oxidantes
- Sólidos oxidantes
- Substância reativas
- Substâncias auto reativas
- Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis
- Líquidos pirofóricos
- Sólidos pirofóricos
- Substâncias auto-aquecíveis
- Peróxidos orgânicos



- Corrosivos aos metais
- Gases sob pressão
- Produtos criogênicos

Todos os perigos físicos da lista acima são citados na norma GHS (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*), com exceção dos líquidos criogênicos, que foram incorporados nesta lista devido ao perigo associado a estes líquidos estar diretamente relacionado com o estado físico do material.

4.1 Produtos Químicos Explosivos

Uma substância ou mistura explosiva é um sólido ou líquido que, por si só, é capaz de, por reação química, produzir gás a uma temperatura, pressão e a uma velocidade tal que cause danos às redondezas. Na norma GHS substâncias pirotécnicas estão incluídas na classe de produtos explosivos, mesmo quando não geram gases. Uma substância ou mistura pirotécnica é projetada para produzir efeito por calor, luz, som, gases ou fumaça, ou uma combinação desses efeitos, como resultado de reações químicas não detonantes e auto-sustentadas.

Na norma GHS os produtos químicos explosivos são classificados em uma de seis divisões:

- 1.1: Risco de explosão em massa:** nestes produtos praticamente toda a carga de material explode simultaneamente;
- 1.2: Risco de projeção:** produtos que possuem risco de terem partes projetadas com violência durante a explosão, mas que não oferecem risco de explosão em massa;
- 1.3: Risco de incêndio ou risco menor de projeção:** esta divisão inclui substâncias que irradiam grande quantidade de calor durante a queima ou que queimam seqüencialmente, com risco de explosões pequenas ou de projeção de partes do material;
- 1.4: Nenhum risco significativo:** basicamente os efeitos em caso de explosão ficam confinados na embalagem e não há risco de projeção de material. Um incêndio externo não deve resultar na explosão da massa de material armazenada no interior do recipiente;
- 1.5: Substâncias muito insensíveis com risco de explosão em massa:** o material pode sofrer explosão em massa, mas este evento é improvável nas condições normais de uso;
- 1.6: Artigos extremamente insensíveis** sem risco de explosão em massa;

Os critérios de classificação de produtos nestas divisões podem ser consultados no do manual GHS parte 2 capítulo 2.1 ou na seção 7.2 da norma ABNT NBR 14 725-2

4.1.1 Produtos Explosivos Sensíveis ao Choque

Uma classe especial de produtos explosivos que representam alto risco quando manuseados em laboratórios e que não são necessariamente classificados como explosivos para venda ou transporte são compostos sensíveis ao choque que podem liberar, espontaneamente grande quantidade de energia não somente sob condições normais, mas especialmente quando submetidos a mudanças bruscas, a vibrações (como, por exemplo, na queda de um vasilhame), durante aquecimento ou quando agitados nas mais diversas formas. Alguns produtos químicos, com o envelhecimento, tornam-se altamente sensíveis ao choque. A formação inadvertida de explosivos sensíveis ao choque, como peróxidos em solventes ou produtos de



transformações químicas de outros materiais, é de grande relevância para a segurança de um laboratório.

Compostos explosivos sensíveis a choque ou fricção, formados espontaneamente que oferecem os maiores riscos são:

- Carburetos e acetiletos de cobre, de ouro e de mercúrio;
- Nitretos de enxofre, de selênio, de telúrio, de cobre, de prata como, por exemplo, reagente de Tollins($[Ag(NH_3)_2] OH$) usado em laboratórios orgânicos para análise de aldeídos que pode resultar na formação de prata ou ouro fulminante ou compostos como $(ClAuNH_2)_2NH$, $(OHAuNH_2)_2NH$ que resultam na formação de ouro fulminante e de mercúrio (base de Millon, $HgN-Hg-OH$);
- Azida de hidrogênio, de amônia, de metais alcalinos terrosos, de cobre, de prata, de mercúrio, de tálio e de chumbo;
- Fulminatos ($C=N-O$) de hidrogênio, de amônia e de metais (em geral);
- Fulminatos de prata, de mercúrio, de tálio e de chumbo produzidos na dissolução e aquecimento de sais de nitrato em etanol;
- Sais metálicos de nitrato, cujos óxidos são insolúveis em água, se misturados e aquecidos com ácido nítrico e etanol podem oxidar o etanol, formando acetaldeído e posteriormente ácido acético. Na sequência, o ácido acético poderá ser nitrificado, descarboxilado e desidratado, formando ácido fulmínico $H-C=N-O$, que dará origem aos sais de fulminato;
- Óxido mercúrico, cianeto mercúrico, cianeto de prata e os seguintes compostos sensíveis à luz: cianeto de mercúrio (II), cianamida de prata ($Ag_2N=C=N$) e cianamida de mercúrio (I);
- Oxalato e tartarato de prata e mercúrio;
- Ácido hipofosforoso ($HOP(O)H_2$) em conjunto com alumínio ou magnésio (o aquecimento da solução libera fosfina inflamável), fosfinato de potássio, $KHP(O)OK$ (inflama no ar se estiver úmido) e os sais de compostos, sensíveis ao choque e à temperatura: sais de cobre (II), de prata, de ferro (III), de manganês (II) ou de chumbo (II);
- Sais redox como nitrato básico de estanho $[(Sn_3(OH)_4(NO_3)_2)]$, perclorato ferroso, guanidina, hidrazina, e sais de hidroxil amina com nitratos, percloratos ou cromatos;
- Sais de amônia com nitrito, clorato, bromato ou permanganato;
- Sais metálicos de ácido pícrico, dinitrofenol, dinitroresorcinol e nitrometano;
- Sais de clorito (ClO_2): lítio (calor), níquel (calor/choque), cobre (choque), sódio (calor/choque), chumbo (calor), prata (calor/choque), bário (calor), tálio (choque), mercúrio I e II (muito instável);
- Alquil azidas de azida de sódio em DMSO (ou similar) e alquil haletos (CH_2Cl_2 , dicloroetano);
- A base de hidroxilamina disproporciona quando aquecida.

Esta lista não é conclusiva. Se você tiver dúvidas sobre a reatividade ou potencial explosivo de uma substância ou reação química, consulte a literatura especializada.

É importante distinguir entre compostos sensíveis ao choque e sensíveis à fricção. Ácidos pícricos e peróxidos de éter não são especialmente sensíveis ao choque, entretanto, a abertura de uma tampa fortemente rosqueada de um frasco com estes compostos pode produzir fricção suficiente para provocar uma explosão. Ácido pícrico, em contato com um chão de concreto, formará picrato de cálcio, uma substância facilmente detonável por compressão causada, por exemplo, por uma pessoa que pise em local contaminado com esta substância. Componentes



sensíveis ao choque, que podem ser encontrados em laboratórios, são: percloratos em fluxos laminares e azidas em redes de drenagem.

4.2 Produtos Químicos Inflamáveis ou Combustíveis

Substâncias inflamáveis podem ser sólidas, líquidas ou gasosas, mas o tipo mais comum encontrado nos laboratórios é o líquido inflamável (solvente) ou o vapor produzido por tal líquido.

- solventes orgânicos inflamáveis como o éter, alcoóis e tolueno são muito voláteis;
- solventes clorados como o clorofórmio, por exemplo, não são inflamáveis, mas quando expostos ao calor ou a uma chama, podem se decompor em monóxido de carbono, cloro, fosfogênio ou outros gases altamente tóxicos, além de contribuir para a formação de dioxinas e furanos;
- solventes inflamáveis devem, necessariamente, ser manipulados em uma área com boa ventilação ou em uma capela de exaustão, evitando locais como salas com fontes de calor, com tomadas e lâmpadas sem proteção ou com outras fontes de ignição;
- deve ser evitada a manipulação de produtos inflamáveis próxima a cilindros de gases comprimidos.

A inflamabilidade de um produto é sua tendência a queimar, definida principalmente pelos seguintes parâmetros:

Ponto de ignição (auto-ignition temperature):

É a temperatura mínima na qual o produto irá queimar sem que uma chama ou faísca esteja presente. É algumas vezes chamada de temperatura de auto-ignição. Nessas condições, o simples contato do composto com o comburente (oxigênio do ar, por exemplo) é suficiente para iniciar a combustão.

Ponto de fulgor (flash point):

É a menor temperatura na qual um líquido combustível ou inflamável desprende vapores em quantidade suficiente para que a mistura vapor-ar, logo acima de sua superfície, propague uma chama a partir de uma fonte de ignição (Tabela 2.2). Os vapores liberados a essa temperatura não são, no entanto, suficientes para dar continuidade à combustão. A pressão atmosférica influi diretamente nesta determinação.

O ponto de fulgor de um solvente também é de importância em laboratórios com fontes internas de calor, como bicos de Bunsen, por exemplo. Solventes com ponto de fulgor menor do que a temperatura ambiente podem gerar uma nuvem de vapor invisível, que pode inflamar-se com a presença de uma fonte de calor no laboratório.

Ponto de ebulição (boiling point):

É a temperatura na qual uma substância passa do estado líquido para o gasoso. Nesta temperatura, a pressão do vapor saturado do líquido é igual à pressão do ambiente. Por exemplo, o ponto de ebulição da água ao nível do mar é de 100°C. O ponto de ebulição varia com a altitude, como a pressão atmosférica na qual o líquido evapora. Líquidos inflamáveis com pontos de ebulição baixos apresentam riscos de incêndio muito sérios.



Tabela 2.1 Ponto de fulgor de líquidos comumente empregados em laboratórios de pesquisa (UWM-LSG, 2005).

Substância	PF (°C)	Substância	PF (°C)
Acetaldeído	-39	Gasolina	-46
Acetona	-18	Ácido acético glacial	40
Benzeno	-11	Hexano	-18
Sulfeto de Carbono	-29	Metanol	12
Ciclohexano	-17	Pentano	-40
Ciclohexanol	68	Éter de petróleo	-40
Etanol	13	Monômero de estireno	32
Acetato de etila	-4	Tolueno	4
Cloreto de etila	-50	Xileno	29
Etil éter	-45		

O xileno, com um ponto de fulgor de 29° C, ou seja, pouco acima da temperatura ambiente, é frequentemente usado como um substituto menos tóxico e mais seguro, para o benzeno.

Produtos químicos inflamáveis ou combustíveis podem reagir com oxidantes químicos causando fogo ou explosão e também são caracterizados com respeito à sua tendência de explosão. A FISPQ traz informações sobre a inflamabilidade e o ponto de ignição de compostos.

O limite de inflamabilidade inferior (LII) e superior (LIS) correspondem, respectivamente, à menor e maior concentração de vapor da substância que produzirá a explosão, na presença de uma fonte de ignição. Estes limites são informados nas FISPQ e estabelecem o intervalo de concentrações de vapor de um composto, dentro do qual este queima de forma explosiva. As concentrações críticas de vapor do composto, as quais delimitam a zona de risco de explosão, dependem da temperatura e do oxigênio disponível na atmosfera.

Deve-se considerar que os vapores dos produtos químicos são invisíveis e, portanto, uma trilha de vapor que passe próximo a uma fonte de ignição, pode resultar em um incêndio ou explosão de sérias proporções em um laboratório.

A ocorrência de incêndios irá depender de três fatores, que devem ocorrer simultaneamente no mesmo local:

- A existência de uma atmosfera oxidante (oxigênio);
- A ocorrência de um acúmulo de gás ou vapor inflamável;
- A disponibilidade de uma fonte de ignição.

Assim, o segredo da redução do risco de incêndio consiste no controle de um ou mais dos fatores causadores, na seguinte ordem de prioridade:

- Controle da fonte de ignição;
- Redução da concentração de vapores inflamáveis;
- Redução da disponibilidade de oxigênio, se possível.



4.2.1 Classificação de Substâncias Inflamáveis Segundo a Norma GHS

4.2.1.1 Gases Inflamáveis

Gases inflamáveis são classificados em duas categorias diferentes norma GHS parte 2 capítulo 2.2; ou ABNT NBR 14 725-2 seção 7.3):

Categoria 1: gases que na temperatura de 20°C e na pressão padrão de 101,3 kPa são inflamáveis em proporção inferior a 13% por volume no ar ou que podem inflamar quando misturados com o ar em faixas de concentração que variam em, pelo menos 12% (v/v), independentemente do limite inferior da inflamabilidade.

Categoria 2: outros gases, além daqueles da categoria 1, que a 20 °C e a uma pressão normal (101,3 kPa), têm um poder de inflamabilidade ao serem misturados com o ar.

4.2.1.2 Aerossóis

Aerossóis são gases comprimidos, liquefeitos ou dissolvidos sob pressão no interior de um recipiente não recarregável, de metal, vidro ou plástico, com ou sem um líquido, pasta ou pó.

Aerossóis são considerados:

- **Não inflamáveis** se a concentração dos componentes inflamáveis for menor ou igual a 1% e o calor de combustão for menor do que 20 kJ/g;
- **Inflamáveis** são aerossóis que contêm qualquer componente classificado como inflamável, de acordo com qualquer critério do GHS para líquidos, gases ou sólidos inflamáveis;
- **Extremamente inflamáveis**, se a concentração dos componentes inflamáveis for maior do que 85% e o calor de combustão for maior ou igual a 30 kJ/g.

Os critérios de classificação de aerossóis podem ser consultados no capítulo 2.3 da norma GHS parte 2 ou na seção 7.4 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.2.1.3 Líquido Inflamável

É um líquido com um ponto de fulgor menor que 93°C.

Substâncias e misturas dessa classe de perigo são classificadas em uma das quatro categorias de perigos com base no ponto de fulgor e ponto de ebulição:

- 1:** Ponto de fulgor < 23°C e ponto de ebulição < 35°C;
- 2:** Ponto de fulgor < 23°C e ponto de ebulição > 35°C;
- 3:** Ponto de fulgor > 23°C e < 60°C;
- 4:** Ponto de fulgor > 60°C e < 93°C.

Combustíveis líquidos de automóveis geram quantidades de vapor suficientes para ignição a temperaturas de ≥ 38 °C. Produtos químicos inflamáveis produzem quantidades de vapor suficientes para ignição em temperaturas abaixo de 38 °C (Tabela 2.1).



Os critérios de classificação de líquidos inflamáveis podem ser consultados no capítulo 2.6 da norma GHS parte 2 ou na seção 7.7 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.2.1.4 Sólidos Inflamáveis

São substâncias que podem entrar imediatamente em combustão ou que podem causar ou contribuir para o fogo por meio de fricção. São substâncias pastosas, granulares ou em pó, que são perigosas, e podem entrar facilmente em combustão por contato breve com uma fonte de ignição, como um fósforo aceso, com as chamas espalhando-se rapidamente. Os sólidos inflamáveis são classificados nas seguintes categorias:

Categoria 1:

- **Pós metálicos:** tempo de queima ≤ 5 minutos;
- **Outros compostos:** zona úmida não pára o fogo e tempo de queima < 45 segundos ou velocidade de queima $> 2,2$ mm/segundo.

Categoria 2:

- **Pós metálicos:** tempo de queima > 5 minutos e ≤ 10 minutos;
- **Outros compostos:** zona úmida pára o fogo por pelo menos 4 minutos e tempo de queima < 45 segundos ou velocidade queima $> 2,2$ mm/segundo.

Os critérios de classificação de sólidos inflamáveis podem ser consultados no capítulo 2.7 da norma GHS parte 2 ou na seção 7.8 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.3 Oxidantes

Oxidantes são produtos químicos (aceptores de elétrons) que reagem com outras substâncias tornando-as deficientes em elétrons. Os combustíveis são os produtos químicos que doam os elétrons nas reações de oxidação (isto é, são agentes redutores). Por exemplo, na oxidação de metano (CH_4) com oxigênio (O_2) é produzido dióxido de carbono (CO_2). O grau de oxidação do carbono no combustível metano é $-IV$, enquanto que o grau de oxidação no oxidante O_2 é 0. O grau de oxidação de cada elemento no produto final da oxidação é de $+IV$ para o carbono e $-II$ para o oxigênio, ou seja, cada átomo do oxidante oxigênio recebeu dois elétrons do combustível metano. A diferença de energia potencial entre os edutos e os produtos da reação de óxido-redução é liberada na forma de energia térmica (calor) ou cinética (expansão do gás em explosões, por exemplo). Se a energia produzida é retida pelo produto da reação, este aumentará a sua temperatura em função da velocidade da reação. Por exemplo, a oxidação da gasolina pelo oxigênio produz um aumento da temperatura do ar em contato com a reação de cerca de 2000 °C, e o resultante aumento da pressão pode ser utilizado, sob condições controladas, para movimentar cilindros em motores de combustão interna. Se esta expansão térmica ocorrer na atmosfera de forma descontrolada, ocorrerá a formação de uma onda de choque violenta, o que caracteriza a combustão explosiva do combustível, com sérios danos para equipamentos e seres vivos. A reação pode resultar em incêndio ou explosão dependendo da natureza do combustível. Na maioria dos incêndios comuns o oxidante é o oxigênio. Em laboratórios, porém, ocorre o emprego de muitos outros oxidantes químicos (flúor, cloro, bromato, cloratos, ácido crômico, ácido nítrico, permanganato, ozônio, peróxido de hidrogênio, entre outros) que em contato com materiais adequados podem causar incêndio ou explosão. Por exemplo, o contato de sais de clorato com papel ou madeira pode levar à



combustão espontânea destes materiais. A norma GHS classifica gases, líquidos e sólidos oxidantes.

4.3.1 Gases Oxidantes

- Gases que aumentam a taxa de combustão de um material com relação à taxa de combustão do mesmo material no ar. Exemplos: cloro (Cl_2), ozônio (O_3), enxofre (S_2).

Os critérios de classificação de gases oxidantes podem ser consultados no capítulo 2.4 da norma (GHS parte 2) ou na seção 7.5 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.3.2 Líquidos oxidantes

Líquidos oxidantes são líquidos que, mesmo que não inflamáveis, podem causar ou contribuir para a combustão de outros materiais. Os líquidos oxidantes são classificados em uma de três categorias:

- 1:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 1:1 em massa, inflama espontaneamente ou, alternativamente, onde a taxa de aumento da pressão desta mistura é menor que a taxa de aumento de pressão de uma mistura de 50% ácido perclórico e celulose.
- 2:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 1:1 em massa, apresenta taxa de aumento da pressão menor ou igual à taxa de aumento de pressão de uma mistura de 40% clorato de sódio e celulose.
- 3:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 1:1 em massa, apresenta taxa de aumento da pressão menor ou igual à taxa de aumento de pressão de uma mistura de 65% ácido nítrico e celulose.

Os critérios de classificação de gases oxidantes podem ser consultados no capítulo 2.13 da norma (GHS parte 2) ou na seção 7.14 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.3.3 Sólidos Oxidantes

Sólidos oxidantes são sólidos que, mesmo que não inflamáveis, podem causar ou contribuir para a combustão de outros materiais. Os sólidos oxidantes são classificados em uma de três categorias:

- 1:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 4:1 ou 1:1 em massa exibe um tempo de queima menor que a mistura de bromato de potássio e celulose na proporção 3:2.
- 2:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 4:1 ou 1:1 em massa exibe um tempo de queima igual ou menor que a mistura de bromato de potássio e celulose na proporção 2:3.
- 3:** Qualquer material, que misturado com celulose na proporção de 4:1 ou 1:1 em massa exibe um tempo de queima menor que a mistura de bromato de potássio e celulose na proporção 3:7.



Os critérios de classificação de sólidos oxidantes podem ser consultados no capítulo 2.14 da norma GHS parte 2 ou na seção 7.15 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.4 Substâncias Químicas Reativas

Devido ao fato de compostos reativos estarem sujeitos a reações químicas vigorosas espontâneas ou após contato com compostos comumente encontrados no ambiente laboratorial, e devido ao potencial destas reações liberarem grandes quantidades de calor, de gases e de outros produtos tóxicos, o trabalho com este grupo de compostos, que inclui substâncias explosivas, pirofóricas, oxidantes, redutoras, sensíveis a ácido, base, água ou luz, só deve ser iniciado após a análise detalhada dos riscos e da adoção de medidas adequadas para mitigação e prevenção de acidentes.

Todos os compostos químicos com exceção do hélio e do neônio podem reagir com algum outro composto.

Substâncias que merecem atenção especial são os compostos reativos, que são produtos químicos que reagem espontaneamente e de forma vigorosa com compostos não-reativos presentes no ambiente laboratorial, como ar, água, celulose, proteínas, papel, aço, etc.

4.4.1 Substâncias químicas auto-reativas

São líquidos ou sólidos termicamente instáveis, propensos a sofrer uma decomposição fortemente exotérmica, mesmo sem a participação de oxigênio (ar). Esta definição exclui os materiais classificados pelo GHS como explosivos, peróxidos orgânicos ou oxidantes. Esses materiais podem ter propriedades similares, mas seus riscos são abordados em itens específicos. Há exceções para classificação como auto-reativo para materiais:

- Com calor de decomposição menor do que 300 J/g ou com temperatura de aceleração de autodecomposição (TAAD) maior do que 75 °C para uma quantidade de 50 kg.

Substâncias e misturas dessa classe de perigo são designadas para uma de seis categorias com base nos resultados de testes específicos definidos na norma capítulo 2.8, GHS parte 2 e seção 7.9 da norma ABNT NBR 14 725-2:

- A:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa que pode detonar ou deflagrar rapidamente, quando embalada.
- B:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa explosiva, que quando embalada não detona ou deflagra rapidamente, mas pode sofrer explosão térmica na embalagem.
- C:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa explosiva, que quando embalada não detona ou deflagra rapidamente, e não sofre explosão térmica na embalagem.
- D:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa, que em testes de laboratório detona parcialmente, mas não deflagra rapidamente e não apresenta reação violenta quando aquecida em confinamento; não detona, deflagra lentamente e não apresenta reação violenta quando aquecida em confinamento e não detona ou deflagra e apresenta reação média quando aquecida em confinamento.



- E:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa, que em testes de laboratório não detona ou deflagra e apresenta reação insignificante ou inexistente quando aquecida em confinamento.
- F:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa, que em testes de laboratório não detona no estado cavitativo e não deflagra e apresenta reação insignificante ou inexistente quando aquecida em confinamento e que apresenta explosividade pequena ou ausente.
- G:** Qualquer substância ou mistura auto-reativa, que por meio de ensaios de laboratório, não detona em estado de cavitação, não deflagra, não reage ao aquecimento sob confinamento e cuja potência de explosão seja nula, à condição termicamente estável (temperatura de decomposição auto-acelerada de 60 °C a 75 °C em uma embalagem de 50 kg) e que nas misturas líquidas o diluente utilizado tem um ponto de ebulição de pelo menos 150 °C. Se a mistura não for termicamente estável e o diluente utilizado para a insensibilização tiver um ponto de ebulição inferior a 150 °C, a mistura deve ser classificada como tipo F.

A análise da auto-reatividade de compostos sintetizados em laboratórios é mais complexa. A presença de ligações duplas ou triplas desobstruídas pode indicar um potencial de polimerização da molécula. Um rearranjo estrutural simples que resulte em uma estrutura molecular estável com eliminação de compostos simples e estáveis como oxigênio, nitrogênio ou dióxido de carbono é indício forte de reatividade do composto por fragmentação. A presença de grupos funcionais oxidantes que podem ser facilmente rearranjados no interior da molécula é um indicativo de reatividade do composto.

4.4.2 Substâncias e Misturas Auto-aquecíveis

São sólidos ou líquidos não pirofóricos que por reação com o ar e sem suprimento de energia externa são propensos a sofrer auto-aquecimento. Esta categoria de compostos difere de substâncias pirofóricas por só sofrer ignição quando presente em grandes quantidades (quilogramas) e após longos períodos de contato com ar (horas ou dias). Os compostos ou misturas desta classe são divididos em quatro categorias (capítulo 2.11, GHS parte 2 e seção 7.12 da norma ABNT NBR 14 725-2):

- 1:** Auto-aquecimento em corpo de prova de 25 mm³ a 140 °C.
- 2a:** Auto-aquecimento em corpo de prova de 100 mm³ a 140 °C e ausente na amostra de 25 mm³ a 140 °C e o material é armazenado em volumes acima de 3 m³.
- 2b:** Auto-aquecimento em corpo de prova 100 mm³ a 140 °C e ausente na amostra de 25 mm³ a 140 °C, mas presente em corpo de prova de 100 mm³ a 120 °C e o material é armazenado em volumes maiores que 450 L.
- 2c:** Auto-aquecimento em corpo de prova 100 mm³ a 140 °C e ausente na amostra de 25 mm³ a 140 °C e presente em corpo de prova de 100 mm³ a 100 °C.

4.4.3 Produtos Químicos que Reagem com Meios Aquosos

A água no laboratório pode ser encontrada na forma sólida (gelo), líquida ou vapor (umidade do ar, vapor de água).



A análise da reatividade de compostos com água, portanto é uma etapa importante para garantir a segurança no manuseio dos compostos para evitar eventos como:

- Aumento da pressão interna em embalagens;
- Oxidação ou redução do composto;
- Degradação do composto por hidrólise ou hidratação;
- Ignição espontânea;
- Produção violenta de calor;
- Eliminação de gases tóxicos.

A água pode reagir com produtos de várias formas diferentes. As reações podem se dar por processos exotérmicos e rápidos, onde geralmente é mais seguro adicionar o composto à água do que o inverso, porque quando o composto é adicionado à água o volume de líquido serve como reservatório de absorção e dissipação do calor gerado na reação. Em outros casos, a água pode reagir com os compostos por processos pouco exotérmicos ou até endotérmicos. Este tipo de reação leva à deterioração de produtos. A água não precisa estar na forma líquida para reagir com compostos químicos. Quando a reação ocorre com vapor de água, a taxa de reação passa a ser controlada pela taxa de difusão do vapor de água na atmosfera. Exemplos de reações indesejáveis entre vapor de água e compostos incluem:

- A reação lenta de fosfito de cálcio produzindo fosfina, um gás extremamente tóxico, e hidróxido de cálcio;
- Reação de carbeto de cálcio (também conhecido popularmente como carbureto de cálcio) com vapor de água para produzir acetileno. O calor liberado na reação é suficiente para a ignição do acetileno na atmosfera. Este processo é usado nas lâmpadas de carbureto empregadas por mineradores ou espeleólogos;
- Reação de um haleto metálico (prata) ou haleto não metálico (sódio) que produz um gás de hidrogênio com o haleto, que, em caso de vazamento pequeno na embalagem, difunde mais lentamente do que o vapor de água. Isto resulta no aumento da pressão interna da embalagem e pode levar à explosão;
- A reação de alumínio com óxido de arsênio na presença de vapor de água, que gera o gás extremamente letal arsina.

Na norma GHS são classificadas somente substâncias, que em contato com água, emitem gases inflamáveis (capítulo 2.12, GHS parte 2 e seção 7.13 da norma ABNT NBR 14 725-2). Estes compostos são classificados segundo a taxa de evolução de gás inflamável:

- 1:** Qualquer substância ou mistura que reage vigorosamente com água na temperatura ambiente com tendência de ignição espontânea do gás produzido na reação, ou que reage vigorosamente com água na temperatura ambiente com taxa de evolução de gases inflamáveis > 10 L/kg/minuto.
- 2:** Qualquer substância ou mistura que reage com água na temperatura ambiente com taxa de evolução de gases inflamáveis >20 L/kg/hora e que não se enquadre na categoria 1.
- 3:** Qualquer substância ou mistura que reage lentamente com água na temperatura ambiente com taxa de evolução de gases inflamáveis >1 L/kg/hora e que não se enquadre nas categorias 1 ou 2.



4.5 Produtos Químicos Pirofóricos

Produtos químicos pirofóricos são substâncias que se inflamam em contato com o ar em menos de 5 minutos de contato. Estes compostos incluem gases, sólidos e líquidos voláteis ou não-voláteis. A molécula de oxigênio reage com a molécula do composto na fase gasosa ou quando adsorvida na superfície do líquido ou do sólido de uma maneira que libera energia em quantidade suficiente para garantir a propagação da reação até que todas as moléculas do composto pirofórico ou de oxigênio disponíveis no ambiente tenham sido consumidas na reação. Exemplos de compostos pirofóricos incluem sulfeto de ferro, boranos, trietilalúminio, fósforo branco e amarelo e pós metálicos. A reatividade destes compostos depende do tamanho das partículas. Quanto menor o tamanho da partícula, tanto maior a área de superfície de contato entre o composto e o oxigênio do ar.

Os critérios de classificação de líquidos e sólidos pirofóricos podem ser consultados nos capítulos 2.9 e 2.10 da norma (GHS parte 2) e nas seções 7.10 e 7.11 da norma ABNT NBR 14 725-2.

4.6 Peróxidos e Produtos Formadores de Peróxido

Há muitos compostos que apresentam “peróxido” no nome. Na temperatura e pressão ambientais, alguns destes compostos são bastante reativos e apresentam sérios riscos, enquanto que outros podem ser manuseados com segurança. Em contato com o ar algumas substâncias químicas, como o éter, podem formar peróxidos quando armazenadas por longos períodos de tempo.

Peróxidos disponíveis comercialmente são preparados e embalados para garantir a segurança no seu manuseio.

Peróxidos, formados de forma involuntária e descontrolada, são os que oferecem os maiores riscos, devido à imprevisibilidade de sua formação, da sua capacidade de causar explosões e outras consequências graves. A formação involuntária de peróxidos ocorre primariamente em líquidos, mas pode também ocorrer em sólidos ou mesmo no interior de cilindros de gases.

A incorporação de um átomo de oxigênio atmosférico na estrutura de uma substância por um processo de auto-oxidação pode ter consequências muito diversas, dependendo da estrutura da molécula. Muitas moléculas formadoras de peróxidos podem passar por um processo de rearranjo molecular espontâneo, com a geração de uma forma oxidada da molécula, que não apresentará riscos além da degradação do composto original. Exemplos de substâncias susceptíveis à formação transiente de peróxidos incluem: benzaldeído e outros aldeídos, aminas, mercaptanas, sulfetos e N-alquil amidas.

Outros produtos formadores de peróxidos irão polimerizar lentamente e, eventualmente, transformar-se-ão em plásticos sólidos, tais como: estireno, acetato de vinila, e acrilato de etila. O acondicionamento destes produtos químicos em embalagens que contenham ar pode resultar na formação de peróxidos (polimerização), mesmo sem abertura da embalagem.

A formação mais frequente de peróxidos ocorre em líquidos como alcoóis secundários, éteres, compostos com carbonos terciários (como a decalina), compostos alílicos e benzílicos (como em alquenos e alquil benzenos), onde o processo de deterioração na presença de oxigênio



atmosférico leva à geração de hidroperóxidos solúveis e ceto-peróxidos. A irradiação solar pode acelerar a formação de peróxidos.

4.6.1 Risco de Explosão de Peróxidos.

Todos os peróxidos contêm ligações entre dois átomos de oxigênio. Durante a reação, a ligação química entre os átomos de oxigênio é rompida, podendo ocorrer a formação de oxigênio molecular ou novas ligações químicas mais estáveis com outras moléculas. As energias de ativação destas reações são bastante reduzidas; reações violentas ou explosões podem ser desencadeadas com facilidade por choque mecânico, aquecimento excessivo ou rápido, ou fricção entre superfícies na remoção da tampa de frasco.

Somente **peróxidos orgânicos são identificados na norma GHS**. É importante ressaltar que esta classificação não abrange peróxidos formados em reações de deterioração de produtos originalmente não classificados como peróxidos.

Peróxidos orgânicos, definidos na norma como produtos na forma pura ou misturas que contenham compostos orgânicos com os grupos funcionais R-O-OH ou R-O-O-R, são substâncias termicamente instáveis que podem sofrer reações de decomposição exotérmicas auto-aceleradas e que possuem uma ou mais das seguintes propriedades:

- decomposição explosiva;
- queima rápida;
- sensibilidade a impacto ou fricção;
- envolvimento em reações perigosas com outras substâncias.

Um peróxido orgânico é considerado explosivo quando em ensaios de laboratório a formulação pode detonar, deflagrar rapidamente ou apresentar reação violenta quando aquecida em confinamento.

Compostos ou misturas não são considerados peróxidos orgânicos em caso de:

- O oxigênio disponível nos peróxidos orgânicos da formulação for inferior a 1,0% e o teor de peróxido de hidrogênio for menor que 1,0%;
- O oxigênio disponível nos peróxidos orgânicos da formulação for inferior a 0,5% com teor de peróxido de hidrogênio entre 1,0% a 7,0%.

4.6.2 Classificação de Peróxidos Orgânicos Segundo a Norma GHS

Os peróxidos orgânicos são classificados nas seguintes categorias nas normas GHS (capítulo 2.15) parte 2 ABNT NBR 14 725-2 (seção 7.16):

- 1:** Peróxido orgânico que quando embalado pode detonar ou deflagrar rapidamente.
- 2:** Peróxido orgânico explosivo que quando embalado não detona nem deflagra rapidamente, mas está sujeito a sofrer explosão térmica na embalagem.
- 3:** Peróxido orgânico explosivo que quando embalado não detona nem deflagra rapidamente nem sofre explosão térmica na embalagem.
- 4a:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório detona parcialmente, não deflagra rapidamente e não apresenta reação violenta quando aquecido em confinamento.
- 4b:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório não detona, deflagra lentamente e não apresenta reação violenta quando aquecido em confinamento.



- 4c:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório não detona, não deflagra e que apresenta reação mediana quando aquecido em confinamento.
- 5:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório não detona, não deflagra e que apresenta reação fraca ou nula quando aquecido em confinamento.
- 6:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório não detona, não deflagra e que apresenta reação fraca ou nula quando aquecido em confinamento e com potencial de explosão pequeno ou nulo.
- 7:** Peróxido orgânico que em testes de laboratório não detona não deflagra e que apresenta reação fraca ou nula quando aquecido em confinamento, sem potencial de explosão, termicamente estável (temperatura de decomposição auto-sustentável ≥ 60 °C em massa de 50 kg) e que, no caso de formulações líquidas é estabilizado com neutralizante com ponto de fusão > 150 °C.

4.7 Reagentes Corrosivos

Um composto corrosivo é uma substância que irá destruir ou irreversivelmente causar dano a outra substância ou material. Os mecanismos de corrosão dependem do tipo de agente corrosivo e do material sobre o qual este agente irá agir. No caso da ação corrosiva de ácidos e bases fortes ou soluções concentradas de certos ácidos e bases fracas sobre tecidos vivos, o mecanismo de destruição do tecido é baseado na hidrólise de ésteres e amidas em conjunto com danos térmicos devido à hidratação exotérmica do composto corrosivo que também remove água do tecido. Por exemplo, o ácido sulfúrico concentrado causa queimaduras térmicas em conjunto com a hidrólise química de componentes do tecido biológico. A corrosão de superfícies não vivas (metal, vidro, etc.) é um processo eletroquímico de oxidação.

A periculosidade de um produto corrosivo depende de sua composição e do alvo atingido. O ácido fluorídrico, por exemplo, facilmente permeia tecidos para seletivamente atacar o tecido ósseo. O ácido fluorídrico é um corrosivo fraco de determinados metais, mas forte para silicatos e sílica, especialmente vidro. O mesmo vale para os fluoretos, em especial o de amônio, que não é muito agressivo para tecidos vivos. Cloreto de zinco pode reagir com celulose e corroer tanto o papel quanto a seda. O ácido acético, quando concentrado, é um corrosivo para tecidos biológicos, mas completamente inofensivo para os mesmos tecidos, quando diluído (vinagre).

Os principais perigos de produtos corrosivos para pessoas incluem danos aos olhos, pele e mucosas. A inalação ou ingestão de um produto corrosivo pode causar dano aos tratos respiratórios e gastrointestinais. Em baixa concentração, uma substância corrosiva é usualmente um irritante.

A norma GHS somente contempla produtos corrosivos para metais, classificados como substâncias que em teste-padrão de corrosão laboratorial, corroem aço ou alumínio com taxas maiores do que 6,25 mm por ano na temperatura de 55°C (capítulo 2.16, GHS parte 2 e seção 7.17 da norma ABNT NBR 14 725-2).

4.8 Gases sob Pressão

Gases sob pressão são gases contidos em recipientes a uma pressão inferior a 280 kPa a 20 °C ou como um líquido refrigerado. Esta classe de produtos inclui gases comprimidos, gases liquefeitos, gases dissolvidos e gases liquefeitos refrigerados. Estes gases são classificados em 4 grupos (capítulo 2.5, GHS parte 2 e seção 7.6 da norma ABNT NBR 14 725-2):



- **Gases comprimidos:** gases com temperaturas críticas inferiores a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ armazenados sob pressão;
- **Gás liquefeito:** gás armazenado sob pressão que é parcialmente líquido acima de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estes gases são subdivididos em duas categorias:
 - **Gás liquefeito** a alta pressão com temperatura crítica entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - **Gás liquefeito** a baixa pressão com temperatura crítica acima de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- **Gás liquefeito refrigerado:** gás armazenado sob pressão que é parcialmente líquido por causa da baixa temperatura;
- **Gás dissolvido:** gás armazenado sob pressão dissolvido em solvente líquido.

4.9 Líquidos Criogênicos

O termo **líquido criogênico** refere-se a gases que são mantidos em estado líquido a temperaturas muito baixas que, na pressão atmosférica, apresentam ponto de ebulição menor ou igual a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. São perigosos devido às suas características físicas e químicas associadas a temperaturas baixíssimas.

Os pontos de ebulição dos principais líquidos criogênicos usados na prática são

- Hélio $-265,95\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Hidrogênio $-252,75\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Nitrogênio $-195,85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Oxigênio $-182,85\text{ }^{\circ}\text{C}$

Um gás liquefeito é muito concentrado e pode evaporar rapidamente. A evaporação de nitrogênio líquido, por exemplo, aumenta o seu volume em 700 vezes. 19 litros de nitrogênio líquido são suficientes para deslocar metade do ar de uma sala com $3 \times 3\text{ m}$, reduzindo a quantidade de oxigênio disponível a 10 %, o que corresponde ao teor de oxigênio do ar no topo do Himalaia.

Líquidos criogênicos podem causar incêndios (oxigênio líquido) ou explosões, asfixia, destruição de tecido e fragilizar a estrutura de materiais. Cada componente de uma mistura liquefeita de gases (como, por exemplo, ar sintético) evapora a uma taxa diferente, o que pode causar a formação de atmosferas explosivas transientes, mesmo que a atmosfera que resulta da evaporação total do gás liquefeito não seja explosiva. Uma gota de um líquido criogênico (por exemplo, nitrogênio líquido) derramado sobre uma pessoa, pode causar lesões quase que imediatamente após o contato com a pele, sendo que as lesões serão mais graves se o líquido atravessar a roupa do que se estiver em contato direto com a pele, pois o tecido da roupa pode reter uma quantidade maior de líquido em contato com a pele.

Vazamentos de cilindros de gases podem aumentar rapidamente a pressão no interior de recintos fechados. Cilindros deveriam ser instalados, portanto, somente em ambientes com uma ventilação adequada. Nitrogênio líquido e outros gases liquefeitos podem deslocar o ar respirável e, portanto, devem ser usados apenas em áreas bem ventiladas.



5. TRANSPORTE DE PRODUTOS QUÍMICOS

Um produto químico na estante em seu recipiente original apresenta menos perigo que quando este recipiente é transportado. Toda a vez que um produto químico é movido há um risco do recipiente quebrar resultando numa liberação incontrolada do conteúdo. A maioria dos casos de emergência em laboratórios químicos envolve derramamentos, durante o transporte.

5.1 Uso de Contenção Secundária

Contenção secundária significa usar um segundo recipiente para capturar qualquer vazamento de produto químico que ocorra como consequência da ruptura do recipiente principal.

A ruptura de um recipiente de produto químico perigoso no interior de um elevador pode causar um desastre de grandes proporções em um prédio. Use carrinhos e/ou bandejas para transportar seu produto e conter possíveis vazamentos.

Uma boa contenção secundária pode significar a diferença entre um pequeno acidente e uma evacuação do prédio. Verifique em catálogos de material de segurança de laboratórios outros tipos de equipamentos para contenção secundária de produtos químicos.

5.2 Precauções Extras para Transporte de Produtos Químicos em Veículos

O transporte de produtos químicos em veículos em vias públicas apresenta problemas legais e de segurança adicionais. O rompimento de um recipiente com solvente inflamável ou material tóxico durante um acidente aumentará drasticamente o risco para a saúde das vítimas e das equipes de resgate, podendo dificultar ou mesmo retardar o resgate. Produtos químicos jamais devem ser transportados no compartimento de passageiros de um veículo. O Departamento de Transporte do Estado (DETRAN) ou DNER regulamentam o transporte de materiais perigosos em vias públicas. Dependendo do tipo e da quantidade de material transportado, o motorista deve possuir uma licença especial para o transporte destes produtos.

Os produtos químicos devem ser acondicionados em recipientes específicos e o veículo deve ser corretamente identificado. Caso ocorra a necessidade de transportar produtos químicos por vias públicas, entre em contato com o responsável por resíduos químicos do seu departamento.

Detalhes sobre a Legislação vigente para transporte de produtos químicos podem ser obtidos no site www.cetesb.org.br.

6. ARMAZENAMENTO E MANIPULAÇÃO

Não armazene produtos químicos em locais inadequados. Todos os compostos químicos devem ser armazenados em locais seguros respeitando as compatibilidades e devem ser cadastrados em inventários.

6.1 Inventário de Produtos Químicos

O laboratório é, em muitos aspectos, como a nossa casa. A maioria das pessoas vai às compras com uma lista. Esta lista é preenchida com base no exame do inventário daquilo que está disponível na dispensa e com base nas suas previsões de consumo para um futuro imediato. Ao gerar uma lista você considera informações como as datas de vencimento de



produtos, e a viabilidade ou não de adquirir certos produtos em lotes maiores, dependendo da do consumo e durabilidade.

O inventário é a peça chave da viabilização de uma administração prudente dos produtos químicos de laboratório. Ele economiza dinheiro, porque o conhecimento da quantidade disponível e do estado de conservação permite evitar a aquisição duplicada de compostos e perdas por vencimento do prazo de validade. Além disso, este inventário pode fornecer informações fundamentais em casos de emergência.

Podemos armazenar a informação do inventário em fichários ou em bancos de dados eletrônicos.

O banco de dados eletrônico pode ser compartilhado com outros laboratórios no departamento/escola para evitar estoques excessivos e compras desnecessárias.

Mantenha o controle das compras de seus produtos, guardando as notas fiscais e acompanhe o consumo através das embalagens vazias. Inclua no inventário informações sobre a quantidade de resíduos gerados e a forma pela qual foram descartados.

Um inventário possui as seguintes informações essenciais:

- O nome do produto tal e qual aparece na etiqueta do recipiente;
- Fórmula molecular (para identificação ou simplesmente para pesquisa);
- Número de registro;
- Número do lote;
- Fornecedor;
- Tamanho do recipiente;
- Quantidade armazenada.

Outras informações importantes para o banco de dados:

- Informações sobre armazenamento, manipulação e descarte,
- Data de aquisição para assegurar que produtos instáveis não sejam armazenados além da data de validade e assegurar que produtos mais antigos sejam usados primeiro,
- Local de armazenamento.

6.2 Princípios de Armazenamento de Produtos Químicos

O armazenamento de produtos químicos deve ser feito com base na integração de várias considerações de segurança e saúde. O sistema de inventário é um instrumento de planejamento eficaz para assegurar uma estocagem segura considerando aspectos de segurança física e compatibilidade química.

- Não use a capela para estocar produtos químicos.
- Use um compartimento ventilado para armazenamento de produtos voláteis.
- Nunca armazene produtos perigosos em locais de acesso ao público.
- Use prateleiras resistentes e afixadas de forma segura com amplo espaço para todas as embalagens.
- Evite armazenamento de produtos químicos em prateleiras a mais de dois metros acima do piso.
- Não armazene líquidos acima do nível dos olhos.



- Códigos de proteção contra incêndios estipulam que nenhum produto químico seja armazenado dentro de um raio de 45 cm de sistemas de gotejamento para controle de incêndios instalados no teto.
- Não ultrapasse a capacidade de carga de prateleiras.
- Para evitar acidentes ao levantar ou baixar peso, guarde itens pesados e/ou grandes nas prateleiras mais baixas.
- Evite acondicionar materiais ou embalagens diretamente no piso, para evitar acidentes e deterioração da embalagem pela umidade.
- Implemente estratégias preventivas para a contenção secundária de vazamentos, usando vasilhames de material adequado.
- Utilize geladeira ou congelador específicos para o armazenamento de produtos, se necessário.
- Separe compostos altamente tóxicos e carcinogênicos de outros produtos químicos. Coloque um aviso sobre a periculosidade destes produtos na porta do armário onde ficam acondicionados.
- O armazenamento de produtos químicos em câmaras frias apresenta problemas específicos. Um problema sério em câmaras frias “walk-in” é a entrada de ar úmido cada vez que a porta é aberta. A umidade do ar condensa nas superfícies frias dos vasilhames, criando condições ideais para o crescimento de fungos e outros microrganismos deteriorantes. A umidade pode também comprometer os contatos adesivos entre colas e fitas adesivas que prendem tarjas de identificação nos vasilhames.

6.2.1 Etiqueta das Embalagens

Se certifique de que todos os recipientes com produtos químicos estejam rotulados corretamente.

Soluções, produtos sintetizados ou transferidos para outros recipientes devem ser etiquetados corretamente com as seguintes informações:

- Nome do produto e composição, quando sintetizados.
- Principal perigo (carcinogênico, irritante, corrosivo, etc.).
- A data de preparo, abertura ou recebimento.
- Nome da pessoa que preparou a etiqueta.

Note que certas condições ambientais de laboratórios contribuem para tornar ilegível uma etiqueta:

- Vapores de ácido clorídrico.
- Iodo de compostos químicos que produzem iodeto que por sua vez é oxidado no ar.
- Luz, fluorescência ou luz do sol agem sobre tintas vermelhas.
- Deterioração de papel.
- Fita de celofane sobre o papel, A fita descolora com facilidade.
- Oxidação de colas.
- Mofo que cresce na etiqueta de frascos em salas frias onde ocorre condensação de umidade atmosférica.

6.2.2 Recipientes e Contenção Secundária para Prevenir Acidentes

Utilize o recipiente correto para armazenar os seus produtos químicos. Empregue contenção secundária quando necessário. Contenção secundária é quando o recipiente com o produto químico é colocado em um segundo recipiente, também hermeticamente fechado, para conter



vazamentos do recipiente primário. Siga as seguintes recomendações para contenção segura dos seus produtos químicos perigosos:

- Utilize recipientes para armazenamento compatíveis com os produtos químicos. O composto não deve reagir com o material do recipiente, com a tampa ou com o material da vedação da tampa. Por exemplo, **não armazene ácido fluorídrico em recipientes de vidro**. Armazene os produtos químicos preferencialmente nos seus recipientes originais e transfira estes produtos somente para recipientes de qualidade similar.
- Compre quantidades menores do produto que facilitam o armazenamento com segurança e simultaneamente encoraja a minimização do consumo de produtos químicos perigosos e, como consequência, a geração de resíduos destes produtos. Recipientes pequenos são menos propensos a romper-se em quedas acidentais.
- Adquira, sempre que possível, materiais acondicionados em recipientes com paredes externas protegidas por películas. Estas películas evitam a dispersão de cacos de vidro em caso de quebra acidental do frasco.
- Alguns produtos químicos demandam dispositivos especiais no armazenamento, como tampas com válvulas para alívio de pressão interna.
- Peróxido de dibenzoil deve ser armazenado em recipientes flexíveis para evitar a transmissão de energia por choque em recipientes rígidos. Estes recipientes devem ser lacrados com tampas sem rosca para evitar fricção durante a abertura do recipiente e devem ser à prova de carga elétrica estática. Estas medidas preventivas no seu conjunto são necessárias para impedir a explosão acidental do composto.

Ordem de eficiência de segurança nas embalagens:

Container de segurança > recipientes metálicos > vidro com película > plástico > vidro.

6.2.3 Gabinetes ou Áreas para Armazenamento de Produtos Químicos Perigosos

Na designação destes locais, siga as instruções específicas para armazenamento de ácidos e produtos inflamáveis a seguir:

- **Produtos inflamáveis** devem ser armazenados em gabinetes separados respeitando os limites de volume.
- Volumes acima de 38 litros por 42 m² de área de laboratório devem ser armazenados em gabinete específico ou em containers de segurança.

Gabinete para Ácidos e Bases

Ácidos e bases são considerados corrosivos, evite armazená-los no mesmo gabinete. É particularmente importante evitar o armazenamento conjunto de hidróxido de amônia com ácidos minerais fortes. Ácidos oxidantes fortes como os ácidos perclórico e nítrico devem ser armazenados dentro de frascos de contenção secundária como caixas de polipropileno em gabinetes para ácidos. Ácido acético glacial é um produto ao mesmo tempo inflamável e



corrosivo, armazene-o com contenção secundária em um gabinete para armazenamento de compostos inflamáveis.

6.2.4 Inspeção Áreas de Armazenamento Periodicamente

Alguns produtos químicos tornam-se sensíveis ao choque com o envelhecimento. Inspeção seu estoque de reagentes químicos regularmente para verificar a ocorrência de degradação dos produtos. Produtos degradados ou com suspeita de degradação devem ser descartados:

- Líquidos com material coagulado ou precipitado.
- Recipientes com pressão interna elevada.
- Escurecimento ou mudança de coloração.
- Indicações de reação com água.
- Manchas em sólidos.
- Corrosão / dano no recipiente.
- Endurecimento de material anidro.
- Falta de etiqueta, etiqueta danificada ou ilegível.
- Existência de sólidos em líquidos ou líquidos em sólidos.
- Prazos de validade vencido.

Inspeção regularmente o seu estoque de produtos químicos para se certificar de que os recipientes estão em bom estado de conservação e devidamente lacrados.

6.2.5 Algumas Regras Gerais de Armazenamento

- Separe ácidos de bases e armazene estes produtos perto do piso.
- Separe ácido perclórico de produtos orgânicos.
- Não armazene ácido perclórico em prateleiras ou armários de madeira.
- Mantenha ácidos aquosos separados de sais de cianeto.
- Armazene ácidos distantes de produtos inflamáveis.
- Não armazene compostos formadores de peróxidos por períodos superiores a 12 meses.
- Não permita que o ácido pícrico seque.
- Produtos inflamáveis devem ser guardados em um armário específico para este tipo de produto.

6.2.6 Mantenha Produtos Químicos Incompatíveis Separados

Evite os riscos de reações adversas por incompatibilidade química de compostos, cuja mistura pode resultar em reações violentas, explosões, incêndios ou na geração de gases tóxicos. Recipientes de materiais incompatíveis com o seu conteúdo podem vazar ou até mesmo sofrer colapso catastrófico. Em caso de incêndio, compostos quimicamente incompatíveis podem se misturar e aumentar a velocidade de propagação do incêndio ou até mesmo causar uma explosão

A incompatibilidade química deve ser analisada de três perspectivas fundamentais:

- **Contenção:** acondicionamento dos produtos em frascos de material adequados bem selados, previne vazamentos e liberação acidental dos compostos.
- **Mistura:** materiais oxidantes, reativos ou ácidos não devem ser misturados com produtos inflamáveis em recipientes para a coleta de resíduos destes produtos.



- **Armazenamento:** agrupe os produtos químicos segundo a sua compatibilidade e categoria de risco. As informações sobre compatibilidade podem ser encontradas na FISPQ.

A melhor maneira de minimizar os riscos de acidentes por mistura de compostos químicos incompatíveis, é o conhecimento sobre as propriedades dos produtos e a implementação de boas práticas de segurança no local de trabalho.

Prevenção de reações violentas em procedimentos experimentais.

- O aquecimento rápido pode resultar na fervura da solução, que pode espirrar substâncias nocivas no ambiente;
- Pela informação sobre riscos de reações binárias adversas dos produtos químicos que você manipula;
- Disponibilidade de um plano de segurança que considere os riscos de incompatibilidades de produtos armazenados e manuseados no laboratório;
- Orientadores controlando regularmente o trabalho dos orientados em manipulações que envolvem riscos de acidentes com produtos químicos e atualizando os procedimentos de segurança;
- Orientadores fornecendo os equipamentos de proteção adequados e supervisionando o uso correto destes equipamentos;
- Disponibilizar as FISPQs dos produtos perigosos manipulados no laboratório e consultá-las antes de manusear os produtos, inclusive com relação aos aspectos de incompatibilidade química;
- Não misturar resíduos químicos incompatíveis em um mesmo frasco ou galão de coleta de descartes;
- Acondicionamento de produtos químicos para transporte;
- Compostos tóxicos que podem produzir gases em reações explosivas;
- Incêndios que podem ser provocados pela combinação de materiais oxidantes com combustíveis;
- Líquidos explosivos formados por mistura acidental de compostos não-explosivos.

6.2.6.1 Incompatibilidade entre Ácidos

Os ácidos podem ser classificados em 9 categorias diferentes segundo as suas propriedades de óxido-redução e sua reatividade em água. As categorias básicas são:

Propriedades de óxido-redução	Reatividade
Oxidante (Ox)	Reativo com água (RA)
Não oxidante e não redutor (NRedOx)	Não reativo com água, não-aquoso (NAqNRA)
Redutor (Red)	Aquosos (Aq)

As nove classes de ácidos são definidas em função da combinação de cada uma das propriedades da coluna da esquerda com uma propriedade da coluna da direita:

Ox-RA: cloreto de cromila (CrO_2Cl); ácido nítrico 100%; ácido perclórico 100%; pentafluoreto de bromo; ácido sulfocrômico.

Ox-Aq: ácido nítrico 67%, ácido perclórico 72%, ácido crômico.



- NRedOx-RA:** ácido sulfúrico, ácido sulfúrico fumegante, ácido sulfocrômico, cloreto de sulfurila, ácido fluorosulfônico, oxicloreto de fósforo, anidrido ou cloreto trifluoroacético, anidrido ou cloreto trifluorometanosulfônico, tribrometo de bromo, tetracloreto de silício, tetracloreto de titânio, pentafluoreto de antimônio, tetracloreto de vanádio.
- NredOx-NAqRA:** ácido fosfórico 85%, ácido fluorobórico, ácido trifluorometanosulfônico, ácido trifluoroacético, ácido fluorídrico 100%.
- NRedOx-Aq:** ácido fluorídrico 50%, ácido clorídrico 36%, ácido hidrobromico 48%, ácido trifluoroacético 30%, ácido fluorobórico 50%
- Red-RA:** cloreto de acetila, ésteres de cloroformiato, cloreto de oxalila, metilfluorosulfonato, dietilamino enxofre trifluoreto, cloreto de tionila, tricloreto de fósforo.
- Red-NAqNRA:** ácido dicloroacético.
- Red-Aq:** ácido hidroióico, ácido sulfuroso saturado, ácido hipofosforoso 50%.

Classificado o ácido em uma destas nove categorias, a incompatibilidade de armazenamento pode ser analisada seguindo as seguintes regras:

- Ácidos **NRedOx** geralmente são compatíveis com ácidos **Red** e **Ox**;
- Ácidos **NAqRA** são compatíveis com ácidos **Aq** e **RA**;
- Ácidos **Red** são menos compatíveis com ácidos **Ox** do que os ácidos **Aq** com os ácidos **RA**;
- Ácidos orgânicos como fórmico, acético, láctico, pirúvico, anidrido acético e ácido dicloroacético devem ser armazenados junto com compostos orgânicos;
- Cloroformiatos e cloreto de acetila, apesar de inflamáveis, devem ser armazenados junto aos ácidos **Red-RA**.

6.2.6.2 Prevenção de Perigos Associados a Misturas Binárias

Apesar dos riscos de reações de misturas binárias não serem diretamente aplicáveis ao armazenamento de produtos, estes riscos devem ser considerados também neste caso em função do perigo de rompimento dos frascos e mistura do conteúdo, em caso de acidente como desabamento de prateleira, incêndio, etc.

A seguir serão discutidas algumas das reações binárias mais comuns em laboratórios de pesquisa: combinações de compostos oxidantes e redutores, misturas que geram gases tóxicos e compostos incompatíveis com água.

6.2.6.3 Incompatibilidades de Oxidantes e Redutores Fortes

A combinação de um oxidante e de um redutor forte pode resultar em uma reação violenta. Preste muita atenção quando estiver trabalhando com estas substâncias para evitar reações violentas e descontroladas. Separe oxidantes de redutores no armazenamento para evitar acidentes.



Oxidantes - Ácidos

- Ácido perclórico anidro
- Ácidos e sais diclorocianúricos
- Ácidos triclorocianúricos
- Cloro
- Difluoreto de xenônio
- Dióxido de nitrogênio
- Flúor
- Ozônio
- Pentafluoreto de bismuto
- Pentafluoreto de bromo
- Peróxido de hidrogênio
- Tetranitrometano
- Tetróxido de rutênio
- Trióxido de cromo
- Cloreto de cromila

Oxidantes - Ânions Peróxido

- Bismutato
- Bromato
- Clorato
- Clorito
- Cromato
- Dicromato
- Hipoclorito
- Iodato
- Nitrato
- Nitrito
- Oxiânion de xenônio
- Perborato
- Percarbonato
- Perclorato
- Periodato
- Permanganato
- Peroxidissulfato
- Persulfato
- Superóxido (dióxido)

Oxidantes - sais de amônia

- Nitratos
- Percloratos
- Peroxidissulfatos
- Cromatos
- Dicromatos

Oxidantes – Óxidos

- Manganês (IV), níquel (III), prata (II), ouro (III), chumbo (IV), bismuto (IV).



Redutores Pirofóricos:

- Alquil e aril alcalinos
- Alquilaluminas
- Alquilarsinas
- Alquilboranos
- Alquilfosfinas
- Alquilgálio
- Alquilzinco
- Boranos até o pentaborano
- Difosfina
- Fosfina,
- Fósforo branco
- Hidreto de alumínio
- Ligas de sódio-potássio , rubídio e céσιο
- Metais com elevada área de superfície (titânio, zircônio, háfnio, ferro, níquel, etc.)
- Óxidos e sais de titânio (II), zircônio (II), Vanádio (II), Molibdênio (III)
- Pentacarbonil de ferro
- Silanos
- Terras alcalinas
- Vanádio hexacarbonil

Compostos reativos com ar e água:

- Metais alcalinos terrosos (e seus hidretos, arilas, alquilas, carbetos, acetilidos, amidas e fosfidas).
- Tetrahidroaluminatos.
- Nitretos e fosfidas de alumínio.
- Pós com elevada área de superfície de magnésio, alumínio, ferro, zinco, terras raras, lantanídeos e actinídeos.

Compostos estáveis em água mas reativos no ar:

- Ácido ascórbico
- Alcoóis
- Amônia
- Borohidretos
- Carboidratos
- Cianetos
- Formaldeído
- Formiatos
- Fosfitos
- Hidrazina
- Hidroquinona
- Hidrosulfitos (ditionitos)
- Hidroxilamina
- Hipoboratos
- Hipofosfitos
- Iodetos
- Monóxido de carbono



- Oxalatos
- Sais de titânio (III), vanádio (III), cromo (II), ferro (II), cério (III), estanho (II)
- Sulfetos
- Sulfitos
- Tiocianatos
- Tiosulfatos

Compostos orgânicos:

Compostos orgânicos em geral ou compostos organometálicos com ligação do carbono a silício, estanho, chumbo, germânio, mercúrio, nitrogênio, calcogênio ou halogênio.

Compostos organometálicos ou carbonilas de metais de transição:

- Diciclopentadienoliron
- Hexacarbonil de cromo
- Metais trifenilfosfino
- Metalocenos
- Molibdênio ou tungstênio
- Tetraquis(trifenilfosfino)paládio, uma variedade muito grande destas ligações.

Elementos não-metálicos:

- Antimônio
- Arsênio
- Boro
- Carbono
- Enxofre
- Fósforo vermelho
- Hidrogênio
- Silício
- Telúrio

Metais:

Metais de transição dos grupos 3 a 7 da tabela periódica de elementos, cobalto, níquel, cádmio, gálio, índio, germânio, estanho e chumbo.

6.2.6.4 Produção de Gases Tóxicos

Certos compostos quando misturados podem reagir produzindo gases tóxicos. Esta reação pode ocorrer também entre produtos derramados. Este perigo existe quando pelo menos um componente é um líquido ou um sólido dissolvido, normalmente em solução aquosa. O gás tóxico pode ser produzido por incompatibilidade ácida ou alcalina (Tabelas 2.2 e 2.3).



Tabela 2.2 Gases produzidos por incompatibilidade ácida de sólidos solúveis com ácidos (UWM-LSG, 2005).

Incompatibilidade Ácida		
Sólido	Líquido	Gases Produzidos
Sais solúveis de azidas	Ácidos concentrados	Vapor de ácido hidrazóico
Sais solúveis de brometo	Ácido sulfúrico >95%	Dióxido de enxofre e bromo
Sais de bromatos	Ácidos fortes concentrados	Bromo, oxigênio, Ácido bromídrico e calor
Sais de cloretos solúveis	Ácido sulfúrico >95%	Ácido clorídrico
Cloratos ou sais de cloritos	Ácidos fortes concentrados	Oxigênio, Ácido clorídrico e calor
Sais solúveis de cianeto	Qualquer ácido	Ácido cianídrico
Sais cianometálicos (ferricianeto)	Ácidos fortes concentrados	Ácido cianídrico
Sais de fluoreto, sais solúveis de sílica ou silicatos	Ácidos fortes concentrados	Ácidos fortes concentrados
Pó de alvejante (CaCl(OCl))	Ácido fluorídrico	Tetrafluoreto de silício
Ácido	Ácido	Cloro
Sais de nitritos solúveis	Solução de cloro	Cloro
	Ácidos fortes concentrados (HNO ₃)	Óxidos de nitrogênio ou Oxido nitroso
Sais de sulfetos solúveis	Ácido	H ₂ S
Sulfetos associados a metais de transição	Ácidos fortes concentrados	H ₂ S
Sais de sulfitos solúveis	Ácido	SO ₂
Dióxido de manganês	Ácido fluorídrico	Cloro

Observações de aspectos específicos na tabela 2.2: onde a palavra ‘ácido’ aparece na coluna do líquido incompatível, soluções aquosas destes sais podem liberar lentamente os gases na reação com dióxido de carbono do ar.

- Sais de bromato, clorato, clorito, permanganato e nitrito acidificados com ácido sulfúrico concentrado podem se incendiar ou explodir! Estes sais também podem se incendiar ou explodir quando bem misturados com sais de amônia.
- Ácido nítrico concentrado usado para a limpeza de metais ou para a redução de materiais de superfícies de cerâmica ou vidro será reduzido primeiro ao ácido nitroso, que é transformado em seguida em óxidos de nitrogênio produzindo vapores de cores marrons ou laranja.
- Alvejante de cloro é produzido pela reação de cloro com uma solução alcalina, que gera uma mistura de cloro com hipoclorito, que é estável em condições alcalinas ou como sal. O cloro será regenerado na adição de ácido a estes sais, mesmo em se tratando de ácido carbônico do ar.
- Ácido fluorídrico ou materiais que no contato com umidade produzem ácido fluorídrico reagirão com a sílica do vidro formando tetrafluoreto de sílica. Se houver excesso de umidade no frasco, esta produção de gás pode pressurizar o interior de um vidro fechado, causando o seu estouro.
- Ácido sulfúrico concentrado aparentemente oxida brometo a bromo. O que parece fortalecer esta reação é o caráter higroscópico do ácido sulfúrico, que obterá água do ácido sulfuroso que é produzido como intermediário da redução do brometo pelo sulfato, produzindo dióxido de enxofre e bromo. Ácido sulfúrico concentrado poderá queimar celulose ou açúcares simplesmente pela remoção da água destas moléculas, deixando o esqueleto de carbono para trás.



Tabela 2.3. Gases produzidos por incompatibilidade alcalina de sólidos solúveis com bases (UWM-LSG, 2005).

Incompatibilidade Alcalina		
Sólido	Líquido	Gases Gerados
Sais de amônia	Soluções de bases concentradas	Amônia
N-metil-N-nitrosamidas	Soluções de bases	Diazometano

6.2.6.5 Armazenamento de Produtos Químicos Inflamáveis e Combustíveis

O rótulo nos produtos e a FISPQ ajudarão a identificar os produtos químicos inflamáveis e combustíveis.

Siga os seguintes instruções para armazenar produtos químicos inflamáveis:

- Minimizar a quantidade de líquidos inflamáveis em seu laboratório.
- Compre apenas o que for necessário para o experimento. O excesso de solventes inflamáveis aumenta o risco de incêndio ou de ocorrência de vazamentos perigosos, e aumenta os riscos à saúde dos integrantes do laboratório.
- Se existir uma sala especialmente equipada para armazenamento de solventes inflamáveis na instituição, armazene seu estoque de produtos inflamáveis nesta sala até utilizá-los.
- No laboratório, armazene produtos inflamáveis em armários especiais identificados com um selo de segurança permitindo tal uso.
- Não armazene líquidos inflamáveis em gabinetes localizados na parte inferior de capelas ou de pias.
- Armazene produtos inflamáveis ou combustíveis, longe de oxidantes fortes como os ácidos perclórico e nítrico.

Limite de volume de armazenamento em laboratórios para líquidos inflamáveis:

Vidro, metal ou plástico	38 litros
Recipientes de segurança específicos	95 litros
Compartimentos de estocagem para inflamáveis	684 litros

A quantidade de produtos inflamáveis armazenados sobre a sua bancada deve ser limitada aos volumes de uso imediato e requer alguns cuidados.

- Armazene garrafas de líquidos inflamáveis em uma bandeja para contenção, com volume suficiente para coletar os volumes de produtos, que podem escapar durante um vazamento.
- Durante transferência de líquidos inflamáveis acondicionados em embalagens metálicas conecte as embalagens metálicas a fios terra para evitar descargas eletrostáticas que poderiam produzir faíscas.
- Descargas oriundas de eletricidade estática podem causar ignição em vapores ou gases inflamáveis. Se o risco de descargas estáticas for elevado, minimize o acúmulo de cargas eletrostáticas por meio da aplicação de sprays de agentes anti-estáticos. Utilize materiais condutores (assoalhos, esteiras, etc) e aterramentos em instrumentos e equipamentos. O maior perigo da eletricidade estática é no inverno quando o ar é mais seco (dependendo da região).



6.2.6.5.1 Refrigeradores para Armazenamento de Líquidos Inflamáveis

Esses refrigeradores não apresentam fontes de faísca no interior do compartimento de refrigeração, entretanto, fonte de faísca na parte externa do refrigerador como interruptores, motores, relês, etc. podem causar ignição de vapores inflamáveis presentes na parte externa do refrigerador. Um frasco de líquido inflamável que goteja ou quebra próximo deste refrigerador, pode ser facilmente incendiado por uma faísca.

6.2.6.5.2 Refrigeradores a Prova de Explosão

Estes refrigeradores são consideravelmente mais caros porque todas as fontes de ignição nas partes interna e externa do equipamento são completamente seladas e protegidas da atmosfera inflamável.

6.2.6.6 Precauções no Manuseio e Armazenamento de Produtos Corrosivos

Produtos corrosivos são materiais que causam destruição de tecido quando em contato com tecido vivo. O principal enfoque na prevenção de danos por produtos corrosivos é evitar o contato do produto com a pele ou outros tecidos. Soluções concentradas ou aquosas de ácidos ($\text{pH} < 2$) e bases fortes ($\text{pH} > 12$) com concentração acima de 1M, ácido fluorídrico mesmo em baixas concentrações, ácidos orgânicos fortes ($\text{pK}_a < 5$) e aminas ($\text{pK}_a > 9$) são corrosivas para a pele.

Sempre que um material corrosivo é manipulado é necessário proteger os olhos com óculos de segurança com proteção lateral e usar luvas de borracha. Proteção adicional para o rosto na forma de um protetor facial de acrílico, um avental de borracha e botas também podem ser necessários em alguns casos. Equipamentos de emergência para lavagem de olhos e duchas devem estar prontamente acessíveis em áreas onde ocorre armazenamento ou manipulação de produtos corrosivos.

Os ácidos e bases devem ser armazenados separadamente. Os ácidos orgânicos devem ser armazenados com os materiais inflamáveis, separado de materiais oxidantes ácidos ou não.

Quando misturar ácidos com água, adicione lentamente o ácido na água. Ácidos que geram aquecimento durante a diluição, tal como o sulfúrico, devem ser misturados com água sobre banho de gelo para amenizar o aquecimento. Soluções concentradas de ácidos nítrico e clorídrico produzem pequeno aquecimento durante a diluição.

6.2.6.7 Produtos Químicos Reativos

Os perigos de produtos reativos são específicos para cada composto. Antes de trabalhar com produtos químicos reativos, entenda os riscos da manipulação destes compostos. Verifique as precauções recomendadas na etiqueta da embalagem. Consulte referências para informações específicas sobre a reatividade e incompatibilidades do produto. Com todos os agentes reativos, use a menor quantidade possível nos experimentos. Manuseie compostos reativos na capela, atrás de uma placa protetora ou utilizando um protetor de face de acrílico. Segregue seus produtos reativos e armazene-os longe da luz solar e de fontes de calor.



6.2.6.8 Oxidantes

Muitos acidentes com produtos químicos são causados por reações de oxidação. No armazenamento, separe os materiais oxidantes dos produtos inflamáveis, orgânicos e outros compostos redutores.

6.2.6.9 Produtos Químicos Pirofóricos

Materiais pirofóricos (boranos, n-butillítio, fósforo branco) inflamam espontaneamente no contato com o ar.

Evite vazamentos de produtos inflamáveis acondicionando garrafas de vidro dentro de embalagens plásticas ou de borracha. Use e armazene todos os compostos pirofosfóricos em uma atmosfera inerte (armazene sob nitrogênio ou argônio).

6.2.6.10 Substâncias Sensíveis ao Choque, Auto-reativas, Explosivas ou Endotérmicas

Os átomos destas substâncias estão ligados entre si em um arranjo com elevada energia potencial. Estes compostos podem liberar espontaneamente grande quantidade de energia quando submetidos à vibração, agitação, choque direto (queda de pingo da substância em superfície) ou indireto (batida no recipiente que contém a substância).

Uma explosão acontece quando uma grande quantidade de energia é liberada muito rapidamente.

Um **explosivo sensível** é uma substância que explode com baixa energia de ativação: aumento de temperatura, choque de impacto, moagem, vibração, ou por susceptibilidade química.

A susceptibilidade química inclui condições de óxido-redução apropriadas para iniciação da reação, moléculas com alto conteúdo de nitrogênio ou oxigênio (por exemplo, peróxidos, óxidos halogênicos, compostos com alto teor de nitratos, etc.), organometálicos de cobre, prata e ouro.

Acidentes laboratoriais podem ocorrer após formação inadvertida ou acidental de compostos explosivos ou sensíveis ao choque tais como peróxidos que se formam no contato com oxigênio e alguns compostos, percloratos oriundos de experimentos com ácido perclórico em capelas, e azidas originários da reação de soluções de sais de azida com chumbo da tubulação do prédio.

Muitos acidentes em laboratórios são causados por manômetros de mercúrio usados para medir a pressão de gases de amônia ou acetileno.

Nitreto de mercúrio (mercúrio fulminante) ou acetanilida mercurioso podem ser formados a partir de óxido de mercúrio residual, que se acumula na parte externa do manômetro, que entra em contato com o gás durante a medição da pressão. Estes compostos formam uma mistura sensível a choque, que pode explodir quando alguém bate no manômetro na tentativa de liberar uma seta indicadora que parece estar presa.

Óxido de prata e solução de amônia pode produzir uma “prata fulminante” que é muito sensível a choques e libera grande quantidade de energia na decomposição. Esta substância,



também se forma a partir de resíduos de reagentes não consumidos em testes de Tollins. Se você for aplicar este teste em seus trabalhos, elimine material residual imediatamente após o teste, misturando a solução residual com excesso de açúcar.

Compostos nitro-orgânicos tais com nitrometano, nitrofenóis, e ácido pícrico, formam sais com bases fortes, como, por exemplo, hidróxido de sódio. Estes sais sólidos são termicamente lábeis e sensíveis a choque, produzindo decomposição rápida com alta liberação de energia.

6.2.6.11 Produtos Químicos Formadores de Peróxidos

Certos produtos químicos podem transformar-se em compostos potencialmente perigosos, sensíveis ao choque, pela formação de peróxidos orgânicos após armazenamento prolongado. Uma forma eficaz de redução do risco é simplesmente evitar armazenamento prolongado de todos os produtos formadores de peróxidos.

Muitos compostos formadores de peróxidos podem formar cadeias de poliperóxidos ou oligoperóxidos cíclicos que são difíceis de detectar e eliminar. Estes peróxidos podem ser expelidos de soluções e se depositar na forma de cristais ou de um gel no fundo do recipiente. Estes compostos são extremamente instáveis e podem se decompor violentamente com uma pequena perturbação, por vezes de forma espontânea.

Não armazene estes produtos químicos por mais tempo do que o sugerido.

Um exemplo de acidente por formação inadvertida de peróxidos é o ocorrido com um pesquisador que tentou destilar éter etílico anidro em um rotaevaporador. A garrafa de 4 litros de éter estava quase vazia. Enquanto transferia o éter para o aparelho de destilação, em uma capela, o pesquisador notou que o líquido estava oleoso e exalava um cheiro estranho. Decidindo não utilizar o produto, ele colocou o éter de volta da garrafa e foi para casa. Na manhã seguinte ele notou a presença de um resíduo branco no interior do aparelho de destilação e tentou remover o material da superfície de uma junta de vidro com uma espátula de metal. Ocorreu uma detonação que destruiu a vidraria. O pesquisador sofreu cortes nas mãos, na face, nas orelhas e no couro cabeludo. Ele estava usando óculos de segurança e havia pedaços de vidro encravados nas lentes dos óculos. A janela da capela estava quebrada e a lâmpada no interior da capela destruída.

A seguir serão discutidos os principais produtos sujeitos à formação de peróxidos.

A lista abaixo enumera materiais formadores de peróxidos de alto risco, cujos produtos de oxidação são facilmente formados e se decompõem com alta liberação de energia.

Atenção: examine estes compostos trimestralmente. O teste comumente utilizado para detecção de peróxidos funciona apenas para isopropil éter.

Produtos químicos formadores de peróxidos

- Butadieno
- Éter divinil
- Acetileno divinil
- Isopropil éter
- Potássio amida
- Potássio metálico



- Sódio amida
- Policloroetano

A seguir são listados solventes sujeitos à acumulação de peróxidos que representam risco quando o solvente for aquecido ou concentrado. Atenção: avalie anualmente o teor de peróxidos nestes solventes.

- Acetal
- 2-butanol
- Cellsolves (2-etoxietanol)
- Cumeno (isopropilbenzeno)
- Ciclohexano
- Decalina (decahidronaftaleno)
- Dicllopentadieno
- Diglime
- Tetrahidronaftaleno
- Dietil eter (eter etil)
- 1,4-dioxano
- etileno glicol dimetil eter (monoglime)
- Furano
- Isopropanol
- Metilciclohexano
- Metil isobutil cetona
- Tetrahidrofurano

A lista seguinte contém líquidos e gases liquefeitos comprimidos cuja polimerização pode ser iniciada por oxigênio. O teste comumente utilizado para detecção de peróxidos pode não indicar a presença do composto reativo, mas existem indicadores de polimerização. Quando inspecionar os líquidos, verifique se ocorreu um aumento da viscosidade. Quando inspecionar gases, procure por resíduos após evaporação de uma amostra. Ambos podem indicar a presença de um polímero. Descarte o produto assim que detectar alterações do tipo descrito acima.

- Acetato de vinila
- Acroleína
- Acrilonitrila
- Ácido acrílico
- Cloropreno
- (2-clorobutadieno)
- Clorofluoroetileno
- Etil acrilato
- Etil vinil éter
- Estireno
- Tetrafluoroetileno
- Acetato

Produtos químicos listados como perigosos devido à possibilidade de iniciação de reações de auto- polimerização por peróxidos, podem sofrer polimerização explosiva iniciada por oxigênio dissolvido. Não armazene estes produtos mais tempo que o sugerido.



Os produtos listados como peróxidos perigosos quando concentrados podem formar hidroperóxidos e peróxidos de cetona. Estes peróxidos são solúveis e podem ser detectados com testes de fita para peróxidos ou através de uma reação de amido com iodeto de potássio. É comum destilar estes solventes peroxidáveis antes de usar, um procedimento que concentra os peróxidos dissolvidos e os sujeita ao aquecimento e choque mecânico.

Para destilar solventes peroxidáveis com segurança:

- Elimine os peróxidos através de reação com um agente químico redutor ou passe o solvente através de uma coluna com alumina ativada.
- Adicione óleo mineral ao pote de destilação. Este tem um efeito combinado de amortecedor de ebulição, estabiliza a diluição e serve como um moderador de reação viscoso, quando se inicia a decomposição de peróxidos.
- Monitore o processo de destilação com atenção para assegurar que o líquido não se evapore por completo e o frasco superaqueça.

Para prevenir a formação de peróxidos durante a destilação:

Adicione pequenos pedaços de sódio metálico nos vasos de destilação para eliminar os peróxidos. Use benzofenona como um indicador para a presença de metal de sódio (benzofenona, na presença de sódio metálico forma um radical com uma coloração azul escura). Quando a cor azul desaparecer, adicione mais sódio metálico. Seja prudente no caso de altos níveis de peróxido e cauteloso na limpeza do pote utilizado.

Se você pretender destilar algum dos solventes formadores de peróxidos listados acima, que tenha sido armazenado além do período recomendado, verifique a ocorrência de peróxidos na solução antes de iniciar a destilação.

Substâncias formadoras de peróxidos durante armazenamento

Os compostos mais perigosos são aqueles que produzem peróxidos durante o armazenamento sem serem concentrados ou manipulados. Trata-se de materiais que podem acumular níveis perigosos de peróxidos durante o armazenamento após exposição ao ar.

Compostos formadores de peróxidos que consistem de monômeros de vinila podem formar peróxidos que podem iniciar a polimerização explosiva de monômeros. Quando estas substâncias são armazenadas como líquidos, o potencial de formação de peróxidos aumenta. Certos monômeros (especialmente butadieno, cloropreno, e tetrafluoroetileno) apresentam um forte risco de formação de peróxido durante o armazenamento. Antes de trabalhar com os compostos listados, teste o nível de peróxido.

Cuidadosamente examine o recipiente e verifique a data de recebimento e as condições gerais do recipiente. Recipientes com sinais de oxidação (embalagem ou tampa com ferrugem) ou que foram armazenados além do tempo recomendado, devem ser manipulados com extrema cautela. Não abra ou mova nenhum desses recipientes.

Se o material estiver dentro do prazo de validade, determine seu conteúdo de peróxido. Testes quantitativos estão disponíveis no mercado. Eles são tão simples de usar quanto o papel de pH.

Materiais com níveis de peróxido inferiores a 80 ppm podem ser processados normalmente.



Qualquer composto contendo peróxidos acima de 80 ppm, deve ser descartado

6.2.7 Produtos Químicos que Demandam Precauções Especiais

O manuseio de substâncias particularmente perigosas tais como produtos químicos com alta toxicidade aguda, carcinógenos e toxinas para reprodução requer cuidados especiais. Se você usa uma substância particularmente perigosa, se certifique de que o local de armazenamento, os protocolos de uso e de descarte e os procedimentos de controle de vazamentos acidentais estejam todos especificados em seu plano de higiene química do laboratório.

Precauções gerais

- Consulte as propriedades tóxicas das substâncias com que você trabalha na FISPQ ou outras referências atualizadas. Adote todas as medidas de segurança especificadas, além das seguintes precauções gerais:
- Designe uma área específica para manuseio de produtos químicos perigosos.
- Manuseie e armazene estes produtos químicos apenas em áreas designadas de acesso restrito. Sinalize a área de forma inequívoca, informando sobre os perigos dos produtos manuseados. Evite trabalhar sozinho com estes materiais.

Armazenamento e manipulação.

Mantenha recipientes frágeis no interior de bandejas resistentes. Trabalhe sobre bandejas ou forre a superfície da bancada com papéis absorventes com fundo de plástico. Mantenha um registro preciso e atualizado de seu inventário de produtos químicos tóxicos. Este inventário deve incluir: quantidade de produto armazenado, quantidade usada e as datas e nomes de pessoas que trabalham com eles. Armazene todo o lixo perigoso em lixeiras impermeáveis fechadas e etiquetadas.

Emprego de dispositivos de contenção.

Manuseie produtos químicos voláteis somente no interior de capelas. Use a caixa de decantação para separar o líquido do sólido. Se há risco de formação de pó em suspensão, aerossóis ou vapores durante o manuseio de um produto químico, considere colocar essa caixa dentro da capela como medida de segurança em caso de vazamento da caixa.

Equipamento de Proteção Individual.

Cubra as suas mãos com um par duplo de luvas impermeáveis e troque-as com frequência. Não toque em maçanetas, telefones ou teclados de computador com luvas contaminadas. Quando deixar a área de trabalho, lave as mãos e antebraços e qualquer outra parte da pele que pode ter sido contaminada. Vista aventais com mangas compridas. Se contaminar a roupa, descontamine ou retire-a antes de sair da área.

Remoção de resíduos.

Lembre-se, a diluição de um volume pequeno de lixo (resíduo) perigoso somente gera um volume maior de resíduo a ser tratado, muitas vezes a custo muito superior devido à baixa concentração dos compostos tóxicos.



Procedimentos de descontaminação.

A descontaminação nunca é tão fácil quanto parece. Se superfícies tornam-se contaminadas, você precisa considerar fatores como o tipo de superfície, a natureza do material que foi derramado, a quantidade de material derramado, etc. Avalie se a superfície na qual foi derramado o produto pode absorver o produto e/ou o solvente usado na sua remoção. Se não houver necessidade de recuperar o material para reuso, a limpeza é menos complexa. É geralmente melhor remover a maior quantidade de contaminante possível antes de usar um processo de descontaminação, absorvendo líquidos ou um aspirador de pó com saco de coleta de partículas equipado com filtro HEPA (HEPA – High Efficiency Particulate Air). Pós químicos nunca deveriam ser varridos sem que fossem tratados previamente com materiais adsorventes. Um outro método possível é arrastar a poeira com uma espátula para reuni-la em uma única superfície. Descontamine todo equipamento ou vidraria removidos da área contaminada.

Medidas em casos de emergência.

Esteja preparado para acidentes ou derramamentos. Prepare e mantenha disponíveis para todos os integrantes do laboratório a informação específica sobre como proceder para controle de derramamentos de compostos químicos usados. Se um derramamento maior ocorrer fora da capela, evacue a área e procure assistência junto a setores competentes.

Previna a exposição aos produtos altamente tóxicos durante a pesagem.

A pesagem de produtos químicos tóxicos sempre apresenta um risco de exposição. A eletricidade estática pode interferir na pesagem de produtos na forma de pó. Correntes de ar podem suspender pós químicos na atmosfera, o que interfere com a pesagem e aumentará a sua exposição via inalação.

Você deve avaliar várias das práticas seguintes para identificar a combinação de procedimentos mais adequada para o manuseio de seu produto químico específico.

Suas opções para minimizar a exposição quando se pesa produtos químicos incluem:

- Minimize a frequência de pesagem e a quantidade de produtos químicos usados. Pese apenas o que você precisa, considere o emprego de soluções-estoque para diminuir a frequência de pesagem do produto puro. Prepare o local de trabalho para garantir o manuseio eficiente do produto.
- Sempre use luvas e lave as mãos após a pesagem, use avental com mangas compridas para proteger seus braços.

Capela. A capela é o equipamento mais eficaz de proteção contra gases e suspensões de pós tóxicos. Conduza a pesagem de todos os produtos voláteis líquidos no interior da capela. Entretanto, a corrente de ar que circula no interior da capela pode dificultar a pesagem de pós. Balanças de precisão com o prato de pesagem, protegido por uma câmara de proteção transparente, reduzem a interferência da corrente de ar na pesagem e também reduzem o risco de contaminação da atmosfera com produto químico, durante a transferência de uma alíquota do recipiente para a balança. Este método pode ser utilizado tanto para líquidos voláteis como para pós, alguns dos quais são suscetíveis à eletricidade estática, se um recipiente fechado pré-pesado for usado. Uma balança aberta, que é usada para grandes quantidades e tem



precisão de 0,1 g, deve ser usada fora da capela para dar uma leitura confiável. A transferência do produto para um recipiente ou papel de pesagem é feita na capela para proteger a pessoa de partículas suspensas ou de uma descarga descontrolada de produto, quando as partículas do sólido não deslizam com facilidade. A corrente de ar no interior da capela pode aumentar a perda de produto, mas reduz consideravelmente o risco de exposição pessoal.

Fluxo laminar. Embora não projetado como equipamento de segurança para produtos químicos, o equipamento é eficiente no controle de partículas aerotransportadas. Lembre-se que o fluxo laminar não protege você da exposição aos produtos voláteis e que líquidos inflamáveis nunca devem ser manuseados neste tipo de equipamento.

Luvas com barreira de proteção. Estes equipamentos de proteção são bastante suscetíveis a eletricidade estática. É melhor colocá-las em uma capela, embora elas possam ser usadas em bancadas.

Respiradores purificadores do ar. Um respirador purificador de ar adequado pode fornecer proteção adicional, especialmente se o produto químico tóxico for pesado na bancada.

Pesagem - Quando a pesagem for feita superfície da bancada, faça-o em uma zona não exposta a correntes de ar, distante de portas, janelas e passagem de pessoas e tenha certeza de poder detectar qualquer partícula suspensa no ar (estas partículas podem ser visualizadas contra fontes luminosas). Descontamine a área de trabalho e a balança após cada pesagem.

6.2.7.1 Toxinas de Reprodução

Use extremo cuidado na manipulação de produtos químicos suspeitos de serem toxinas que afetam a reprodução. Para mulheres grávidas, mesmo a exposição limitada pode causar a morte do óvulo fertilizado ou do feto, crescimento retardado do feto, má formação de órgãos ou disfunção de órgãos do bebê.

Lembre-se que a gravidez inicia-se na concepção, não após a primeira ausência da menstruação. Qualquer suspeita de exposição a produto químico durante a gravidez deve ser relatada ao médico e interrompida, se possível, antes da gravidez.

6.2.7.2 Produtos químicos carcinogênicos ou mutagênicos

O emprego de agentes carcinogênicos ou mutagênicos na pesquisa científica demanda cuidados especiais na proteção dos pesquisadores envolvidos. A quantidade de produto carcinogênico ou mutagênico que poderá produzir uma resposta biológica como a formação de tumores ou de mutações depende de muitos fatores, que incluem a estrutura química do agente, espécie e constituição genética do indivíduo exposto, duração da exposição, rota de administração, exposição simultânea ou seqüencial a outros agentes, etc. Devido a estas variáveis é difícil determinar uma quantidade mínima de agente que possa ser manipulada com segurança, sem medidas de proteção adicionais. No trabalho com estes produtos é indispensável a adoção de medidas de proteção apropriadas para minimizar a exposição inadvertida, especialmente através da pele, dos olhos e dos tratos respiratório e digestivo. Quanto mais potente o produto e quanto maior a quantidade manipulada, tanto mais abrangentes as medidas preventivas.



6.2.7.3 Drogas Antineoplásicas

Muitas drogas usadas como agentes antineoplásicos são compostos mutagênicos (por exemplo a ciclofosfamida). Pequenas quantidades destas drogas são utilizadas frequentemente em laboratórios como moduladores biológicos. As rotas primárias de exposição durante a manipulação destas drogas são a inalação de aerossóis e absorção pela pele durante o preparo e administração das soluções. Manipule estas drogas em um gabinete de fluxo laminar classe II, tipo A ou B e proteja as mãos com luvas. Se a solução não precisa ser estéril, os materiais podem ser manipulados em capela.

6.2.7.4 Reagentes Bioquímicos

Vários agentes bioquímicos de uso comum em laboratórios (corantes de DNA, inibidores metabólicos, etc.) são ou extremamente tóxicos e/ou mutagênicos (brometo de etídio). Estes compostos geralmente são empregados em soluções, mas o perigo maior de contaminação ocorre quando o pesquisador manipula os pós secos para preparo das soluções, quando partículas dos produtos podem ser inalados ou entram em contato com a pele e os olhos. O tecido no local de deposição da partícula do produto estará exposto a uma concentração extremamente elevada do composto tóxico! Execute estas operações dentro de capelas. Cuidados especiais na manipulação destes reagentes para minimização do risco de exposição:

Cubra todas as superfícies de trabalho nas quais serão manipulados reagentes mutagênicos ou altamente tóxicos com aço inox ou capas de plástico, papel absorvente com película de plástico ou outros materiais impermeáveis. Descontamine estas superfícies após o uso com um solvente adequado e descarte os resíduos de acordo com as normas estipuladas pela Comissão de Resíduos Químicos.

Conduza procedimentos que envolvem a manipulação de quantidades elevadas de produtos altamente perigosos (sínteses químicas, por exemplo) em capelas no interior de cubas de metal com volume suficiente para coletar todos os componentes da reação em caso de rompimento de frascos.

Verifique a funcionalidade da capela quando houver previsão de manipulação de compostos químicos voláteis ou que poderiam emitir aerossóis potencialmente tóxicos a partir de compostos químicos não-voláteis.

Procedimentos que podem emitir aerossóis incluem:

- A abertura de frascos;
- A mistura de compostos;
- Operações de transferência de compostos;
- O preparo de dietas de animais;
- A abertura de frascos de centrífuga e intubação de animais.

Se houver necessidade de esterilização de amostras, culturas de tecidos com níveis reduzidos de compostos carcinogênicos podem ser manipuladas em fluxos laminares de classe II tipo B com exaustores orientados para fora do laboratório. Fluxos laminares classe II tipo A poderão ser empregados somente se adaptados para a descarga de ar para o ambiente externo. Culturas com quantidades maiores de produtos carcinogênicos deverão ser manipuladas em fluxos laminares de classe II tipo B.



Nunca manipule compostos altamente tóxicos em fluxos laminares simples, onde a corrente de ar é direcionada diretamente para o operador.

Ventile vapores ou aerossóis de instrumentos analíticos (por exemplo, cromatógrafos à gás) para fluxos laminares classe II tipo B, para capelas ou os capture em coifas instaladas nos exaustores dos gases dos equipamentos e os direcione para o ambiente externo.

Os dutos de ventilação e os exaustores de gases na parte externa dos prédios devem ser mantidos desbloqueados e limpos.

Pias para lavar as mãos devem estar disponíveis no interior do laboratório. É recomendável o uso de sabonete líquido. Em laboratórios novos é recomendada a instalação de torneiras ativadas com os pés ou com os joelhos, que oferecem maior segurança, pois evitam o contato de mãos contaminadas com produtos químicos com as torneiras.

Chuveiros e lava-olhos de emergência devem ser disponibilizados seguindo as normas de segurança vigentes para os laboratórios.

O descarte destes produtos deve ser efetuado seguindo as normas específicas estipuladas pela Comissão de Resíduos Químicos. Vidraria contaminada pode ser descontaminada pela lavagem com solventes como etanol, acetona ou dimetilssulfóxido (DMSO). A quantidade de água dentro dos reservatórios de descarte deve ser minimizada nestes casos. Se quantidades importantes de compostos orgânicos halogenados foram usados nos experimentos, as soluções de lavagem devem ser descartadas seguindo as normas para destinação destes compostos.

Medidas em casos de emergências: é indispensável que as pessoas que manipulam compostos altamente tóxicos ou cancerígenos dentro dos laboratórios conheçam as medidas a serem adotadas em casos de emergência, que serão específicas para cada tipo de composto. Estas informações devem ser disponibilizadas em local sinalizado dentro do laboratório para informação de pessoal de resgate não envolvido diretamente na pesquisa.

6.2.7.5 Produtos Químicos que Possuem Padrão Específico OSHA

A OSHA (Administração de Saúde e Segurança Ocupacional do Governo Federal dos EUA) especificou padrões para exposição aos seguintes produtos que podem causar sérios riscos para a saúde:

- 1,2- dibromo-3-cloropropano
- benzidina
- 13 carcinógenos incluindo 4-nitrobifenila
- 2-acetilaminofluoreno
- 3,3'-diclorobenzidina (e sais)
- chumbo
- 4-aminodifenil
- óxido de etileno
- etilenoimina
- beta-propiolactona
- pó de algodão
- cádmio
- 4-dimetilaminoazobenzeno
- Alfa-naftilamina



- Asbesto
- Benzeno
- Beta-naftilamina
- Bis-clorometil éter
- Cloreto de vinila
- Compostos voláteis de piche de carvão
- Formaldeídos
- Metil clorometil éter
- arsênico inorgânico (e sais)
- N-Nitrosodimetilamina
- Óxido de etileno
- Acrilonitrila

O uso destes produtos indicados acima, mesmo por curto período de tempo, requer atenção redobrada. Procure manter os seus limites de exposição dentro dos parâmetros estabelecidos pela OSHA que são mais rígidos do que os estipulados para outros compostos manuseados em laboratórios. Em alguns casos, pode haver necessidade de instalação de sinalização específica, vigilância médica e monitoramento de rotina do ar da sua área de trabalho. O local de trabalho deve ser avaliado, periodicamente, pelo Departamento de Segurança para assegurar que os protocolos de manuseio e os controles são suficientes para manter a exposição abaixo dos limites especificados pela OSHA.

Dentre os compostos indicados acima, os que ocorrem com maior frequência em laboratórios universitários são formaldeídos (formalinas), benzeno e óxido de etileno.

6.2.7.5.1 Formaldeído

É um produto que produz irritação, um sensibilizador de pele e um carcinógeno. O atual Limite de Exposição Permissivo (PEL) para formaldeído é 0,75 ppm e o limite para odor para a maioria das pessoas é 1 ppm. O contato rotineiro com esse produto causará uma superexposição ao produto.

É muito difícil controlar a exposição a vapores de formaldeído. Monitoramento do ar em laboratórios revela que na maioria dos casos é necessária a instalação de medidas de proteção adicional, como ventilação reforçada para manter a exposição no local de trabalho abaixo dos limites críticos estabelecidos pela legislação. Outras medidas incluem: a procura de um substituto menos tóxico, a manipulação do produto no interior de uma capela, o uso de óculos de proteção e luvas de neoprene, butil ou polivinil.

Lembre-se que uma solução de formalina 100% contém 37% de formaldeído.

6.2.7.5.2 Benzeno

Carcinógeno humano comprovado, com um limite de exposição de 1 ppm. A prudência em relação a exposição a carcinógenos comprovados sugere limitar a exposição a estes compostos aos níveis mais baixos possíveis.

O uso de benzeno em laboratórios tem diminuído marcadamente nos últimos anos, com a substituição deste solvente por tolueno e xileno que apresentam eficácia semelhante ao benzeno, mas são muito menos tóxicos.



6.2.7.5.3 Óxido de Etileno

Carcinógeno humano comprovado, com um limite de exposição de 1 ppm. É um gás amplamente usado para esterilizar equipamentos que não podem ser expostos a vapor de água. Esterilizadores à base de óxido de etileno devem ser conectados a um sistema de exaustão e ventilação que remove o agente da câmara de esterilização antes que o operador abra a câmara. Este é o tipo de engenharia de controle necessário para reduzir a exposição ao óxido de etileno a níveis aceitáveis.

6.2.7.6 Tetróxido de Ósmio

Tetróxido de ósmio e por vezes tetróxido de rutênio são usados na microscopia eletrônica. Estes compostos são oxidantes fortes, altamente tóxicos, voláteis e de difícil contenção, seu armazenamento necessita de precauções especiais. Tetróxido de ósmio armazenado de forma incorreta pode se tornar um sério problema de descarte.

Normalmente todo o tetróxido de ósmio de uma ampola é usado de uma vez, mas se a quantidade a ser usada for menor, a sobra deve ser acondicionada em recipientes com o menor volume possível. Isto diminui a quantidade de vapor no recipiente e a liberação de material volátil perigoso quando o recipiente é aberto.

O armazenamento de soluções concentradas (1-5%) é um problema para laboratórios de microscopia eletrônica, porque geralmente apenas pequenas quantidades são usadas por vez. É recomendado alíquotar cristais do produto ou soluções estoque em ampolas de vidro, fechadas hermeticamente pela fusão da ponta em chama. Para evitar problemas de armazenamento de material residual, é recomendada a aquisição de soluções de tetróxido de ósmio em ampolas pequenas que podem ser fechadas após uso. Outra opção é a tampa de rosca que é satisfatória para a maioria das embalagens. É essencial que a tampa não reaja com o tetróxido de ósmio (use polietileno ou teflon) e que haja contato firme entre a tampa ou o material secante afixado na tampa e a borda do frasco. Isto requer que o material selante seja comprimível para fornecer contato firme entre a tampa e o vidro.

Outros fechos de vasilhames adequados para contenção de tetróxido de ósmio incluem: roscas de vidro cuidadosamente envoltas com fita de Teflon, rolhas de precisão de teflon ou polietileno em conjunto com vidro esmerilhado. Tampas de plástico autoselantes com bordas lisas de frascos volumétricos são aceitáveis se o encaixe for correto. Tubos de polietileno selados com fechos do tipo *snap-top* também podem ser utilizados para armazenamento de tetróxido de ósmio, mas a abertura do recipiente deve ser feita com muita cautela para evitar vazamentos acidentais do conteúdo.

Outras tentativas de conter o tetróxido de ósmio geralmente falham; mesmo o melhor tampa de vidro esmerilhado pode vazar. Produtos de vedação de juntas como graxa de silicone ou parafilme apenas adiam um eventual vazamento

6.2.7.7 Brometo de Etídeo

Brometo de etídeo é um mutágeno potencial amplamente usado em laboratórios de pesquisa bioquímica para visualização de fragmentos de DNA. As informações sobre a toxicidade do composto são controversas. O composto foi originalmente desenvolvido para combate de infecções por protozoários em animais, principalmente gado, onde é aplicado em doses de 1mg/kg (Silva et al., 2004). Vários autores analisaram criticamente as informações



toxicológicas do composto e concluíram que o seu emprego em laboratórios com as devidas medidas de segurança não representa risco elevado para pesquisadores (Redfield, 2006, Oswald, 2011).

A rota de exposição mais perigosa a este composto é o contato com o pó suspenso no ar durante transferência do material de um recipiente para um outro na pesagem ou no preparo de soluções. A ingestão de partículas do material suspensas no ar é uma exposição de risco durante a limpeza de pó derramado. Felizmente, brometo de etídeo é auto indicativo pela sua cor brilhante intensa, o contato com a pele é facilmente detectado.

Não há informação da taxa de penetração do brometo de etídeo na pele. Concentrações mutagênicas demonstraram efeitos na separação do DNA em divisão celular em Drosófilas a 1200 ppm e dano no DNA em células HeLa em cultura com aplicação de solução de 16 ppm.

O limite de brometo de etídeo detectável visualmente é de cerca de 16 ppm. Brometo de etídeo depositado na pele deve ser removido com sabão e água até a coloração do composto desaparecer. Procure imediatamente um médico em caso de inalação de quantidades do material que causem coloração em amostras de esfregaço de nariz ou em excreções nasais.

O brometo de etídeo liga-se de forma estável a absorventes e géis. Superfícies impermeáveis como cerâmicas esmaltadas, metais, vidros, podem ser lavadas para remoção da coloração e descartadas, lâminas contaminadas podem ser descartadas ou reutilizadas, dependendo do caso.

6.2.7.8 Mercúrio

Mercúrio é um dos metais nobres. O composto é bastante resistente contra oxidação e ocorre naturalmente, em alguns casos, como metal. O óxido se decompõe rapidamente formando vapor de mercúrio a $\sim 500^{\circ}\text{C}$. O mercúrio é altamente volátil; sua pressão de vapor é de $2,5 \times 10^{-3}$ mm Hg na temperatura ambiente. Esta pressão de vapor pode parecer baixa, mas os riscos de inalação de vapores do metal são reais.

Mercúrio derramado no piso de um laboratório não resultará em concentrações de equilíbrio do metal na atmosfera do laboratório, mesmo em espaços de tempo muito longos. A taxa de evaporação do metal a partir de uma poça de 10 cm de diâmetro é estimada em $0,1 \mu\text{g/s}$, o que resulta em níveis muito baixos de vapor no ar do laboratório. Exposições perceptíveis a mercúrio ocorrem quando o bulbo de um termômetro quebra e o metal fica retido no tapete ou no chão do laboratório. Nestas condições, a abrasão constante da superfície do tapete por pessoas, transfere nanogotículas do metal para a atmosfera do laboratório, que pode assim atingir valores perigosos do produto, caso a taxa de renovação do ar for muito reduzida. Pessoas que trabalham no espaço contaminado acumularão níveis perigosos de mercúrio no sangue. Entretanto, a concentração de mercúrio na atmosfera da sala pode aumentar subitamente se o metal for aspirado por um aspirador de pó e exposto a uma corrente de ar quente no saco coletor do aspirador. A limpeza com o aspirador pode transferir todo o mercúrio do solo para o ar durante o tempo em que o aspirador estiver em ação. A pessoa que estiver operando o aspirador ficará exposta a altas concentrações do metal e o absorverá em quantidades elevadas.

A alta tensão superficial e a alta hidrofobicidade do mercúrio líquido facilitam o manuseio das gotas de mercúrio. Difusão transdérmica pode ocorrer se a pele for manchada com a dispersão



do metal. Pessoas podem ser envenenadas se elas esfregarem o metal na pele e se este contato perdurar durante algum tempo.

Compostos à base de mercúrio são casos totalmente diferentes. Um exemplo notável é o dimetil mercúrio, um composto altamente móvel, volátil e penetrante. Poucas gotas do composto absorvidas através da pele das mãos podem causar uma morte lenta em um período de poucos meses. Cremes brancos para tratamento de mãos, que continham cloreto de mercúrio como um ingrediente, têm intoxicado lentamente os usuários e produzido sintomas tóxicos. Poucas dezenas de miligramas de mercúrio no corpo, adquiridos rápida ou lentamente, podem ser letais.



7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR-14.725-1 - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2009 (ANEXO 1).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR-14.725-2 - Sistemas de Classificação de Perigo. Rio de Janeiro: ABNT, 2009 (ANEXO 2).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR-14.725-3- Rotulagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2009 (ANEXO 3).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR-14.725-4- Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Rio de Janeiro: ABNT, 2009 (ANEXO 4).

OSWALD, N. Ethidium Bromide: a Reality Check. <http://bitesizebio.com/articles/ethidium-bromide-a-reality-check/> acessado em 07/07/2011 (ANEXO 18).

MEYER R.; KOHLER J., HOMBURG A., *Explosives*, Wiley-VCH, **2007**.

REDFILED, R. Heresy about Ethidium Bromide. <http://rrresearch.blogspot.com/2006/10/heresy-about-ethidium-bromide.html>, acessado em 07/07/2011 (ANEXO 18).

SICKLER R A., *Explosive principles: an essential guide understanding explosives and detonations*, **1992**.

SILVA, R. A. M. S.; LIMA, E. S. S.; RAMIREZ, L. Quimioterapia das Tripanosomoses ocorrentes no Pantanal. Documentos 65, Embrapa, 2004 (ANEXO 19).

TENNEY L D. *The Chemistry of Powder and Explosives*, Angriff Press, **1972**.

UNECE – United Nations economic Commission for Europe. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals. Third revised edition. 2009 (ANEXOS 11A a 11P).

Universidade de Wisconsin-Madison. Laboratory Safety Guide, http://www2.fpm.wisc.edu/chemsafety/table_of_contents2005.htm.

ZUKAS J A., WALTERS W P., *Explosive Effects and Applications*, Springer, **2002**.



ANEXO A. Formulário para Implementar um Plano de Segurança Química (adaptado de UWM, 2005).

DADOS DO LABORATÓRIO				
Unidade:				
Departamento:				
Docente responsável:				
Laboratório:		Sala (s):	Andar (es):	Ramal:
Contato:			E-mail:	
Responsável pelo preenchimento deste formulário:				data:
2 -Trabalha no local:				
Nome (inclusive do responsável)	Vínculo		Função	
ASPECTOS GERAIS DE SEGURANÇA PARA DO LABORATÓRIO				
Preencha com (S = sim, N = não, NA = não se aplica).				
Instalações				
			As áreas ao redor de chuveiros de segurança, extintores de incêndio, cobertores corta-fogo e portas de quadros elétricos estão sempre diretamente acessíveis	
			A funcionalidade de drenos pouco usados é testada periodicamente	
			Superfícies das bancadas são impermeáveis a água, resistente a ácidos, solventes orgânicos	
ILUMINAÇÃO				
			Adequada	
			inadequada	

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS			
			Protegidas contra raios
			Protegidas contra o toque manual em caso de acidentes
			Os quadros com disjuntores podem ser acessados sem impedimentos e todos os disjuntores estão etiquetados
			Todos os equipamentos estão equipados com tomadas de três pinos, segundo as normas da ABNT
			O aterramento do fio terra está bem executado
			Todos os cabos elétricos estão em boas condições de uso
			Não ocorre emprego de extensões elétricas no laboratório
ACESSO:			
			É restrito às pessoas envolvidas nas atividades
			Indicação legível de requisitos necessários para entrada no laboratório
			Todos os integrantes do laboratório conhecem as rotas de fuga em caso de emergência e estas rotas estão desimpedidas.
			Chuveiros de segurança e chuveiros lava-olhos podem ser acessados em 10 segundos em caso de emergência
EQUIPAMENTOS:			
			Centrífugas, incubadoras, balanças, bancadas e estufas estão limpas quando não em uso
			O laboratório possui caixas para coleta de materiais perfurocortantes em caso de emprego destes materiais



PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS:		
		As portas corta-fogo e as portas das escadas de incêndio permanecem fechadas o tempo todo
		Os integrantes do laboratório foram treinados no uso do extintor de incêndio
		As portas do laboratório são fechadas no final do expediente.
		O laboratório tem um plano de evacuação em caso de incêndio.
		As pessoas do laboratório sabem a localização dos alarmes de incêndio e dos extintores de incêndio
		A quantidade de produtos inflamáveis na bancada se limita ao volume necessário para o experimento
		Se o seu laboratório está equipado com um chuveiro automático de extinção de incêndios, existe um espaço livre abaixo dos bicos de dispersão de água de pelo menos 45 cm
		Os equipamentos usados no manuseio de líquidos inflamáveis são à prova de explosão
		Aquecedores de imersão são empregados somente com supervisão direta e contínua do operador
		Não há aquecedores elétricos no seu laboratório



HIGIENE NO LABORATÓRIO:			
			Há alimentos ou bebidas guardados no laboratório?
			As geladeiras do laboratório contêm aviso indicando que não devem ser usadas para guardar alimentos ou bebidas?
			Há disponibilidade de pias para lavar as mãos.
			Os pesquisadores do laboratório nunca executam pipetagem com a boca?
			Solventes orgânicos, produtos voláteis e compostos que apresentam perigo quando dispersos na atmosfera, são manuseados na capela?
			Chuveiros de segurança e chuveiros lava-olhos estão disponíveis e as pessoas sabem como usá-los?
EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL:			
			Óculos de segurança são usados por todos no laboratório
			Todos os equipamentos de proteção individuais do laboratório são inspecionados regularmente para verificar sinais de deterioração.
			Aventais livres de contaminação são usados quando estiver trabalhando no laboratório
			Aventais de borracha ou de plástico resistente são usados durante a manipulação de ácidos ou produtos corrosivos.
			Óculos de segurança são usados durante a manipulação de ácidos ou produtos corrosivos
			Proteção facial e óculos de segurança são usados durante a manipulação de grandes quantidades de produtos reativos
USO DE INSTRUMENTAÇÃO E DE EQUIPAMENTOS:			
			Todos os usuários receberam treinamento de operação e de segurança dos equipamentos?
			As áreas no entorno dos equipamentos estão livres e acessíveis?



CAPELAS:			
			Uma tira de papel afixada no vidro da capela indica o fluxo de ar
			O interior das capelas permite a passagem desimpedida do ar
			Materiais perigosos são manipulados a uma distância de pelo menos 15 cm da entrada da capela
			As capelas possuem um adesivo do Departamento de Segurança indicando a data da última inspeção (a inspeção deve ser anual)
			A abertura da capela permanece fechada exceto durante a manipulação de produtos
			As capelas não são usadas para armazenar produtos químicos ou equipamentos
			A janela da capela não é aberta além das marcas de segurança afixadas durante a inspeção
			Ácido perclórico é manipulado somente nas capelas especificamente projetadas para o manuseio deste produto
OUTROS EQUIPAMENTOS:			
			As bombas de vácuo estão equipadas com condensadores a frio (<i>cold trap</i>) para evitar a contaminação do óleo da bomba com compostos voláteis?
			Equipamentos com partes móveis, por exemplo, bombas acionadas por correias, têm sistemas de proteção para evitar o contato do operador com as partes móveis e absorver o material destas partes em caso de rompimento acidental?
			Dissecadores a vácuo e frascos Dewar para nitrogênio líquido estão protegidos com fita adesiva para evitar a dispersão de cacos de vidro em caso de implosão
			Banhos de óleo e placas aquecidas são operados com monitoramento contínuo
			Os cilindros de gás estão fixados com firmeza em suportes resistentes
			Os tubos de conexão de gás de bicos de Bunsen estão em boas condições



EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL:			
			Óculos de segurança são usados por todos no laboratório
			Todos os equipamentos de proteção individuais do laboratório são inspecionados regularmente para verificar sinais de deterioração.
			Aventais livres de contaminação são usados quando estiver trabalhando no laboratório
			Aventais de borracha ou de plástico resistente são usados durante a manipulação de ácidos ou produtos corrosivos.
			Óculos de segurança são usados durante a manipulação de ácidos ou produtos corrosivos
			Proteção facial e óculos de segurança são usados durante a manipulação de grandes quantidades de produtos reativos
			Óculos de proteção contra radiação UV são usados nos trabalhos com luz ultravioleta
			Óculos de proteção especiais são usados em trabalhos com <i>lasers</i>
			Luvas são usadas sempre que houver risco de contato com produto químico
			Luvas de materiais corretos são usadas no manuseio de produtos químicos que demandam luvas de materiais especiais
			Luvas para manuseio de peças quentes estão disponíveis junto aos fornos onde estas peças são manipuladas
			É proibido entrar no laboratório de shorts ou com as pernas expostas e com calçados abertos (havaianas, sandálias).
			Máscaras e respiradores para proteção contra produtos químicos são usadas somente após instrução específica



ASPECTOS GERAIS DE SEGURANÇA DO LABORATÓRIO QUANTO A MANIPULAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS		
		Os membros do laboratório têm acesso às FISPQ de todos os produtos químicos que utilizam
		Os membros do laboratório recebem treinamento adequado sobre os aspectos de segurança.
		Há disponibilidade de materiais absorventes adequados em quantidade suficiente para coletar líquidos perigosos derramados nas quantidades em que estão estocados no laboratório
		Todos os frascos de reagentes estão claramente rotulados com o nome do produto, data de aquisição e classe de perigo.
		Todos os recipientes com produtos químicos permanecem fechados com segurança quando não em uso
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS:		
		Solventes inflamáveis, produtos reativos ou corrosivos são armazenados acima da linha dos olhos
		Os produtos químicos são armazenados seguindo as recomendações de compatibilidade química
		Volumes acima de 4 litros de líquidos inflamáveis são armazenados no interior de recipientes de segurança
		Produtos inflamáveis não são guardados acima de geladeiras ou freezers
		Áreas para armazenamento de produtos inflamáveis não são usadas para armazenar outros produtos ou equipamentos
		Recipientes à prova de fragmentação são usados para armazenamento de produtos líquidos inflamáveis
		Rótulos nas geladeiras indicam a adequação ou não para armazenamento de produtos inflamáveis
		Todos os produtos líquidos no interior de geladeiras ou freezers estão acondicionados em recipientes de contenção secundária
		Não mais do que 40 litros de produtos inflamáveis ficam estocados fora de gabinetes de produtos inflamáveis
		Materiais que podem se tornar perigosos após armazenamento prolongado, como, por exemplo, éter de dietila, estão datados quando da primeira abertura do recipiente



DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DO LABORATÓRIO:			
			Recipientes apropriados para armazenamento de resíduos líquidos, de vidro, de papel, de materiais perfurocortantes e de materiais radioativos estão disponíveis no laboratório
			Recipientes de plástico resistente são usados para coletar lâminas de barbear, lâminas de estiletes e agulhas
			Vidro de laboratório limpo quebrado ou descartado é armazenado em recipientes de cartão resistente
			Recipientes apropriados são usados no descarte de solventes orgânicos
			Todos os recipientes com produtos químicos descartados estão rotulados adequadamente
			Produtos químicos de estoque que não serão mais utilizados são disponibilizados para os outros laboratórios através da comissão de resíduos químicos
			Resíduos radioativos ou biológicos gerados no seu laboratório são descartados seguindo as recomendações das respectivas comissões.



ANEXO B. Formulário para Análise do Risco de Exposição a Produtos Químicos
(adaptado de UWM, 2005).

(CONSULTE A FISPQ DO PRODUTO OU LITERATURA COMPLEMENTAR)		
Produto químico:		
Assinale os Perigos (S = sim, N = não)		
Perigos para a saúde	Perigos físicos	
Cancerígeno	Líquido combustível	
Corrosivo	Gás comprimido	
Irritante	Explosivo	
Sensitizador (Indutor de alergia)	Inflamável	
Órgão-alvo	Aerossol inflamável	
Hepatotóxico (fígado)	Gás inflamável	
Nefrotóxico (rins)	Líquido inflamável	
Neurotóxico (sistema nervoso)	Sólido inflamável	
Agente que age no sistema hematopoiético (células produtoras de sangue)	Oxidante	
Agente que danifica os pulmões	Peróxido orgânico	
Toxina do sistema de reprodução	Pirofórico	
Teratogênico (ataca o feto ou embrião)	Instável (reativo)	
Mutagênico (causa alterações no material genético)	Reage com água	
Toxina cutânea (pele)	Inflamáveis	
Toxina ocular (olhos)	Perigos para a saúde: (repita para cada tipo de perigo)	
Outros (enumerar)		
Tóxico		
Muito tóxico		

Riscos = Perigos x Probabilidade de Exposição		
Riscos a saúde		
Agudos	Crônicos	
Irritação	Câncer	
Queimaduras	Teratogênese	
Náuseas	Mutagênese	
Tonturas e dificuldade de retirar	Outros enumere	
Sensitização (alergias)		
Outros (enumere)		

Riscos = Perigos x Probabilidade de Exposição	
Riscos Físicos	
Fogo	
Explosão	
Temperatura excessiva	
Liberação de pressão	
Liberação gases ou de vapores inflamáveis	
Outros (enumere)	



ANEXO C. Tabelas Auxiliares GHS.

Tabela C1. Classificação de produtos corrosivos para a pele na norma GHS.

Categoria	Subcategoria	Corrosivo em ≥ 1 animal de 3	
		Exposição	Observação
1 (corrosivo)	1 ^a	≤ 3 minutos	≤ 1 hora
	1B	> 3 minutos a ≤ 1 hora	≤ 14 dias
	1C	> 1 hora a ≤ 4 horas	≤ 14 dias

Valores indicativos de concentração de compostos em modelos animais para classificação nas categorias 1 e 2 de toxicidade para órgãos específicos após exposição única.

Tabela C2. Classificação toxicológica de toxicidade aguda de produtos na norma GHS. Os valores são LD50/LC50 nas respectivas categorias de exposição.

Exposição única		
Rota de exposição	Categoria	
	1	2
Oral (rato, mg/kg peso)	≤ 300	$300 < C \leq 2000$
Dermal (rato ou coelho, mg/kg peso)	≤ 1000	$1000 < C \leq 2000$
Inalação Gases (rato, ppmV)	≤ 2500	$2500 < C \leq 5000$
Inalação vapores (rato, mg/L)	≤ 10	$10 < C \leq 20$
Inalação Pós e Névoas (mg/L)	≤ 1.0	$1,0 < C \leq 5,0$
Exposição repetida		
Rota de exposição	Categoria	
	1	2
Oral (rato, mg/kg peso/dia)	10	10 a 100
Dermal (rato ou coelho, mg/kg peso/dia)	20	20 a 200
Inalação Gases (rato, ppmV/6h/dia)	50	50 a 250
Inalação vapores (rato, mg/L/6h/dia)	0,2	0,2 a 1,0
Inalação Pós e Névoas (mg/L/6h/dia)	0,02	0,02 a 0,2

Tabela C3. Categorias de toxicidade aguda e valores aproximados de DL50/CL50.

Rota de exposição	Categoria				
	1	2	3	4	5
Oral (mg/kg peso)	5	50	300	2000	5000
Dermal (mg/kg peso)	50	200	1000	2000	5000
Gases (ppmV)	100	500	2500	5000	> 5000
Vapores (mg/L)	0,2	2,0	10	20	> 20
Pós e Névoas (mg/L)	0,05	0,5	1	5	> 5

