

Nova Abordagem para Promover Segurança em Laboratórios de Ensino e Pesquisa

(1) Antônio Carlos Oliveira Ribeiro

(2) Carlos André Vaz Júnior

(3) Alice Souza Gonçalves

(1) Especialista Sênior de Segurança de Processos e Plantas da BAYER S/A.

(2) Professor de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

(3) Engenheira química e pós-graduanda em Engenharia de Segurança do trabalho da Universidade Católica de Petrópolis.

1. Introdução

Laboratórios são áreas de trabalho e/ou ensino usadas para condução de experimentos com fins de ensino, pesquisa ou aplicação de processos científicos. Isso inclui laboratórios químicos, físicos, médicos, microbiológicos, de engenharia genética, etc. O Brasil carece de normas específicas ou manuais de segurança que orientem uma análise de risco estruturada para serem aplicadas a laboratórios. Resta ao profissional de segurança associar diversas normas de segurança tais como Normas Regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) [1], do Corpo de Bombeiros Militar e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [2]. Das referências internacionais encontradas podemos destacar o guia de segurança da BG-RCI da Alemanha [3] e as regras de segurança em laboratórios da OSHA dos Estados Unidos da América [4].

É frequente encontrar profissionais envolvidos em experimentos de laboratório nas IES (instituições de ensino superior) e em diversos centros de pesquisa que, embora altamente qualificados e especializados em seus campos de pesquisa, não possuem treinamento ou educação em segurança [5]. A ausência de uma cultura de segurança bem desenvolvida nestes pesquisadores, aliada a falta das normas e legislações observadas na indústria, pode levar aos desvios, a negligência das regras simples de segurança, ao imprevisto. Esses fatores já resultaram em acidentes graves [5].

É possível destacar a diferença de abordagem entre “treinamento” e “educação” em segurança. Um treinamento em segurança tem o foco em construir um comportamento com ênfase a uma específica aplicação em um local de trabalho. O treinamento se baseia em informações a respeito de riscos, procedimentos requeridos para a atividade. O treinamento é um passo a passo de curto prazo para se aprender o que e como fazer. Seu principal objetivo é prover regras e procedimentos a serem seguidos pelo trabalhador. Por outro lado, a educação em segurança consiste em modelo mental que investiga o porquê dos cuidados que se devem ter com a atividade. É uma ação de longo prazo que aborda o aprendizado de princípios, teorias e conceitos de segurança. Um bom programa de educação de segurança também irá resultar em um bom programa de treinamento.

2. Objetivos do Trabalho

Esse artigo tem o objetivo de cobrir os principais riscos envolvidos nas atividades efetuadas nos laboratórios com foco nos métodos, tecnologias e principais processos. É importante ressaltar que riscos específicos, tais como aqueles associados a perigos elétrico, mecânico ou biológico, por exemplo, deverão ser avaliados cuidadosamente para que as medidas adequadas sejam definidas.

Este trabalho apresenta uma abordagem de identificação de riscos que permite reduzir as dificuldades anteriormente apresentadas, propondo uma análise estruturada e abrangente de segurança para as atividades em laboratórios de pesquisa e ensino. Esta metodologia pode ser aplicada a laboratórios de ensaios químicos, físicos, de pesquisa e em plantas pilotos. Normas nacionais e guias internacionais de segurança aplicáveis para laboratórios foram identificadas e são apresentadas.

3. Princípios organizacionais aplicados a segurança

Para uma contextualização voltada ao conceito de educação em segurança aplicada a laboratórios é possível usar quatro princípios organizacionais: **i. reconhecer os perigos; ii. avaliar os riscos dos perigos identificados; iii. minimizar os riscos; iv. preparação para as emergências** [6]. Os quatro princípios organizacionais estão detalhados nos itens 3.1 até 3.4. Estes itens tiveram como base as recomendações do guia de segurança da BG-RCI da Alemanha [3].

3.1- Reconhecendo os perigos

Os produtos químicos típicos de laboratórios são: substâncias puras, soluções, suspensões ou gases que são usados como padrões analíticos, reagentes, solventes, etc. Também estão relacionados produtos de reação, subprodutos e contaminantes, incluindo produtos inesperados de reação.

Materiais que não possuem características perigosas mas possuem propriedades que podem causar riscos também são considerados como materiais perigosos. Exemplos incluem materiais instáveis ou materiais que podem resultar em um risco caso entrem em contato um com o outro ou devido à sua temperatura ou capacidade térmica, tais como sais fundidos a quente ou gases liquefeitos criogênicos. Outro risco relevante é o efeito asfixiante de muitos gases. Mesmo materiais que aparentam ser inofensivos podem ser perigosos, como o pó de celulose, que pode explodir quando em mistura com o ar. Tudo isso deve ser avaliado para cada produto baseado em suas respectivas Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Para realização de experimentos, análises e procedimentos seguros é necessário que se tenha informações sobre os reagentes/produtos utilizados e estas informações estão contidas na Ficha de informação de segurança de produtos químicos (FISPQ). Essas fichas possuem as informações básicas para o uso seguro das substâncias e são normatizadas pela norma ABNT- NBR 14725 – Parte 4 [2]. A FISPQ é utilizada como fonte de informação sobre os perigos dos produtos químicos a serem manuseados e para obter orientações sobre precauções de segurança, refere-se ao produto e, normalmente, não é capaz de fornecer informações específicas para cada local de trabalho em que o produto pode ser usado, mas permite o desenvolvimento de um sistema de gestão de segurança adequado. A FISPQ deve estar disponível ao usuário em seu modelo completo, atualizado e mais recente, na qual estão relatadas informações relevantes quanto à saúde, segurança e meio ambiente. A norma apresenta um modelo geral de apresentação da FISPQ em 16 seções obrigatórias como segue: 1- Identificação do produto; 2- Identificação dos perigos; 3- Composição e informação sobre os ingredientes; 4- Medidas de primeiros-socorros; 5- Medidas de combate a incêndio; 6- Medidas de controle para derramamento ou vazamento; 7- Manuseio e armazenamento; 8- Controle de exposição e proteção individual; 9- Propriedades físico-químicas; 10- Reatividade e estabilidade; 11- Informações toxicológicas; 12- Informações ecotoxicológicas; 13- Considerações sobre tratamento e disposição; 14- Informações sobre transporte; 15- Regulamentações; e 16- Outras informações.

O reconhecimento dos perigos dos produtos induz a primeira etapa de promoção de segurança usando os princípios de **segurança inerente**. Estes princípios se baseiam no conceito de: **minimizar** efeitos reduzindo ao máximo os volumes e quantidades de substâncias perigosas manuseadas; **substituir** produtos perigosos por produtos menos críticos como, por exemplo, uso de solventes tóxicos ou inflamáveis por solventes com maior ponto de fulgor, uso de equipamentos robustos; **moderar** o uso por condições operacionais menos perigosas como por exemplo refrigeração para resultar em uma menor pressão de vapor, uso de contenções; **simplificar** com o uso de identificações corretas e amigáveis dos produtos, equipamentos e instalações diminuindo a complexidade operacional, uso de instalações a prova de falha, ou seja, em caso de perda de energia, falham em posição segura. Maiores detalhes sobre segurança inerente podem ser encontrados no livro “Segurança de Processos Químicos”, de Daniel Crow e Joseph Louvar [7].

3.2 -Avaliar os riscos dos perigos identificados

Diversas técnicas para análise de riscos podem ser usadas nos laboratórios. Para apoio a decisão de uso destas técnicas a Associação Americana de Química (American Chemical Society – ACS) publicou o guia “Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories” [6]. Este guia seleciona cinco técnicas

de análise de perigos:

- 1- **Controle de bandas para uso de químicos em laboratório de pesquisa.** Esta técnica permite o uso de uma estratégia sistemática qualitativa que separa os laboratórios em níveis de perigo chamados “Chemical Safety Levels” – **CSL** que variam de 1 a 3, sendo o 1 o menos crítico. As características dos produtos tais como níveis de inflamabilidade de toxicidade e outros perigos definem a classe de segurança e com essas classes se definem as regras de segurança aplicáveis as instalações e ao pessoal envolvido.
- 2- **Análise de Perigo das Tarefas (Job Hazards Analysis – JHA)** consiste em uma técnica estruturada na análise da tarefa, que associa passo a passo o relacionamento entre o pesquisador e a tarefa, tomando em conta as ferramentas, equipamentos necessários e o ambiente em que a tarefa será executada.
- 3- **What – If Analysis.** Imagine um processo mental sobre a ação, suas consequências, e que mudança deve ser feita no comportamento. Esta técnica consiste então em pensar de forma estruturada sobre o que pode acontecer de errado e então julgar a probabilidade e consequência de cada cenário de desvio. Pode ser feita por uma pessoa ou por um grupo que está a frente do experimento. O complemento desta técnica com o uso de uma matriz de riscos para os desvios, como usada na técnica de HAZOP [7], permite chegar a uma análise de risco mais robusta.
- 4- **Questionários (Checklists).** Um “checklist” bem estruturado é uma ferramenta efetiva para uma avaliação de riscos e implementação de práticas seguras. Esta técnica é considerada a mais recomendada para uso em atividades de laboratório. Como os pesquisadores são familiarizados com as questões previamente apresentadas nos “checklists” o tempo da análise de risco assim como o tempo de implementação das adequações necessárias é bem mais rápido do que as outras técnicas apresentadas. Permite também uma uniformização de análise de riscos para uma comparação de resultados entre instalações na organização. Com isso é possível definir prioridades de ações e investimentos na melhoria de desempenho da segurança. Na sua forma básica um “checklist” de segurança pode ser a lista de riscos maiores relacionados a materiais, atividades e equipamentos. Esta técnica pode ser complementada pelas outras anteriormente citadas em pontos mais crítico identificados.
- 5- **Desenvolvimento de procedimentos padrões de operação estruturados (Standard Operations Procedures- SOP).** Cada passo do experimento no laboratório deve ser analisado separadamente para se identificar pontos de falhas e em seguida determinar possíveis combinações destas falhas e seus impactos. A vantagem desta técnica é que pode ser feita por qualquer trabalhador do laboratório. Uma lista de tópicos é efetuada para se verificar como cada tópico de segurança é abordada no SOP.

3.3- Minimizar os Riscos

Após a aplicação de uma técnica estruturada de análise de riscos obtém-se as recomendações de redução dos riscos a níveis aceitáveis. Como anteriormente citado o uso da técnica do “Checklist” voltada para aspectos envolvendo materiais perigosos permite chegar as medidas protetivas de natureza estrutural (construção e layout), técnica (equipamentos e instalações) e relacionada as pessoas (medidas organizacionais e equipamentos de proteção individual - EPI). O subitem seguinte detalha os principais perigos e riscos observados no espaço laboratorial. Este subitem teve como base as recomendações do guia

de segurança da BG-RCI da Alemanha [3].

3.3.1 – Detalhando perigos e riscos nos laboratórios

As atividades nos laboratórios, em particular envolvendo materiais perigosos, requerem medidas de proteção específicas de natureza estrutural, técnica, organizacional ou pessoal.

No que diz respeito ao ranking de medidas de proteção, as medidas técnicas têm precedência sobre medidas organizacionais e pessoais.

Medidas pessoais: As medidas de proteção pessoais e organizacionais (em particular óculos de segurança, blusões de laboratório e luvas de proteção) são essenciais nos laboratórios, dadas a grande quantidade de trabalho manual e as atividades que mudam frequentemente. A menos que haja uma emergência, os experimentos em andamento não podem ser deixados sem supervisão. Para muitos experimentos, é necessário ser capaz de tomar medidas rápidas quando cenários acidentais tem início, como reações fora de controle ou avarias. Trabalhos por tempo prolongado, hora extra, ou trabalho noturno efetuados por trabalhadores sozinhos devem ser devidamente analisados.

Segurança na construção, projeto e equipamentos: Os riscos nos laboratórios são minimizados de forma muito significativa ao projetar e equipar as estações de trabalho adequadamente. Isso inclui medidas estruturais, infraestrutura de construção, equipamentos de laboratório e as propriedades de dispositivos, aparelhos e outros aparelhos. Estações de trabalho mal concebidas em laboratórios aumentam o risco de um acidente e podem contribuir para a liberação acidental de materiais perigosos.

As áreas de operação e circulação devem ser adequadamente dimensionadas.

O espaço entre duas áreas de trabalho é usado não só para a circulação das pessoas que trabalham lá, mas também para outras pessoas. Para casos com risco aumentado de incêndio ou explosão, condições especiais de trabalho são necessárias. A distância também deve ser aumentada se, por exemplo, o espaço for permanentemente restringido por itens como mesas de puxar, tonners de equipamento, racks ou subestruturas e as rotas de transporte interno devem, na medida do possível, ser mantidas livres de obstruções.

Os laboratórios devem estar equipados com um número adequado de rotas e saídas de fuga que refletem as condições locais e os materiais e métodos de trabalho utilizados. As rotas de fuga só podem levar através de uma sala adjacente se esta puder ser retirada com segurança sem ajuda externa, mesmo no caso de ocorrer um perigo. Na norma ABNT NBR-9050 [2] podemos encontrar requisitos mais claros sobre rotas de fuga.

Idealmente as portas do laboratório devem abrir para fora e terem visor. As portas deslizantes automáticas não são permitidas e as deslizantes manuais apenas em casos específicos, desde que não estejam em rotas de fuga ou resgate. As portas do laboratório devem estar sempre fechadas.

As portas abertas não podem restringir as rotas de circulação. A largura restante deve ser suficiente para caminhar sem impedimentos. O visor da porta deve permitir uma visão livre em ambas as direções.

Os pisos, os revestimentos e eletrodutos de cabos elétricos passando por eles devem ser estanques, impedindo que substâncias que tenham sido derramadas infiltrem antes de serem removidas. Em casos específicos, os pisos de laboratório podem permitir a drenagem com construção que permita desnível para um ponto mais baixo. A melhor resistência contra o gotejamento de gases e produtos químicos criogênicos liquefeitos e produtos químicos em geral é obtido com uso de pisos cerâmicos.

Ventilação nos laboratórios: laboratórios devem estar equipados com instalações técnicas que garantam ventilação adequada em todos os momentos. O ar de exaustão pode ser encaminhado total ou parcialmente através de exaustores, desde que ainda possam operar a plena capacidade.

Deve ser assegurado que o ar de exaustão que contenha quantidades perigosas ou concentrações de materiais perigosos não possa voltar às áreas de trabalho. As portas devem ser mantidas fechadas para manter a ventilação adequada e deve ser assegurado que elas não fiquem abertas.

A manutenção regular e a limpeza do sistema de ventilação evitam problemas de higiene resultantes da contaminação microbiana. A troca de ar pode ser reduzida ou a ventilação natural pode ser usada, por exemplo, se a avaliação de perigo indicar que isso é adequado e eficaz a longo prazo para que o trabalho seja realizado. Isso não é aconselhável se não for possível prever mudanças de uso em um período suficiente (por exemplo, em laboratórios de pesquisa).

Sempre que possível, grandes fluxos de calor de equipamentos em laboratórios devem ser capturados

no ponto de liberação e encaminhados para fora se puderem causar perigo ao aumentar a temperatura ambiente. Um fluxo de ar uniforme ao longo do laboratório deve ser de $25\text{m}^3/\text{h}$ por m^2 da área de trabalho, para uma altura de 3,0 m [3]. Isto evita riscos envolvendo trabalhos com líquidos inflamáveis ou produtos perigosos que podem gerar vapores e poeiras tóxicas.

Aspectos ergonômicos das estações de trabalho, processos e equipamentos devem ser levados em consideração durante o planejamento das atividades. As bancadas devem ter alturas adequadas ao tipo de trabalho (sentado ou em pé) e variam de 720 mm (sentado) a 900 mm (em pé) conforme disposto nas NR 8 e 17 do MTE [1] que estabelece normas sobre edificações e ergonomia, e as superfícies das bancadas de trabalho do laboratório devem possuir bordas elevadas e cobertura impermeável a líquidos evitando assim que a pessoa seja atingida no corpo ou nos pés em caso de derramamento.

Atividades repetitivas devem ser evitadas na medida do possível. Eles podem causar uma má concentração e sinais de fadiga que podem causar riscos ao trabalhar com materiais perigosos. O trabalho que envolve movimentos repetitivos durante um longo período de tempo, como a pipetagem com pipetas mecânicas, pode levar a um excesso de esforço que causa tendopatia. A operação da pipeta que é adaptada o mais próximo possível aos movimentos naturais dos dedos e é tão suave quanto possível evita queixas resultantes de seu uso frequente. Pipetas motorizadas também podem ser usadas para processos regulares de pipetagem. Para trabalhos sentados por longos períodos cadeiras de concepção ergonômica, com descansos para os pés, cadeiras com altura ajustáveis podem ser adaptadas a diferentes tamanhos de corpo, melhorando assim a ergonomia.

Nos laboratórios um aumento de pressão sonora pode ser gerado por equipamentos e instalações e os níveis podem ser prejudiciais já que determinados equipamentos precisam estar em operação por longos períodos de tempo. Para estes casos os aparelhos que emitem ruído devem estar em sala adjacente, ou em gabinetes que contenham o ruído, afim de não representarem riscos. Deve haver medição de ruído no ambiente e o mesmo não pode exceder o descrito na NR 15 [1].

A iluminação das estações de trabalho de laboratório deve ser projetada para garantir um trabalho seguro e identificação adequada de perigos em todos os momentos. O nível de iluminação para estações de trabalho devem estar em conformidade com a norma ABNT NBR-5413 [2]. A iluminação uniforme e sem sombras deve ser assegurada em todos os momentos. Dependendo do tipo de trabalho, é aconselhável ter um nível de iluminação diferenciado nas mesas e bancadas. As rotas de fuga devem ter luminárias de aclaramento de modo a permitir uma segura evacuação em situações de falta total de energia elétrica.

Riscos nas instalações elétricas devem ser minimizados. Os circuitos elétricos devem ser separados e configurados para iluminação, ventilação e energia elétrica geral. Além disso, tomadas de bancadas de laboratório devem estar em circuitos individuais ou de grupo separados. Estes circuitos devem estar protegidos por disjuntor diferencial residual (DDR), conforme NR-10 [1]. Circuitos separados também devem ser fornecidos para outros equipamentos relacionados à segurança. Para o desligamento geral de energia elétrica, uma chave mestre deve ser instalada em um local facilmente acessível, por exemplo, na saída do laboratório.

Especial atenção deve ser dada a casos onde é necessário que agitadores ou resfriamento de reações químicas em andamento sejam preservados. Se os perigos resultantes de um corte de energia não puderem ser controlados, são necessárias medidas adicionais para manter as funções relacionadas à segurança operacionais em linha com estes riscos. Muitas reações organometálicas, por exemplo, podem levar a riscos aumentados em caso de falha de energia. Nenhum outro dispositivo de laboratório deve ser operado no mesmo circuito de potência que um desses aparelhos. É preferível que apenas as peças relacionadas com a segurança do aparelho, como o sistema de resfriamento ou o agitador, sejam operados neste circuito.

As instalações elétricas devem atender aos requisitos da NR 10 [1]. Os interruptores e tomadas em bancadas de laboratório devem ser instalados acima da superfície de trabalho ou, se instalados abaixo do banco, devem ser recuados da suficiente para não representar um perigo em caso de derrame ou salpicos de líquidos. Tomadas para exaustores devem ser instalados fora destes exaustores. Se forem necessários tomadas na área de trabalho de capelas devem ser instaladas fora destas capelas.

Os interruptores e tomadas próximos a chuveiros de emergência devem ser protegidos contra a pulverização de água.

Tubulações e conexões devem estar disponíveis para o fornecimento contínuo de materiais líquidos e gasosos nas bancadas de laboratório. Estas tubulações devem ser marcadas de forma clara e permanente.

As tubulações devem ser pintadas com cores e identificadas norma ABNT NBR-5413 [2]. Deve ser possível que cada linha de gás combustível que conduza a uma ou mais saídas adjacentes seja fechada separadamente. O dispositivo de corte deve ser fácil de alcançar e acessível em todos os momentos. Além disso, dispositivos de fechamento das tubulações devem estar disponíveis em um local seguro fora do laboratório, perto dele, de fácil acesso, claramente marcados e acessíveis em todos os momentos. Somente os dispositivos que estão protegidos de serem abertos acidentalmente podem ser usados em tubulações para gases combustíveis. Os componentes que controlam os dispositivos de parada do laboratório devem ser marcados de acordo com o fluido que passa pelos mesmos. É necessário também ter pontos de fechamento de todas as utilidades que chegam ao laboratório.

As linhas de drenagem em laboratórios devem ser equipadas com vedações de segurança e aberturas facilmente acessíveis para limpeza. A falta de líquido nos drenos e selos de segurança deve ser evitada. Os odores dos drenos podem mascarar outros odores do laboratório.

Os cilindros de gás comprimido devem ser instalados de forma segura fora dos laboratórios. Os gases devem ser fornecidos por tubulações fixas. Conexões móveis e flexíveis utilizadas para gás devem ser fixadas de forma segura e devem ser verificados quanto ao aperto e estanqueidade antes da utilização. Conexões rígidas e permanentes são preferíveis às mangueiras presas em bicos de mangueira. As válvulas de cilindros de gás comprimido para gases inflamáveis e oxidantes devem ser abertas lentamente. Nenhuma ferramenta de aumento de torque pode ser usada para abrir e fechar tais válvulas. Válvula do tipo globo ou agulha devem ser usadas em detrimento das válvulas de abertura rápida tipo macho ou esfera. As válvulas de cilindros de gás comprimido devem ser fechadas após o uso e também após o esvaziamento.

Antes de trabalhar com gases que possam ser perigosos, os cilindros devem ser testados para garantir que não há vazamento e estejam dentro do prazo de inspeção, se as garrafas de gás comprimido que contenham gases perigosos não tenham sido esvaziadas no final do prazo de inspeção e devem ser transportadas, por exemplo, para a instalação de enchimento, é necessária uma licença de transporte especial.

Para a **proteção contra incêndio**, equipamentos de extinção de incêndio devem estar disponíveis. A localização do equipamento de extinção de incêndio deve ser marcada pelo sinal de combate a incêndio. O acesso fácil ao equipamento de extinção de incêndio deve ser assegurado em todos os momentos.

A seleção do agente de extinção certo é vital para a luta contra incêndios em laboratórios. Isso depende do tipo e das propriedades das substâncias queimadas. Pode ser vantajoso usar agentes de extinção especiais como compostos de alquila perfluorados em laboratórios com instalações fixas de combate a incêndio porque esses agentes têm apenas uma baixa tendência a reagir com os produtos químicos no laboratório e porque é possível respirar adequadamente na área inundada com esses agentes de extinção e porque são suficientemente amigáveis com o meio ambiente.

Na maioria dos casos, os extintores de dióxido de carbono são suficientes para combater incêndios em laboratórios. Eles não deixam resíduos e não causam danos aos equipamentos sensíveis, são quimicamente estáveis e podem ser usados para equipamentos elétricos.

Sob nenhuma circunstância, os incêndios envolvendo metais alcalinos, alquilos metálicos, hidreto de alumínio e lítio, silanos ou substâncias similares podem ser abordados com extintores de água ou espuma. Um agente de extinção adequado para um fogo de sódio, por exemplo, é a extinção de areia ou pó de fogo metálico. O dióxido de carbono ou o pó químico devem ser utilizados para líquidos inflamáveis e o dióxido de carbono deve ser usado para equipamentos elétricos em uso. A definição de quantidade e tipo de extintor portátil devem obedecer às instruções normativas do COSCIP (Código de Segurança Contra e incêndio e Pânico) Corpo de Bombeiros Militar do estado da federação onde esta localizado a instalação.

Normalmente, medidas de proteção contra **eletricidade estática** não são necessárias em laboratórios, mas tarefas específicas podem exigir medidas de proteção. Estas tarefas devem ser identificadas por uma análise de segurança. Casos específicos relativos a fluidos inflamáveis eletrostaticamente carregáveis, quando de sua transferência faz-se necessário o aterramento, para evitar acúmulo perigoso de carregamento eletrostático que possibilite a ignição de uma atmosfera explosiva perigosa.

Estudos sobre **proteção contra explosão** em laboratórios são necessários, mas são mínimos o número de casos onde existem exposição de zonas e utilização de dispositivos certificados a prova de explosão. Normalmente devemos efetuar análises de risco para se evitar requisitos desnecessários, já que independente da liberação ou formação de atmosferas explosivas, fontes de ignição efetivas não são normalmente esperadas nas atividades em laboratórios. A ventilação do local é um importante requisito

chave para possível classificação ou não de uma área, no caso dos laboratórios.

Nos laboratórios as quantidades utilizadas, processadas, são pequenas, e as manipulações ocorrem no âmbito das diretrizes de laboratório, dentro de capelas e com troca de ar suficiente.

É necessário que a **boa ventilação** no laboratório seja garantida. O que garante a redução do risco é a limitação das quantidades das substâncias e o controle de dissipação em caso de escapes/vazamentos, além da ventilação efetiva em caso de explosão.

Os **produtos perigosos devem ser armazenados** de modo que não representem riscos para a saúde humana ou ao meio ambiente. Produtos perigosos só podem ser mantidos em recipientes feitos de materiais que possam suportar as tensões que se esperam e seus conteúdos devem ser indicados nesses recipientes. Os produtos perigosos devem ser armazenados de forma que não sejam possíveis reações perigosas se os recipientes forem danificados. Respeitar as incompatibilidades químicas entre os produtos como por exemplo não armazenar um oxidante forte na mesma bandeja de contenção de um produto orgânico.

Nos laboratórios, os recipientes devem conter produtos perigosos nas quantidades necessárias para uso diário e devem ser identificados com a designação do produto, seu modo de preparação e os ingredientes das preparações, juntamente com os símbolos de perigo e as designações de perigo associadas. As medidas de segurança a observar também devem ser indicadas. Se os detalhes relativos aos riscos e as medidas de segurança a observar podem ser obtidos diretamente das instruções de operação relevantes e da folha de dados de segurança do produto, basta marcar o nome do produto ou preparação juntamente com o símbolo de perigo e a designação de perigo associada.

Produtos perigosos em recipientes que descartam vapores corrosivos ou prejudiciais para a saúde devem ser mantidos em locais com sistemas de extração em operação contínua. Os recipientes de armazenamento para uso diário normalmente não devem possuir um volume nominal superior a um litro. Os estoques de produtos químicos no local de trabalho devem ser mantidos tão baixos quanto possível. É necessário fornecer uma designação com uma nomenclatura geralmente aplicável, sem ambiguidade. Para ajuda neste aspecto deve ser observada a identificação do produto pelas regras do GHS, conforme norma ABNT-NBR- 14725 [2].

Detalhes adicionais, como a data em que o recipiente foi aberto pela primeira vez, também são úteis. As abreviaturas não podem ser usadas como a única indicação de conteúdo. Deve ser possível identificar os perigos resultantes de materiais perigosos provenientes de equipamentos e tubulações.

A operação de **equipamentos** deve ser observada caso a caso, mas em linhas gerais os principais pontos a observar são:

Vidrarias: vazamentos e risco de quebra: Os aparelhos e componentes de vidro são normalmente fabricados a partir de vidro de borosilicato. O risco de ruptura aumenta com a diferença de temperatura no vidro, especialmente se houver algum dano ou defeito no vidro. Os aparelhos e componentes de vidro devem, portanto, ser verificados quanto a danos visíveis e defeitos que possam afetar sua força. Qualquer equipamento de vidro com danos ou defeitos deve ser reparado ou substituído. O aparelho deve ser configurado em um arranjo simples e livre de estresses mecânicos. Se forem necessárias estantes de suporte, elas devem ser presas e fixadas de forma segura. As grades fixas permanentemente instaladas são preferíveis, pois oferecem maior estabilidade.

Se houver risco de explosão de produto devido ao calor ou devido a um aumento involuntário da pressão ao operar aparelhos de vidro, devem ser tomadas medidas para proteger contra pedaços voadores de vidro quebrado, salpicos e materiais que podem escapar.

Antes de executar o trabalho de sopro de vidro, o aparelho deve ser limpo e aquecido cuidadosamente. Os restos de produtos químicos deixados em aparelhos de vidro que precisam ser reparados e podem ser perigosos para a saúde no ato do sopro do vidro se entrarem em contato com a pele ou os lábios durante o sopro ou se forem evaporados e inalados. Resíduos de materiais inflamáveis, em particular solventes que são utilizados para limpeza, podem resultar em explosões. É necessário um cuidado especial quando se trabalha em vidro com ácido fluorídrico.

Ao trabalhar com aparelhos de vidro, as temperaturas admissíveis e as diferenças de temperatura devem ser observadas. Ao usar aparelhos de vidro, devem ser evitadas diferenças de temperatura superiores a 140 ° C entre o líquido vaporizado e o líquido refrigerante.

Conectores- Partes de vedação de aparelhos: Conexões para montagem devem permitir um aperto adequado,

juntas com terminação cônica, esféricas, flangeadas e roscadas permitem uma melhor vedação que a borracha ou rolhas de cortiça e são resistentes a praticamente todos os produtos químicos. Braçadeiras com parafusos não garantem necessariamente uma conexão apertada. Para garantir que as conexões não se desprendam involuntariamente, estas devem ser protegidas com grampos, molas ou outros dispositivos adequados. Ao abrir recipientes vedados se for o caso cubra o mesmo com um pano e, no caso de garrafas maiores, assegure-se de que haja uma bandeja de gotejamento embaixo.

Mangueiras e acessórios- Conexões de mangueira: As mangueiras e acessórios devem ser selecionados de modo a suportar as pressões e outros estresses mecânicos, térmicos e químicos que se esperam. Devem ser verificados defeitos visíveis antes de serem utilizados. As mangueiras defeituosas ou as extremidades da mangueira que se tornaram macias ou porosas devem ser removidas. As mangueiras devem ser protegidas contra escorregamento. Devem ser protegidos contra os efeitos de calor excessivo e outras formas de danos.

Queimadores de gás e cartucho de laboratório: Não são permitidos dispositivos de ajuste para o gás combustível em queimadores Bunsen e queimadores de gás relacionados. Os queimadores de gás e aparelhos similares só podem ser conectados usando mangueiras testadas. Os queimadores de Bunsen e os projetos de queimadores de gás relacionados (como os queimadores Teclu, Méker, Heintz e Franke) podem não ser completamente fecháveis através de torneiras ou válvulas, pois nenhum gás deve permanecer sob pressão na mangueira de gás entre a válvula de corte e o queimador de laboratório após o queimador desligado. A configuração destes queimadores deve ser analisada caso a caso.

Capilares de secagem e vasos de absorção: Deve-se ter cuidado de que os capilares de secagem e os vasos de absorção não estejam bloqueados e não possam ficar bloqueados durante a operação. Também é importante garantir que nenhum líquido possa escorrer do vaso de absorção para o vaso de reação.

O bloqueio dos capilares de secagem e dos vasos de absorção com agentes de secagem tais como cloreto de cálcio, óxido de fósforo ou soda caustica pode ser evitado, por exemplo, misturando material granular ou fibroso inerte (como lã de vidro, areia ou pedras de pedra-pomes). O gel de sílica tem a vantagem de não causar bloqueios.

Isolamento térmico de partes quentes: Não podem ser utilizados materiais facilmente inflamáveis para o isolamento térmico de partes quentes em aparelhos. O material isolante facilmente inflamável (como o poliestireno expandido, o cartão ou as toalhas de papel) não é apropriado devido ao risco de incêndio resultante. Mesmo que apenas um pouco molhado com um líquido inflamável, como óleo mineral, um incêndio pode ocorrer através de ignição espontânea.

Buffer e vasos de pressão: Ao conectar equipamentos, os vasos intermediários devem ser adequadamente dimensionados, devem ser instalados entre os recipientes que contenham produtos que possam se tornar perigosos quando misturados. A direção correta do fluxo deve ser assegurada.

Se a pressão cair no aparelho, isso pode resultar em refluxos de líquidos e misturas. Uma queda indesejada da pressão pode ocorrer, por exemplo, como resultado do resfriamento, aquecimento de um lado, um processo de reação muito rápido, redução da pressão a montante, etc. Exemplos de materiais que são perigosos quando misturados incluem ácidos concentrados quando misturados com bases ou água, óxidos ou hidróxidos alcalinos sólidos, por exemplo, em frascos de secagem quando misturados com água ou ácidos e cloreto de cálcio quando misturados com álcoois. Os componentes de reação e as misturas que se alimentam em cilindros de gás comprimido são particularmente perigosos.

Destiladores: O tamanho de um aparelho de destilação deve ser combinado com a quantidade e o tipo de material a ser destilado. O aparelho deve ser selecionado para que não haja bloqueio de vapor ou condensação. O condensador deve ser suficientemente eficaz. Um aparelho de destilação deve ser firmemente fixado e, se necessário, suportado. O fluxo refrigerante deve ser monitorado na saída do condensador. São necessárias medidas adequadas para evitar superaquecimento.

Refrigeradores: O interior dos refrigeradores e congeladores em que as atmosferas explosivas perigosas podem se desenvolver não deve conter fontes de ignição. Atmosferas explosivas perigosas podem desenvolver-se, por exemplo, a partir de recipientes abertos ou vazios que contenham líquidos inflamáveis. As fontes de ignição nas proximidades da porta devem, portanto, ser evitadas. Refrigeradores apropriados

estão disponíveis no mercado. No caso de geladeiras e freezers de design padrão, fontes de ignição podem ser evitadas se luzes e interruptores de luz forem desconectados e os controladores de temperatura estiverem equipados com um circuito elétrico intrinsecamente seguro. Os ventiladores internos devem ser desconectados e o sistema de descongelamento automático deve ser desligado. Em refrigeradores com sistemas de descongelamento automática, o líquido descongelado deve ser desviado para dentro de um recipiente de recolhimento que deve ser esvaziado quando necessário.

Ao usar um banho de resfriamento profundo de dióxido de carbono sólido em solventes orgânicos, deve evitar-se uma reação perigosa entre o líquido refrigerante e o conteúdo dos vasos de vidro a serem arrefecidos, caso estes recipientes se quebrem. O dióxido de carbono sólido deve ser adicionado cuidadosamente aos solventes. A acetona, por exemplo, não pode ser utilizada como meio de resfriamento profundo se líquidos que contenham peróxido de hidrogênio estejam sendo arrefecidos. Se o vaso de vidro quebrar, pode formar-se um peróxido de acetona explosivo sensível aos impactos. Em caso de contato do dióxido de carbono com solvente pode ocorrer espuma. No caso de solventes inflamáveis, isso pode levar a incêndios se houver uma fonte de ignição na vizinhança. O isopropanol é recomendado devido à sua baixa tendência à espuma, mas é também facilmente inflamável. É vantajoso usar criostatos de laboratório em vez de gelo seco e, se apropriado, gases liquefeitos criogênicos. Os Criostatos também permitem um processo de reação seguro graças a uma temperatura selecionável e sua boa estabilidade à temperatura. Ao usar banhos de resfriamento profundo, estes devem ser cobertos o máximo possível. Após o uso, eles devem permanecer cobertos na chaminé até chegarem à temperatura ambiente e são armazenados posteriormente em recipientes apropriados de armazenamento ou descarte. Recipientes de alumínio ou poliuretano provaram ser eficazes.

Vasos Dewar: Os recipientes Dewar de vidro e outros recipientes de vidro com base no mesmo princípio de operação devem ser equipados com uma jaqueta protetora ou protegidos de alguma outra forma das consequências da implosão. O vidro deve ter um coeficiente de expansão suficientemente pequeno.

Somente os vasos de Dewar limpos e secos podem ser preenchidos com gases liquefeitos criogênicos.

A proteção contra as consequências de uma implosão pode ser conseguida, por exemplo, ao revestir o recipiente com plástico.

Banho Maria: Somente dispositivos de aquecimento elétrico podem ser usados para aquecer banhos de aquecimento líquido e outros aparelhos de laboratório. Se for impossível evitar o aquecimento com chamas abertas de gás, isso deve ocorrer sob supervisão. As chamas abertas são fontes de ignição perigosas e é mais difícil regular o fornecimento de calor com estas do que com dispositivos de aquecimento elétricos regulados. Um ventilador de ar quente ainda pode atuar como fonte de ignição depois que ele for desligado.

As placas de cerâmica de vidro devem ser usadas em vez de amianto e fibra de cerâmica. Se as arestas estiverem danificadas, estas placas devem ser substituídas devido ao aumento do risco de quebras e lesões.

Apenas aquecedores cuja temperatura de operação máxima segura é conhecida podem ser usados para banhos de aquecimento de líquido e termostatos líquidos. A temperatura máxima de operação deve situar-se pelo menos 20 °C abaixo do ponto de inflamação do suporte de calor no caso de banhos de aquecimento de líquido e pelo menos 5 °C abaixo do mesmo no caso de termostatos líquidos. Os banhos de metal devem, de preferência, ser utilizados para temperaturas mais elevadas. Os banhos de areia só podem ser utilizados se a distribuição de temperatura irregular que ocorre neles, particularmente a causada pelo reaquecimento, não pode causar perigo. A areia usada como transportador de calor não deve ter arestas afiadas.

Se as experiências não puderem ser supervisionadas permanentemente, deve ser assegurada por meio de um dispositivo automático que, se o dispositivo de controle do sistema de aquecimento falhar, o superaquecimento acima da temperatura máxima de operação pode ser evitado de forma confiável. Os banhos de aquecimento líquido devem ser configurados de forma a que estejam firmes e que sua altura possa ser ajustada com segurança.

Fluidos térmicos: Os fluidos térmicos devem ser selecionados para que sejam apropriados para a tarefa em mãos. Devem ser tomadas medidas eficazes contra os riscos que resultam de um aumento do volume durante o aquecimento e da contaminação e do gotejamento da água.

Deve ser levado em consideração ao usar fluidos térmicos:

- Os fluidos que são miscíveis com água são preferíveis para banhos de aquecimento.

- Os fluidos que não são miscíveis em água devem ser substituídos após contaminação com água ou a água deve ser extraída por ebulição.

- Fluidos térmicos que são miscíveis com água e aqueles que não são não devem ser combinados.

Se uma contaminação não for percebida, esses fluidos podem representar um perigo se a pele de uma pessoa entrar em contato com o líquido do banho. As contaminações com um ponto de ebulição inferior à temperatura do banho podem provocar espirros inesperados e violentos do banho. É aconselhável verificar o fluido térmico após cada caso de contaminação e, dependendo da contaminação, substituí-lo, se necessário.

Se o fluido transborda, o líquido do banho pode entrar no sistema de aquecimento e contaminar os vasos de banho e o sistema, o que pode levar a novos perigos, incluindo incêndios.

As superfícies de equipamento em contato com o vazamento representam uma nova fonte de perigos dos banhos de óleo. O gotejamento de água pode levar a explosões de calor em banhos quentes (óleo, metal).

Fornos de aquecimento: Se os produtos que podem gerar atmosferas explosivas perigosas são secados nos fornos de secagem, devem ser tomadas medidas de proteção contra explosão. Isto se aplica, em particular, a produtos que tenham sido diluídos em solventes, mas também aos produtos a partir dos quais os produtos inflamáveis se separam durante a secagem ou o aquecimento. Os armários de aquecimento e outros secadores não devem constituir um risco de explosão.

Centrífugas: Especial atenção deve ser tomada no uso de centrífugas, as mesmas devem permitir entrada em operação somente com a tampa fechada e não permitirem abertura indevida quando em operação. As centrífugas devem ser instaladas em bancadas estáveis e amplas de modo que um raio de 30 cm ao seu redor esteja livre e desobstruído.

Estufas e Muflas: Ensaios que envolvem altas temperaturas produtos perigosos em estufas e muflas devem ser sempre supervisionados. A temperatura de decomposição térmica do produto deve ser observada e não se deve chegar a ultrapassar 80% deste valor. Produtos com temperatura de decomposição abaixo de 200 °C. devem ter também o tempo de ensaio controlado. Em caso de ensaios que permaneçam sem presença de supervisão, como por exemplo, de um dia para o outro só podem ser efetuados em fornos ou estufas que tenham desarme redundante de temperatura de modo que se alcance uma alta confiabilidade de desarme da temperatura máxima segura do ensaio. Este desarme deve ser testados periodicamente e sua confiabilidade mantida.

Capelas: Atividades durante as quais gases, vapores ou matéria em suspensão podem ser gerados em concentrações ou quantidades perigosas apenas podem ser realizadas em **capelas**. As janelas devem ser mantidas fechadas durante tais atividades. Atividades durante as quais gases, vapores ou matéria em suspensão podem ser gerados em concentrações ou quantidades perigosas apenas podem ser realizadas fora de capelas se medidas apropriadas garantirem a segurança ou se, pelo tipo de trabalho, o colaborador não se encontra em risco devido a esses materiais.

Trabalho em capelas, normalmente previne altos níveis de exposição não aceitáveis nos laboratórios. Se possível, atividades com materiais tóxicos ou altamente tóxicos devem ser realizadas em aparelhos de laboratório fechados dentro de capelas ou instalações similares. Além de liberação de materiais relacionada ao procedimento nas capelas, isso geralmente garante que qualquer material liberado como resultado de falhas ou acidentes são mantidos sob controle. A capacidade de controlar qualquer material liberado depende particularmente das quantidades envolvidas, das propriedades do material e do procedimento utilizado. As janelas das capelas apenas podem ser mantidas abertas durante as atividades em casos excepcionais onde boas razões existam para tal e apenas após ser feita a análise de risco. Isso se dá ao fato da janela aberta reduzir consideravelmente a capacidade de contenção. A quantidade de substâncias nocivas escapando pode ser, portanto, maior. Além disso, a pessoal utilizando a capela não se encontra protegida de respingos de materiais perigosos ou projéteis de vidro quebrado. Dependendo dos estados de matéria e das propriedades perigosas dos produtos, medidas apropriadas podem incluir a utilização de capuzes de segurança, equipamentos fechados (selados a vácuo), 'glove boxes', 'scrubbers de gases'. Extração localizada na fonte também pode ajudar a minimizar a exposição. A construção de capelas deve seguir padrões internacionais como, por exemplo, normas DIN 12924-1 [8] ou ASHRAE [9]. Portas e janela da capela devem permitir o seu fechamento. Capelas devem permitir alívio de pressão e mesmo com porta dianteira fechada a capela ainda deve ter suficiente entrada de ar. A monitoração da ventilação deve ser efetuada em falta da mesma deve haver alarme visual e sonoro indicando esta falha. Não é aceito monitorar somente o motor do

ventilador de exaustão. Entradas de líquidos ou gases por tubulação devem poder ser fechadas externamente à capela. A capacidade de exaustão das capelas devem ser tal que resultem em uma velocidade de captação de 0,5 m/s [3] medida na sua face de janela aberta. Um procedimento de medição deve ser tal que pelo menos cinco pontos de medição com uso de um anemômetro sejam tomados ao longo da abertura devendo o valor mínimo de 0,5m/ s ser encontrado nestes pontos. O ponto de abertura da janela que este valor for encontrado deve ser demarcado e procedimentos devem referenciar o uso obrigatório do mesmo em caso de trabalhos com a janela ou porta aberta. Capelas com janelas altura de 900mm do solo requerem um fluxo de ar interno de 400 m³/h, com 500mm de altura 600 m³/h e capelas que permitem entrada completa nas mesmas 700m³/h [3].

Os trabalhos de **manutenção** devem ser planejados em tempo útil para que possa ser realizado de forma segura sem obstáculos. Isso se aplica, por exemplo, com trabalhos de manutenção de exaustores e chuveiros de emergência. Além dessas inspeções, as instruções de operação do fabricante normalmente incluem detalhes sobre manutenção e calibração. Estas instruções dizem respeito ao funcionamento correto do equipamento. Por exemplo, as peças sujeitas a desgaste, tais como vedações, devem ser substituídas, troca de óleo de bombas, etc. A manutenção preventiva realizada regularmente garante que as peças sujeitas a desgaste são regularmente substituídas, havendo menos avarias e, portanto, menos condições de operação inseguras. Por exemplo, o risco de liberação de materiais ou gases perigosos durante a manutenção dos selos em cromatógrafos de gás é reduzido.

3.3.2 – Medidas organizacionais

O número de pessoas na área em risco deve ser limitado ao mínimo através de medidas organizacionais. Uma medida adicional é minimizar as quantidades de materiais, levando em conta que mesmo alguns miligramas de alguns materiais (como triiodeto de nitrogênio, fulminados, azidas de metais pesados ou Se₄N₄) podem representar um perigo significativo.

Com exaustores antigos sem dispositivos de monitoramento automático, o bom funcionamento dos dispositivos de extração deve ser assegurado por medidas organizacionais. Além disso, os dispositivos que indicam o fluxo de ar como rotâmetros, devem ser instalados em frente das aberturas de saídas de ar e mantidos em bom estado de funcionamento. Medidas organizacionais remetem, em grande medida, a uma cultura de segurança bem desenvolvida no espaço de trabalho e em toda a organização.

3.4 – Preparação para emergências

Estar preparado para ações de emergência em caso de acidentes deve ser obrigatório para quem manuseia produtos perigosos em laboratórios. Entender o que fazer em caso de emergência é essencial. Como usar os equipamentos de combate e emergências, onde estes equipamentos estão localizados. Saber o que fazer em caso de vazamento de um produto químico

A avaliação do risco também deve incluir emergências e falhas. A capacidade de controlar os eventos e o impacto das estações de trabalho individuais tem um sobre o outro são particularmente importantes em grandes laboratórios. Por exemplo, podem ser necessários sistemas adicionais de contenção em exaustores caso haja um incêndio.

Devem ser estabelecidas medidas de emergência para falhas, acidentes e emergências, em particular um plano de escape e resgate e um plano de alarme para incêndios. Nesses casos, apenas as pessoas necessárias para restaurar as condições normais de operação podem permanecer nas áreas relevantes. Todas as outras pessoas devem sair imediatamente. As medidas necessárias devem ser tomadas para eliminar os perigos para as pessoas que trabalham nessas áreas, em particular aparelhos especiais, dispositivos de segurança e equipamentos de proteção pessoal. . Para garantir uma correta atuação é necessária a realização de simulados de emergência envolvendo estes cenários. Simular o uso de um extintor de incêndio, como limpar o líquido derramado, o uso de lava olhos e do chuveiro de emergência, etc. Os exercícios de segurança apropriados devem ser realizados em intervalos regulares para que se possa assumir que o sistema funciona de forma eficaz em caso de emergência. Os regulamentos de segurança contra incêndios que cumprem a legislação pertinente do estado da federação devem ser compilados.

Especial atenção deve ser dada aos serviços de acidentes e emergências, como o corpo de bombeiros, e mantidos disponíveis em local adequado para informações imediatas. Deve ser possível tomar as medidas

de segurança necessárias em tempo hábil. Devem existir orientações claras de primeiros socorros e local conveniado para envio de acidentados já previamente determinados.

4. Conclusão

Enquanto tema “segurança de processos” se desenvolveu fortemente nas últimas décadas, a segurança em laboratórios de ensino e pesquisa, de modo geral, permaneceu sendo vista como menos importante. Existe, frequentemente, uma visão que os acidentes em laboratório serão sempre menores e menos significativos. Que devido ao menor porte, o risco é reduzido. Infelizmente esta visão nem sempre se concretiza. O relatório final sobre a explosão na Universidade Texas Tech, elaborado pelo CSB (Chemical Safety Board) [5] demonstra claramente que os riscos existem e devem ser considerados. O relatório mostra ainda que inúmeros princípios da segurança de processos poderiam ser usados ao tratar do tema segurança de laboratório.

O guia Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco, elaborado pelo CCPS / AIChE (Center for Chemical Process Safety / American Institute of Chemical Engineers) [10] aponta os quatro pilares da segurança de processos: “comprometimento com a segurança de processo”; “compreender os riscos e os perigos”; “gestão de risco” e “aprender a partir da experiência”. Dos vinte elementos que compõem estes pilares é possível destacar: “cultura de segurança”, “atendimento às normas” e “identificação de perigos e análise de riscos”. É inegável a aplicação dos pilares e de inúmeros de seus elementos na segurança em laboratório. Apenas a falta de cultura de segurança e a análise de riscos já são dois elementos presentes na maior parte dos acidentes em espaço laboratorial, como observado no caso da Universidade Texas Tech [5].

Este artigo teve seu foco na construção dos pilares básicos para garantir uma operação segura em ambiente de laboratório. Para tanto foram tratados o reconhecimento dos perigos, a avaliação dos riscos e perigos, a minimização dos riscos e a preparação para emergências. Maior foco foi reservado para a minimização dos riscos, com forte detalhamento nos cenários em geral encontrados no espaço laboratorial. Estes itens tiveram como base as recomendações do guia de segurança da BG-RCI da Alemanha [3].

Ao final é possível observar a enorme semelhança dos itens aqui abordados com os pilares e elementos propostos pelo CCPS [10]. Se por um lado é correto afirmar que a segurança de laboratório apresenta particularidades e características próprias, não sendo apenas uma extensão da segurança de processos, por outro lado também se observa que inúmeros aprendizados construídos na segurança de processos poderiam incrementar a segurança nos laboratórios.

Referências

- [1] Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: < www.mte.gov.br >.
- [2] Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: < www.abnt.org.br >.
- [3] Working Safely in Laboratories, “213-851”, BG RCI- DGVU, (2014).
- [4] Laboratory Safety Guidance, “3404-11R”, O.S.H.A, (2011). Disponível em: < <https://www.osha.gov> >.
- [5] Texas Tech University Chemistry Lab Explosion, CSB – Chemical Safety Board, (2011). Disponível em <<http://www.csb.gov/texas-tech-university-chemistry-lab-explosion/>>.
- [6] Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories Guideline, American Chemical Society, (2015).
- [7] Daniel Crow e Joseph Louvar. Segurança de Processos Químicos, terceira edição, (2015).
- [8] Laboratory Furniture - Fume Cupboards - General Purpose Fume Cupboards, DIN 12924-1, (1991-08).
- [9] ASHRAE HVAC Applications Handbook, Chapter 14/16: Laboratories.
- [10] CCPS Center for Chemical Process Safety. Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco, primeira edição (2014)