



Ensino de Segurança de Processos nos Cursos de Graduação em Engenharia Química

Caroline Dib da Silva

Projeto de Final de Curso

Orientador

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Julho de 2017

ENSINO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA NO BRASIL

Caroline Dib da Silva

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Andréa Medeiros Salgado, D.Sc.

Antonio Carlos de Oliveira Ribeiro, D.Sc.

Newton Miguel Moraes Richa, M.Sc.

Orientada por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2017

Silva, Caroline Dib da.

Ensino de Segurança de Processos nos Cursos de Graduação em Engenharia Química no Brasil/ Caroline Dib da Silva. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2017.

xii, 55 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2017.

Orientador: Carlos André Vaz Junior.

1. Segurança. 2.Prevenção de perdas. 3.Educação.4.Engenharia Química. 5. Projeto Final (Graduação – UFRJ/EQ). 6. Carlos André Vaz Junior. I. D.Sc.

Dedico este trabalho ao meu pai, que venceu muitas batalhas
na vida e agora, me assiste de longe chegar até aqui.

"- É preciso que eu suporte duas ou três larvas se quiser conhecer as borboletas."

Antoine de Saint-Exupéry, 1943

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Nádia, por ser o meu maior exemplo de amor, força e dedicação. Por nunca medir esforços para cuidar da nossa família e dos meus estudos. Não posso descrever aqui o quão especial você é na minha vida.

À minha irmã, Nathalia, exemplo de pessoa, estudante e profissional, por me mostrar que dedicação nunca é demais.

À minha família, por toda a preocupação e esperança depositadas em mim.

Ao meu namorado, Eduardo, meu grande incentivador, por sempre acreditar em mim e ser meu companheiro nos momentos importantes.

À Bruna, Juliana e Vívian, por estarem do meu lado desde o começo.

Aos grandes amigos que a UFRJ me deu, Beatriz, Carlos, Diogo, Ronaldo, Thais e Ulysses. Obrigada por me acompanharem nesse desafio.

Aos amigos que já não tenho contato, mas que de muitas formas me apoiaram ao longo desta jornada.

Ao Professor Carlos André, por toda a confiança depositada e preocupação com minha formação, antes mesmo de se tornar meu orientador.

A todos os professores da Escola de Química - UFRJ que contribuíram para o meu crescimento durante todos estes anos.

E a Deus, que impõe obstáculos na vida para nos mostrar que somos mais fortes.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Química.

ENSINO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA NO BRASIL

Caroline Dib da Silva

Julho, 2017

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

O desenvolvimento da indústria química também trouxe consigo o aumento dos riscos potenciais decorrentes de suas atividades. Grandes acidentes marcam a história do setor pela magnitude de suas consequências. Muitos casos poderiam ter sido evitados se os conhecimentos da área de segurança de processos fossem amplamente estudados, difundidos e empregados. Considerado um dos maiores desastres industriais do mundo, o vazamento de gás em Bhopal, em 1984 é amplamente discutido neste trabalho, bem como suas consequências e mudanças nas áreas industrial, acadêmica e governamental. Organizações como o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) foram criadas e programas como o *Safety and Chemical Engineering Education* (SChE) foram desenvolvidos para criação de mais recursos e aprimoramento das ferramentas de ensino de segurança de processos. Grandes mudanças em regulamentações internacionais também foram observadas, buscando sempre evitar que novas tragédias ocorram. A crescente preocupação das indústrias e sociedade também reflete na necessidade de mudanças na formação de profissionais completos e responsáveis. Um grande movimento para aplicação de novas estratégias por instituições de ensino superior se difunde por todo o mundo visando maior enfoque a tópicos de segurança durante a graduação. Assim, discute-se as estruturas curriculares de cursos de engenharia química em universidades de diversos países como França, Reino Unido, Estados Unidos e Brasil. Foi analisada a oferta de disciplinas relacionadas à segurança, assim como a escolha por abordagem exclusiva ou transversal, além de outras iniciativas como cursos de extensão. Utilizando a mesma metodologia, também foi discutida a abordagem nos cursos de engenharia química mais bem colocados entre universidades brasileiras, segundo o ENADE, com destaque especial para a Escola de Química da UFRJ.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Resposta Mundial ao acidente de Bhopal.....	6
2.1. O Desastre de Bhopal.....	7
2.1.1. Histórico e <i>Background</i>	7
2.1.2. O Isocianato de Metila.....	10
2.1.3. O Acidente	11
2.1.4. Consequências Imediatas	14
2.2. Resposta do Governo dos EUA.....	15
2.3. Resposta da Indústria	18
2.4. Resposta da Academia	19
3. Segurança de Processos no Currículo dos Cursos de Engenharia Química	22
3.1. Caso Europeu	22
3.1.1. Caso francês	23
3.1.2. Caso britânico	25
3.2. Caso americano	27
4. Segurança de Processos no Currículo das Universidades Brasileiras	32
5. Segurança de Processos no Currículo da Escola de Química – UFRJ	42
6. Conclusão	47
7. Referências Bibliográficas.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do Isocianato de Metila.....	10
Figura 2 – Quantidade de produtos tóxicos liberados por indústrias nos EUA	16
Figura 3 - Descrição do material de ensino utilizado no módulo sobre segurança em indústrias de processos químicos	30
Figura 4 - Descrição do material de ensino utilizado no módulo sobre Orientações de Segurança para Projetos de Design	30
Figura 5 - Ementa Oficial da disciplina "Gestão da Qualidade, Meio Ambiente e Segurança" no currículo da UERJ.....	36
Figura 6 - Ementa resumida do curso de "Segurança de Processos e Prevenção de Perdas" da EQ-UFRJ	43
Figura 7 - Número absoluto de mortes na indústria nos EUA por ano.....	48
Figura 8 - Número de mortes na indústria por 100.000 empregados nos EUA por ano.....	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - QS Top Universities Ranking 2016/2017 para cursos de Engenharia Química no Reino Unido	26
Tabela 2 - Exemplos de universidades integrantes do Programa SChE	29
Tabela 3 - Número de IES e Oferta de Vagas de Engenharia Química por Região Brasileira.....	33
Tabela 4 - 20 Maiores Conceitos no ENADE 2014 no Curso de Engenharia Química	34
Tabela 5 - Oferta de Disciplina de Segurança nas 20 Primeiras IES do ENADE 2014	40
Tabela 6 - Tópicos e Cargas Horárias do Curso "Estudos de Casos em Análise de Riscos de Processos Industriais"	45

NOMENCLATURA

LETRAS LATINAS

Símbolo	Descrição
ABET	<i>Accreditation Board of Engineering and Technology</i>
ABIQUIM	Associação Brasileira de Indústrias Químicas
ACC	<i>American Chemistry Council</i>
ACS	<i>American Chemistry Society</i>
AIChE	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
APR	Análise Preliminar de Risco
C&E News	<i>Chemical & Engineering News</i>
CAA	<i>Clean Air Act</i>
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
CES	Câmara de Educação Superior
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CMA	<i>Chemical Manufactures Association</i>
CNE	Conselho Nacional de Educação
DIERS	<i>Design Institute for Emergency Relief Systems</i>
ECTS	<i>European Credit Transfer and Accumulation System</i>
ENADE	Exame Nacional de Desempenho de Estudantes
ENSGTI	<i>École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles</i>
ENSIACET	<i>École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques</i>
EPA	<i>Envrionmental Protection Agency</i>
EPC	Equipamentos de Proteção Coletiva
EPCRA	<i>Emergency Planning and Community Right-To-Know Act</i>
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
EPSC	<i>European Process Safety Center</i>
ESSTIN	<i>École supérieure des sciences et technologies de l'ingénieur de Nancy</i>

FISPQ	Fichas de Segurança de Produtos Químicos
FMEA	<i>Failure Mode Effects Analysis</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i>
IChemE	<i>Institution of Chemical Engineers</i>
IES	Instituição de Ensino Superior
IFBA	Instituto Federal da Bahia
IME	Instituto Militar de Engenharia
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
MIC	Isocianato de Metila
NACD	<i>National Association of Chemical Distributors</i>
NHP	<i>Nickel hydrazine perchlorate</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PHA	<i>Process Hazard Analysis</i>
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PSM	<i>Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, Explosives and Blasting</i>
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RMP	<i>Risk Management Plan</i>
SACHE	<i>Safety in Chemical Engineering Education</i>
SARA	<i>Superfund Amendments and Reauthorization Act</i>
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
TCDD	2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina
TRI	<i>Toxic Release Inventory</i>
TSCA	<i>Toxic Substances Control Act</i>
UCC	<i>Union Carbide Corporation</i>
UCIL	<i>Union Carbide India Limited</i>
UEC	<i>Undergraduate Education Committee</i>
UEM	Universidade Estadual de Maringá

UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UFSJ	Universidade Federal de São João Del Rei
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFTM	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNICAMP	Faculdade de Engenharia da Universidade de Campinas
UPPA	<i>Université de Pau et des Pays de l'Adour</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UVV	Universidade Vila Velha

1. Introdução

Uma das consequências do grande avanço da indústria química desde a Segunda Guerra Mundial foi o aumento na magnitude potencial dos acidentes e incidentes ambientais decorrentes de atividades industriais cada vez mais maiores e mais intensas (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999).

Este desenvolvimento tecnológico e industrial proporcionou grandes avanços em todos os setores relacionados. Entretanto, o aumento das atividades industriais acarretou também o aumento do número de acidentes e fatalidades decorrentes dessas atividades. Grandes acidentes modernos ficaram conhecidos no mundo todo pelo enorme número de pessoas afetadas e pelo que representaram para empresas, cidades e países.

Um dos primeiros acidentes reconhecidos como marco na história da indústria química mundial foi o vazamento de aproximadamente 30 toneladas de ciclohexano em uma fábrica de produtos químicos em Flixborough, Inglaterra, em 1974. A explosão decorrente da ignição da nuvem tóxica formada gerou a morte de 28 pessoas. Outras 36 foram seriamente feridas e a estrutura da planta foi completamente destruída (HOISET, HJERTAGER, *et al.*, 2000) (RICE, 2014).

Em 1976, na Itália, um acidente durante a parada para o fim de semana (obrigatória por lei à época) provocou a liberação para a atmosfera de 6 toneladas de produtos químicos, entre eles 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD). Entre as populações afetadas estavam a comunidade da cidade que abrigava a planta (Meda, 19.000 habitantes) e cidades vizinhas como Desio (33.000 habitantes) e Seveso (17.000 habitantes). Esta última, por ter sido a mais afetada, teve seu nome associado ao acidente. Estima-se que mais de 700 pessoas foram evacuadas de suas casas, enquanto outras 30.000 sofreram algum tipo de restrição de circulação (FORTUNATI, 1985) (BERTAZZI, 1989).

No dia 2 de dezembro de 1984, em Bhopal, na Índia, ocorreu a maior tragédia ligada a uma planta química no mundo. Aproximadamente 30 toneladas de isocianato de metila (MIC) das 42 armazenadas na planta foram liberadas para atmosfera em um tempo estimado entre 30 e 45 minutos. Por ser mais denso que o ar, o gás liberado formou uma densa nuvem que se espalhou pelos vilarejos próximos à fábrica. Apesar de a quantidade total de pessoas mortas devido ao

acidente ser incerto até hoje, estima-se que em dois dias já haviam 5.000 mortos. Aproximadamente 200.000 pessoas foram expostas ao MIC, enquanto a população de Bhopal na época era da ordem de 800.000 (VARMA e VARMA, 2005) (KHAN, 2016) (PETERSON, 2008).

Apesar dos terríveis efeitos sofridos pelas vítimas dos grandes acidentes industriais, diversos autores, como Khan (2016), Hendershot (2015) e Willey (2015), discutem as mudanças provocadas por eles na sociedade e no meio industrial. Organizações internacionais foram formadas com o intuito de compartilhar conhecimentos sobre segurança de processos, bem como promover o desenvolvimento de tecnologias relacionadas. Regulamentos, normas, procedimentos e boas práticas de projetos de plantas químicas estão constantemente sendo influenciadas por esse histórico, de forma a tentar evitar que novas tragédias ocorram (HENDERSHOT, 2015).

Segundo Hendershot (2015), os profissionais com maior potencial para entender e analisar os riscos envolvidos em processo são aqueles que melhor entendem os fenômenos físicos e químicos envolvidos na operação. Em geral, os engenheiros de processos são os que preenchem estes requisitos, podendo, desta forma, tornar-se os principais responsáveis pelo desenvolvimento da segurança na planta química (HENDERSHOT, 2015).

Em contrapartida, a *US Chemical Safety Board* (CSB) oferece uma visão um pouco diferente no relatório sobre o acidente em um laboratório da *Texas Tech University*, em janeiro de 2010. Neste acidente, um aluno perdeu três dedos e sofreu queimaduras diversas após uma explosão de NHP (*nickel hydrazine perchlorate*) durante um experimento. As conclusões da CSB sugerem que ter profissionais com conhecimento em sua área de especialização não é suficiente, é necessário também que haja conhecimento sobre práticas de segurança e gerenciamento adequado de riscos (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2011).

Este mesmo relatório destaca que os riscos envolvidos com o experimento em desenvolvimento no laboratório não haviam sido identificados nem controlados. Incidentes anteriores em laboratórios da própria *Texas Tech University* não foram devidamente documentados nem utilizados com fins educativos e preventivos (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2011).

As contribuições dos engenheiros químicos são importantes, especialmente no início do desenvolvimento de um produto ou processo para a seleção de uma tecnologia/rota química mais segura. Eles podem identificar matérias-primas, intermediários químicos, catalisadores, reagentes químicos e transformações físicas que possam minimizar ou até mesmo eliminar os riscos do processo. Do mesmo modo, um trabalho equivocado de projeto pode resultar em acidentes (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999).

A explosão de um reator da *T2 Laboratories Inc.*, em 2007, na Florida, devido à uma reação fora de controle durante a produção de tricarbonila de manganês metil ciclopentadieno (um aditivo de combustíveis) se tornou um caso conhecido de erro de projeto nos EUA. O relatório divulgado pela CSB sobre o acidente identificou duas causas diretas para o evento: i) a falta de redundância no sistema de refrigeração que, em caso de falha, impossibilitava a refrigeração do reator; ii) dimensionamento incorreto do sistema de alívio de pressão que foi projetado levando em conta apenas a situação normal de operação e não reação secundárias oriundas de um descontrole da temperatura (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2009).

Desta forma, a inclusão do tema de segurança de processos nos currículos dos cursos de graduação em engenharia química é cada vez mais discutida e aceita. Novos engenheiros devem entender que são responsáveis, moral e legalmente, pela proteção dos funcionários da companhia e das pessoas que moram nas imediações, além de serem os guardiões dos ativos e reputação da empresa. Segundo Kletz (1988), universidades que não dão nenhum tipo de treinamento em prevenção de perdas não estão preparando seus estudantes para as questões que terão que lidar quando graduados (KLETZ, 1988).

O conceito de que a segurança de uma indústria é responsabilidade apenas dos profissionais com formação estritamente em segurança se mostra cada vez mais defasado. Prevenção de perdas não deve ser algo a ser considerado apenas depois da etapa de design, mas sim como parte dela. Perigos devem ser, sempre que possível, removidos por uma mudança de design e não por adição de um equipamento de proteção – um princípio básico da segurança intrínseca. Segurança de processos não é apenas adicionar apenas algum tipo de equipamento, como alarmes e proteções contra fogo, para controlar os riscos. Remover os perigos por

mudanças no design é a forma mais moderna e correta de fazer segurança de processos (KLETZ, 1988) (MEYER, 2015).

Contudo, para que esta mudança de cultura da segurança reativa para a segurança intrínseca ocorra, é necessário a participação ativa de diversos *players* deste cenário. É fundamental a participação do governo, da indústria e da academia neste processo.

A inclusão de disciplinas relacionadas à segurança de processos pode ser realizada através de diferentes abordagens, cada uma com suas vantagens e desvantagens. Uma forma é utilizar disciplinas exclusivas sobre o tema, na parte final do curso. Neste contexto, a disciplina introduziria conceitos e definições básicas, tendo em vista a integração dos outros conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Esta abordagem permite o maior aprofundamento do tema e a utilização de um docente especializado no assunto, aumentando a dinâmica e a eficiência do processo de aprendizado. A dificuldade em integrar o conhecimento da disciplina com as outras vistas ao longo do curso se apresenta como desvantagem desta abordagem, fazendo com que o caráter multidisciplinar do tópico seja prejudicado (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a).

Existe ainda a opção de uma abordagem transversal ao longo do curso, visando discutir e debater o assunto em conjunto com as outras disciplinas da estrutura curricular, e não mais em uma disciplina única ao final do curso. Esta abordagem permite que a visão interdisciplinar de segurança de processos seja garantida, evitando também que haja um aumento da carga horária dos cursos de graduação. No entanto, a implementação deste método passa por diversas dificuldades, tais como a questão da formação dos docentes. Não se pode esperar que todos os docentes apresentem a mesma aptidão e conhecimento para discutir o assunto. A divisão da disciplina entre mais de um docente poderia resolver esta questão, mas traz à tona os problemas de integração, presentes principalmente quando as avaliações são feitas separadamente. Por fim, há de se definir em quais matérias serão debatidas as ferramentas de análise e gerenciamento de risco, como HAZOP (*Hazard and Operability Study*), APR (Análise Preliminar de Risco) e árvore de falhas (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a).

Obviamente o método de ensino pode variar de acordo com a realidade de cada instituição, podendo ser integrado com demais disciplinas, ser lecionado como um tópico separado, etc. Por isso, serão avaliadas grades curriculares do curso de engenharia química em universidades da França, Reino Unido, Estados Unidos e Brasil. O estudo será feito em instituições selecionadas a

partir de classificações nacionais como da Quacquarelli Symonds Top Universities para as britânicas e o ENADE (2014) para as brasileiras.

Independente da abordagem adotada em casa universidade, verifica-se também que ainda há muito espaço para melhorias na introdução deste tema no currículo dos cursos de engenharia em todo o mundo (PERRIN e LOURENT, 2008).

Pelos motivos expostos, este trabalho tem o objetivo de sintetizar e discutir as motivações e as mudanças provocadas pelo aumento do reconhecimento da importância da segurança de processos após grandes acidentes. O desastre de Bhopal será detalhado e amplamente discutido por se destacar como precursor de grandes iniciativas que surgiram nos meios industrial e acadêmico.

2. Resposta Mundial ao acidente de Bhopal

Anterior ao acidente de Bhopal, o governo dos EUA mostrava pequenos sinais de que havia uma crescente preocupação com as questões de segurança, saúde e meio ambiente. A primeira agência americana reguladora de meio ambiente foi a *Environmental Protection Agency* (EPA), fundada em 1970, que tinha como foco inicial a poluição das águas e a redução das emissões de óxido nítrico e dióxido de enxofre. Nesta época, a EPA regulava apenas 8 poluentes atmosféricos, enquanto padrões para outros poluentes estavam sob estudo e desenvolvimento. O MIC não constava nesta lista (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Regras e regulamentações sobre a saúde ocupacional dos trabalhadores também estavam sendo cada vez mais debatidas com a criação, em 1970, da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA). Os primeiros trabalhos incluíram acidentes em fábricas e exposições a produtos químicos. A OSHA passou a definir limites de exposição para diversos produtos tóxicos. O limite para MIC foi definido como 0,02 ppm em médias de oito horas. Este valor era, e continua sendo, um dos menores da lista, deixando claro que o MIC já era considerado um químico altamente tóxico e letal (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Normas da OSHA, emitidas em novembro de 1983, exigiam que, em no máximo 2 anos, as companhias passassem a fornecer informações sobre os perigos aos quais os trabalhadores estavam expostos. Essas informações deviam vir na forma de etiquetas, folhas de informação de segurança e programas de treinamento (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A partir do *Toxic Substances Control Act* (TSCA) assinado pelo governo em 1976, a EPA passou a ter poderes para rastrear e fiscalizar todos os produtos químicos produzidos e importados nos EUA. A agência passou a ter autoridade também para banir a manufatura e importação de qualquer um destes produtos em caso de riscos extremos. Também em 1976, a EPA passou a ser responsável por identificar e publicar uma lista de materiais perigosos, bem como as normas para o manuseio, transporte e disposição de resíduos perigosos. Produtores passaram a ser responsáveis pela disposição final dos resíduos gerados por seus produtos, bem como todos os envolvidos no ciclo de vida de cada produto, como transportadoras, distribuidoras, compradores, etc. (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Um grande número de especialistas desenvolveu trabalhos relacionados à segurança de processos trabalhando pela *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE). A AIChE organizou o primeiro simpósio de segurança de processos e prevenção de perdas, evento que ocorre anualmente até os dias atuais.

O *Design Institute for Emergency Relief Systems* (DIERS), setor do AIChE, foi criado em 1976 com o objetivo de reduzir a frequência, a gravidade e as consequências dos acidentes por pressão. A necessidade surgiu a partir de uma série de eventos de explosão de reatores que ocorreram em plantas norte-americanas, mesmo com o funcionamento apropriado de todos seus equipamentos de alívio de acordo com os padrões da época. (AICHE, 2017) (HENDERSHOT, 2015) (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

As atenções do meio acadêmico já se mostravam cada vez mais voltadas para a segurança de processos, mesmo antes de acidentes catalisarem essas mudanças. Bhopal será discutido separadamente por ser considerado o evento que mais influenciou o desenvolvimento de leis, o estudo no meio científico e as mudanças na indústria com relação à segurança, saúde e meio ambiente em todo o mundo (HENDERSHOT, 2015).

2.1. O Desastre de Bhopal

2.1.1. Histórico e *Background*

Logo após a independência da Índia em 1947, novos líderes políticos visavam o desenvolvimento industrial do país. O atraso apresentado neste setor era atribuído à era colonial recente. Com grande apoio dos cidadãos indianos, a nova liderança política acreditava que o setor privado era focado demais na lucratividade para fornecer o incentivo ao desenvolvimento industrial que a Índia precisava. Assim, uma política mista começou a se instaurar no país, com empresas estatais operando os principais ramos da economia e o setor privado guiado por fortes regulamentações governamentais. Este cenário político-econômico fez com que passassem a existir muitas empresas privadas com participação do governo indiano (BROUGHTON, 2005) (PETERSON, 2008).

Em pouco tempo a Índia passou a ter que lidar com o grande problema da escassez de alimentos. O problema persistiu até a chamada “Revolução Verde”, que foi caracterizada por um

aumento significativo na produção de grãos. A Índia e outros países passaram a adotar novas práticas agrícolas, ampliando enormemente a produção e contribuindo para reduzir a fome. Porém, o aumento de produção não ocorreu gratuitamente. Estas novas práticas de cultivo passaram a requerer a utilização de defensivos agrícolas. Na época, um dos principais produtos químicos usados com este fim era o “Sevin”. Inicialmente, o Sevin utilizado na Índia era importado em larga escala dos EUA pela *Union Carbide India Limited* (UCIL), subsidiária da *Union Carbide Corporation* (UCC), empresa norte-americana. À época, era considerada uma das maiores corporações industriais dos EUA (VARMA e VARMA, 2005).

A UCIL já operava na Índia desde antes da independência, com marcas como a “Eveready”. Em meados dos anos de 1960, entrou no ramo agrícola devido ao forte incentivo do governo para o desenvolvimento deste mercado. Os incentivos eram tão grandes que o governo local cedeu o terreno para construção da planta numa concessão de quase 100 anos. A planta da UCIL trouxe consigo muitos empregos, com boa remuneração para os mais diversos níveis, mantendo, assim, boas relações com os líderes políticos locais desde então (PETERSON, 2008).

Nesta época, a infraestrutura básica da Índia ainda era precária, com pouquíssimos hospitais, saneamento básico ineficaz e suprimento de eletricidade instável. Esse suprimento de eletricidade era essencial para as indústrias que estavam se instalando no país e por isso era mais confiável próximo aos polos industriais. Com grandes terrenos vazios pertencentes ao governo e com uma infraestrutura relativamente melhor do que em outros lugares, essas regiões próximas às indústrias passaram a se tornar atrativas para a ocupação desordenada da população. A partir da construção da fábrica da UCIL, diversos vilarejos passaram a se desenvolver nesta região, antes inabitada (PETERSON, 2008).

Diversos planejamentos urbanos foram feitos pelos governos locais, mas nunca foram implementados. Em 1975, um novo planejamento urbano definiu uma área a 20 km do centro de Bhopal como distrito para indústrias perigosas. Apesar de a planta da UCIL estar fora do distrito industrial estabelecido, por já estar construída, a fábrica foi considerada pelas autoridades como “indústria geral” e não como “indústria perigosa”, permitindo sua operação e expansão à apenas 3 km do centro da cidade. As recomendações eram de que fábricas deste tipo fossem construídas a pelo menos 25 km de distância da cidade (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008) (WILLEY, 2015).

A planta inicial da UCIL, construída em 1969, era eficiente no simples processo de comprar pesticidas concentrados, diluí-los e empacota-los para venda. Entretanto, a intenção do governo era ter a produção nacional, gerando empregos e contribuindo com a economia. Porém, isso demandaria uma expansão e um aumento da complexidade do processo. Diversas tentativas fracassaram neste sentido, entre 1978 e 1981, e enfrentavam resistência do governo para a importação de matérias-primas (1-naftol) ou intermediários (MIC), dificultando ainda mais o processo.

A grande seca que assolou a Índia em meados de 1977 fez com que muitos fazendeiros pegassem empréstimos com o governo. Em torno de 1980, quando os pagamentos começaram a ser realizados, os fazendeiros tiveram que economizar e começaram a comprar pesticidas alternativos ao “Sevin”, por metade do preço. (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Este cenário de crise econômica no setor agrícola indiano fez com que, em 1982, com a construção da planta de MIC chegando ao fim, a UCIL e a UCC chegassem à conclusão de que a planta não era mais economicamente viável devido às sucessivas quedas das vendas de “Sevin” (redução de 23% entre 1982 e 1983). Por este motivo, a planta operava abaixo de sua capacidade máxima logo após sua partida, com baixíssima lucratividade, atingindo em 1984, apenas 20% de sua capacidade e resultados deficitários (BROUGHTON, 2005) (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Ainda em 1982, um grupo de especialistas foi enviado pela UCC, para realização de uma inspeção na fábrica de Bhopal. À época foram identificados indícios de válvulas permitindo passagem, procedimentos de limpeza de linhas e filtros sem que as tubulações fossem bloqueadas com flanges do tipo “raquete” (ou “figura 8”). Identificou-se também diversos manômetros com indicação falsa e mau funcionamento do sistema de *spray* de água para combate a incêndios e resfriamento dos tanques (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Com toda a deterioração provocada pela situação do mercado e da redução das vendas, a situação da planta piorava cada vez mais. Os supervisores e superiores responsáveis pela operação, que costumavam ter seu treinamento na planta da UCC em West Virginia, nos EUA, largaram seus empregos em busca de outros melhores, sendo substituídos por funcionários menos qualificados e sem o treinamento adequado. A gerência acreditava que a redução da

produção justificava a redução no contingente operacional. Originalmente, era requerido que houvesse, por turno, 12 operadores, 3 supervisores de operação, 2 supervisores de manutenção e 1 superintendente. Com a redução, passaram a haver apenas 6 operadores, 1 supervisor e nenhum superintendente por turno, uma redução de mais de 50% do efetivo (BROUGHTON, 2005) (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Em 1984, a produção já estava direcionada para o consumo de todas as matérias-primas estocadas para posterior venda da fábrica. Em outubro de 1984, praticamente todo o estoque de fosgênio e metil amina haviam sido consumidos para gerar 62 toneladas de MIC que foram estocadas. Os planos de gerar 1 tonelada de “Sevin” por batelada para venda logo foram descontinuados. A partir de 31 de outubro, diversos protestos originados pelo assassinato do primeiro ministro indiano complicaram a chegada dos funcionários do segundo e terceiro turnos, fazendo com que a produção caísse ainda mais em novembro, mantendo alto o estoque de MIC (BROUGHTON, 2005) (PETERSON, 2008).

2.1.2. O Isocianato de Metila

O isocianato de metila (Figura 1) é um líquido incolor à temperatura ambiente, extremamente tóxico, inflamável e com temperatura de ebulição igual a 39,1°C. Isso significa que parte do isocianato de metila já está vaporizado em temperatura ambiente, especialmente em dias quentes (VARMA e VARMA, 2005) (NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION).

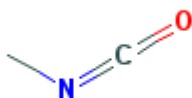


Figura 1 – Estrutura do Isocianato de Metila (NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION)

Por ser incolor, a exposição a ele só pode ser identificada através de seu odor característico ou através dos efeitos para a saúde, como dificuldades na respiração e irritação de garganta e olhos. Como anteriormente citado, a OSHA determina o limite de exposição em 0,02 ppm por um período de 8 horas, mas pouco se conhecia sobre seus efeitos agudos na época, e até hoje não

se conhece nenhum antídoto para o MIC. A longo prazo, em decorrência do acidente de Bhopal, diversos casos de redução de capacidade pulmonar, problemas cardíacos e imunológicos foram relatados na literatura (VARMA e VARMA, 2005) (OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, 2016).

Em Bhopal, o MIC era produzido como intermediário entre as matérias-primas e o produto final desejado, o defensivo agrícola “Sevin”. Tecnicamente havia duas rotas principais disponíveis para a sua produção. A primeira rota – utilizada na fábrica da UCIL – consistia em reagir metil amina com gás fosgênio para gerar o MIC, que é então reagido com 1-naftol para produzir o “Sevin”. A segunda, com custos levemente mais altos, consistia apenas numa alteração da ordem de reação das matérias-primas: o gás fosgênio é reagido com o 1-naftol para produzir um éster clorofornato que é então reagido com a metil amina, sem que haja necessidade de produzir o MIC (BROUGHTON, 2005) (EDWARDS e GUPTA, 2015).

2.1.3. O Acidente

Diante do cenário do país, a gerência industrial da planta da UCIL estava constantemente sob pressão para reduzir custos. Desta forma, diversas medidas foram adotadas visando tal redução de gastos, fazendo com que muitas medidas e equipamentos de segurança fossem ignorados e negligenciados. (WILLEY, 2015)

O MIC era estocado em três tanques subterrâneos diferentes, com capacidade de aproximadamente 57 m³ cada. As recomendações de segurança eram de manter dois tanques em torno de 50% de sua capacidade e manter um tanque sempre vazio para situações de emergência. À época do acidente todos os três tanques estavam sendo utilizados, e o tanque que deu origem ao vazamento estava operando com 87% de sua capacidade (VARMA e VARMA, 2005).

Existiam quatro tipos de sistema de segurança relacionados aos tanques de estocagem MIC. O primeiro dizia respeito à refrigeração destes tanques. O manual de operação da UCIL especificava que o alarme deveria soar quando a temperatura do tanque superasse 11°C. Entretanto, há evidências de que este era mantido acima de 15°C na maior parte do tempo de operação da planta. Este sistema de refrigeração estava desligado há meses, e seu gás refrigerante havia sido redirecionado para outro sistema da fábrica (VARMA e VARMA, 2005) (WILLEY, 2015).

Faziam parte também do sistema de segurança o lavador de gases, projetado para neutralizar o MIC com soda no evento de pequenos vazamentos. Existia ainda o *flare*, projetado para queimar quantidades um pouco maiores do que o lavador de gases conseguia controlar. Ambos os recursos de segurança estavam subdimensionados, sendo capazes de lidar apenas com pequenos vazamentos. Além disso, o *flare* estava inoperante por semanas devido à demora para reposição das linhas de alimentação corroídas, enquanto o lavador de gases se encontrava em *standby* (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Por fim, o único sistema funcionando corretamente, o sistema de *spray* de água para combate a incêndio e refrigeração dos tanques, também subdimensionado, não possuía pressão suficiente para alcançar o topo da válvula de escape do tanque. Os jatos de água alcançavam no máximo 15 metros de altura, e a válvula de escape estava posicionada acima dos 50 metros (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Na noite do dia 2 de dezembro de 1984, o supervisor do segundo turno ordenou uma lavagem periódica das tubulações da área de estocagem do MIC para controlar corrosão. No momento do começo da operação, em torno de 21:30, a maior parte dos sistemas de segurança estavam inoperantes (PETERSON, 2008).

Para o procedimento de limpeza era necessário que houvesse o bloqueio das linhas com raquetes (ou “figuras 8”), para garantir que a água não voltasse para os tanques de estocagem de MIC por alguma válvula entreaberta, e que as válvulas para drenagem de água do sistema estivessem abertas. Um dos operadores reparou que as válvulas de dreno estavam fechadas e reportou ao seu supervisor, que ordenou a continuidade do procedimento. Apesar dos problemas encontrados, o procedimento de lavagem foi continuado pelo terceiro turno conforme a programação (PETERSON, 2008).

Em torno das 23:00, o indicador de pressão do tanque de estocagem estava acusando 25 psi, frente aos 2 psi apresentados anteriormente. Pouco antes das 23:30, um pequeno vazamento foi encontrado devido aos sintomas apresentados pelos operadores e um *spray* de água foi instalado para neutralizá-lo. Os funcionários discutiram este problema durante a pausa de rotina às 23:30. Enquanto isso, a pressão do tanque continuou a subir, alcançando 30 psi em torno de 00:15, o que indicava que provavelmente uma certa quantidade de água havia entrado nos

tanques. Como a reação entre o MIC e a água é altamente exotérmica, o calor liberado foi mais que suficiente para vaporizar o composto e aumentar a pressão do tanque (PETERSON, 2008).

Às 00:30, o manômetro indicava 55 psi, muito acima da pressão de ruptura do disco (40 psi). Neste momento, o operador da sala de controle foi até o campo para verificar se a leitura da pressão estava correta, quando ouviu a válvula de alívio abrindo. Na sequência houve um tremor no chão que cobria os tanques subterrâneos e foi possível sentir o calor emitido por eles (PETERSON, 2008).

O operador voltou à sala de controle e tentou ligar o sistema de lavagem de gases, mas a soda não foi alimentada corretamente ao equipamento (PETERSON, 2008).

Às 00:40, o supervisor foi notificado e acionou os alarmes. Contudo, as sirenes foram desligadas pouco tempo depois. As tentativas de transferir o MIC líquido para o outro tanque falharam, pois os outros tanques já estavam cheios. Com todos os sistemas de segurança inoperantes ou em falha, o gás vazou por duas horas (PETERSON, 2008).

Os residentes das áreas próximas começaram a sentir os efeitos da intoxicação em torno de 01:00. Entretanto, o alarme para a população vizinha só foi acionado às 01:30, quando as pessoas já haviam acordado em suas casas sentindo os efeitos da nuvem tóxica. Soma-se a isso o fato de as autoridades locais estarem despreparadas para este nível de emergência. Não sabiam quais instruções passar, e nem que substância que estava vazando. A planta da UCIL começou a ser evacuada às 03:00 pelo Exército indiano, e as vítimas foram levadas aos hospitais e clínicas disponíveis. Novamente, devido a pouca informação fornecida pelas autoridades e pela UCIL, e a incerteza de quais gases haviam efetivamente vazado, os médicos pouco podiam ajudar (VARMA e VARMA, 2005) (PETERSON, 2008).

Já na manhã do dia 3 de dezembro, as ruas de Bhopal estavam tomadas por corpos de pessoas e animais. Estima-se que 3.800 pessoas morreram imediatamente. A longo prazo mais de 20.000 mortes prematuras são relatadas entre os mais de 200.000 afetados pela pluma do MIC. Mais de 40% das mulheres grávidas que foram expostas ao gás tiveram problemas no parto e perderam seus bebês nos anos seguintes (BROUGHTON, 2005) (VARMA e VARMA, 2005).

Os acordos para indenização entre o governo indiano e a UCC não contemplaram a responsabilidade pela limpeza da planta. Até hoje, enquanto diversas disputas legais ainda não

foram resolvidas, quase 34 anos depois, são encontrados escombros dos antigos equipamentos que ainda permanecem no local do acidente, contaminando o ambiente ao seu redor. Grandes aspectos políticos ainda persistem em relação a este acidente. O governo indiano não aceita que outra empresa, além da Dow Chemical (empresa que adquiriu os direitos da UCC em 2001), faça os reparos, enquanto a Dow não aceita esta responsabilidade (PETERSON, 2008) (EDWARDS e GUPTA, 2015).

2.1.4. Consequências Imediatas

Notícias do desastre de Bhopal estavam em todos os noticiários do mundo aproximadamente 36 horas depois do ocorrido. Nos meses que se seguiram, ao menos 50 artigos adicionais foram publicados no *New York Times* (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A primeira notícia sobre Bhopal no *Chemical & Engineering News (C&E News)*, revista científica publicada pela *American Chemistry Society (ACS)* foi publicada em 10 de dezembro de 1984, uma semana depois do evento. Em 17 de dezembro, na *Businessweek* (revista de negócios publicada pela *Bloomberg*), o deputado americano Henry Waxman demonstrou sua vontade de alterar o *Clean Air Act (CAA)* para responsabilizar a *Environmental Protection Agency (EPA)* pelos padrões de segurança de indústrias químicas e pela fiscalização dos planos de emergência das organizações. O *Clean Air Act*, efetivo em 1963, era uma legislação federal desenvolvida para controlar a poluição do ar em nível nacional (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Enquanto isso, a *Businessweek* reportava movimentos pressionando o governo do presidente Reagan a aprovar o *Community Right-to-Know*, uma legislação que visava aumentar a transparência com relação aos perigos industriais para a sociedade e incentivar a criação e fiscalização dos planos de emergência da indústria. Apesar dos diversos pequenos incidentes ocorridos à época no país, essa legislação era vista como baixa prioridade pelo governo (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A tragédia de Bhopal unificou a opinião pública norte-americana e mundial, catalisando o desenvolvimento e aprovação de diversas legislações no EUA e no mundo (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005) (HENDERSHOT, 2015) (KHAN, 2016).

2.2. Resposta do Governo dos EUA

Bhopal teve extrema influência nos trabalhos da EPA e OSHA, intensificando seus regulamentos e promovendo um amplo contato entre as duas agências. EPA tinha autoridade sobre as consequências fora dos ambientes industriais, enquanto a OSHA tinha maior responsabilidade pelo que ocorria dentro das indústrias. O departamento de transportes dos EUA também se tornou responsável pela segurança pública e proteção contra derramamentos e vazamentos em trens, caminhões e aviões. Assim, desenvolveu um sistema de sinalização para transportes de cargas perigosas (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

O primeiro encontro público oficialmente noticiado ocorreu uma semana após o acidente de Bhopal em Institute, West Virginia, onde operava uma das maiores plantas da UCC e a única a produzir MIC no país. A comunidade de Institute exigia informações sobre o quão suscetível eles estavam em relação a uma tragédia similar à indiana. À época, a UCC já havia paralisado toda a produção de MIC e aguardava checagens de segurança da OSHA e da EPA (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Um debate nacional passou a ocorrer em todas as instâncias de governo nos EUA. O Congresso deixou a inércia e voltou a debater e votar diversas leis que estavam esquecidas. Os primeiros resultados foram as aprovações do *Superfund Amendments and Reauthorization Act* (SARA) e do *Emergency Planning and Community Right-To-Know Act* (EPCRA), em 1986 (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

O SARA fez com que as empresas passassem a ser responsáveis pela divulgação de informações relacionadas com possíveis ameaças às comunidades próximas. As comunidades eram responsáveis pelo plano de resposta a emergências, programas que tinham como objetivo garantir que bombeiros, policiais e outros serviços de segurança fossem rápida e precisamente informados sobre a natureza das substâncias liberadas em caso de qualquer vazamento (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A partir do EPCRA, donos e trabalhadores de empresas eram obrigados a preparar e disponibilizar as Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) sob autorização da OSHA. Cópias das FISPQ de todos os produtos químicos utilizados na indústria deveriam ser entregues para as comissões de respostas a acidentes de cada estado, para o comitê local de planejamento

de emergências e para o corpo de bombeiros com jurisdição do local. O requisito mínimo estabelecido para o primeiro ano era que produtos químicos produzidos ou estocados acima de 4540 kg fossem reportados. Para materiais considerados extremamente perigosos, este limite era de 227 kg (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Em 1987 a EPA passou a exigir que as empresas emitissem inventários de liberação de gases tóxicos (*Toxic Release Inventory* ou TRI) como parte da filosofia de “direito à informação da comunidade”. Desde 1988 a EPA publica anualmente estes inventários que informam as quantidades e os químicos liberados pelo ar, água e solo. A obrigação de quantificar e publicar os resultados de emissões não programadas de produtos tóxicos na atmosfera, para o governo e para a sociedade, criou uma pressão natural no setor petroquímico no sentido de uma redução dessas emissões, que pode ser observado na Figura 2. Este fenômeno só reforça a importância da transparência e divulgação de dados para a comunidade como um todo (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

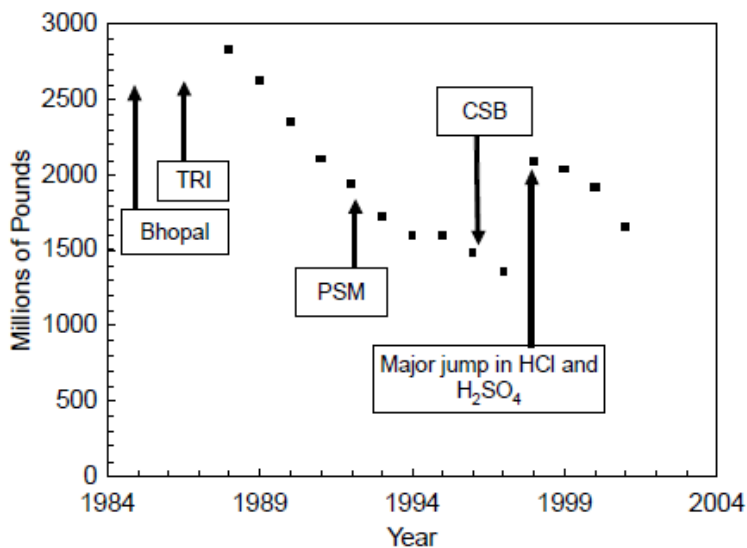


Figura 2 – Quantidade de produtos tóxicos liberados por indústrias nos EUA (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005)

Entre os programas que resultaram da emenda de 1990 do CAA, tem-se, em 1992, o *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, Explosives and Blasting* (PSM). O propósito do PSM era prevenir e minimizar consequências catastróficas de vazamentos de químicos tóxicos, reativos, inflamáveis ou explosivos. As regras estabelecidas pelo PSM são

válidas acima de uma certa quantidade presente em cada indústria, definida de acordo com o produto. Para o MIC, esta quantidade era 114 kg, significando que qualquer instituição que produzisse e/ou armazenasse MIC acima de 114 kg, estaria sujeita à estas regras. Antes do PSM, as próprias empresas podiam decidir sobre suas políticas de segurança de processos, o que fazia com que as normas mudassem consideravelmente de empresa para empresa. Por exemplo, as empresas eram responsáveis pelo seu próprio gerenciamento de mudanças, o que permitia que equipamentos fossem substituídos sem nenhum estudo de segurança sobre os impactos desta troca. Isso mudou a partir do PSM, que estabelecia que apenas trocas de equipamentos idênticos estavam isentas de estudos (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Ainda pela emenda de 1990 do CAA, a EPA iniciou o chamado *Risk Management Plan* (RMP), com sua versão final assinada em 1996. Se um tópico do processo estava sujeito às regras do PSM da OSHA, este poderia servir como ponto de partida para o *Process Hazard Analysis* (PHA) do RMP. Entretanto, como já mencionado, a OSHA era mais orientada aos impactos dentro da indústria, enquanto o contrário ocorria com a EPA. Um PHA bem estruturado deveria identificar todos os cenários de falha que poderiam levar à exposição de trabalhadores, do ambiente ou da sociedade. O Congresso americano passou a exigir que os RMP fossem públicos, com exceção de quaisquer segredos industriais envolvidos (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board* (CSB), criada pela emenda de 1990 do CAA, passou a operar em 1998 (Figura 2). Por definição, a CSB era responsável pela investigação de acidentes para determinar as condições e circunstâncias que os precederam e identificar suas causas de forma que eventos similares pudessem ser evitados. Grande autoridade foi atribuída pelo Congresso americano à CSB, que passou a ter total independência das autoridades de regulamentação, inspeção e fiscalização da EPA e da OSHA para realizar suas atividades (U.S. CHEMICAL SAFETY BOARD).

A equipe de investigação da CSB conta com profissionais experientes da indústria química, incluindo engenheiros químicos e mecânicos, especialistas em segurança industrial e outros especialistas com experiência nos setores público e privado. Além das investigações de acidentes específicos, a equipe também realiza investigações de riscos de acidentes químicos mais gerais, podendo ou não já ter ocorrido o evento (U.S. CHEMICAL SAFETY BOARD).

Tanto as investigações de acidentes quanto as de risco levam à criação de novas recomendações de segurança, que são a principal ferramenta da CSB para alcançar mudanças positivas. As informações obtidas são publicadas e podem ser acessadas no *website* da organização em formato de relatórios em PDF e vídeos explicativos. Muitas vezes, as recomendações são aplicáveis a organizações além da empresa investigada, como para agências governamentais, associações comerciais, sindicatos e outros grupos. A implementação de cada recomendação de segurança é monitorada até a sua conclusão pela equipe da CSB buscando cada vez mais plantas, trabalhadores e comunidades mais seguras (U.S. CHEMICAL SAFETY BOARD).

2.3. Resposta da Indústria

Diversos programas surgiram por iniciativa da indústria após o acidente. Como mais importante pode-se citar o *Responsible Care*, programa adotado pela *Chemical Manufactures Association* (CMA) dos EUA em 1988, que posteriormente veio a se tornar a *American Chemistry Council* (ACC). O *website* da *Responsible Care* oferece dados de desempenho de diversas indústrias nas áreas de meio ambiente, segurança de processos, produção, contabilidade e economia (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

No Brasil, o programa Atuação Responsável, introduzido em 1992, é análogo e foi criado aos moldes do *Responsible Care*, sendo gerenciado pela Associação Brasileira de Indústrias Químicas (ABIQUIM), organização sem fins lucrativos que hoje conta com mais de 130 empresas sócias efetivas do setor de produtos químicos. O objetivo do programa é fortalecer os sistemas de gestão das empresas do setor químico, fomentando uma cultura de sustentabilidade e de transparência de informações para a sociedade e atuando em áreas de saúde, segurança e meio ambiente. A ABIQUIM participa também de diversas iniciativas como a capacitação gratuita de colaboradores de empresas associadas em temas vinculados ao Atuação Responsável e o apoio ao curso de extensão em segurança de processos oferecido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – RJ) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2011);

Além disso, a ABIQUIM fornece anualmente uma gama de dados similares ao *Responsible Care* e também exige diversos requisitos para que as empresas possam usar o selo e participar da

iniciativa do Atuação Responsável. Esses requisitos se baseiam em princípios de normas reconhecidas mundialmente, como as normas ISO 9001 e ISO 14001 para sistemas de gestão da qualidade e do meio ambiente, respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2011).

Iniciativas adicionais vieram de outras instituições como a *Chlorine Institute*, instituição criada para incentivar o desenvolvimento de práticas de segurança e de meio ambiente na indústria de cloro e alcalinos, a *American Petroleum Institute* (API), que fez o rascunho inicial do que viria a se tornar a PSM da OSHA e a *National Association of Chemical Distributors* (NACD), que deu origem ao programa *Responsible Distribution* (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Muita atenção passou a ser dada aos tópicos de meio ambiente, segurança do trabalho, segurança de processos e saúde ocupacional após o acidente de Bhopal. Este e os demais acidentes deixaram cada vez mais claro para os acionistas e membros da alta direção o quão grande é o impacto sofrido pela imagem de uma empresa caso uma tragédia dessas venha a acontecer e o quão danoso um evento como esse pode ser para a sociedade, para o meio ambiente e para os funcionários (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005) (MANNAN, 2015).

Muitas empresas tomaram importantes atitudes com relação à segurança de seus processos. Revisões de processos fizeram com que os inventários de produtos perigosos fossem reduzidos drasticamente em todo o mundo. Em alguns casos, processos foram extintos pelas empresas que não consideraram ser viável investir todo o capital necessário para tornar a operação segura (HENDERSHOT, 2015).

2.4. Resposta da Academia

Em 1985, a AIChE fundou o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) que reúne produtores, seguradores, políticos e acadêmicos com o objetivo de desenvolver melhorias para a segurança de processos de forma geral. Todos os envolvidos no CCPS estão comprometidos com a ideia de proteger a população e o meio ambiente através de boas práticas de engenharia e gerenciamento para prevenir catástrofes como a liberação de químicos na atmosfera, na água ou no solo (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A *Health & Safety Division* do AIChE, logo após sua criação, em 1985, teve, como seu primeiro projeto, a inclusão da segurança de processos em 6 ou 7 cursos de engenharia química de universidades norte-americanas. Em conversas com a direção do CCPS, surgiu a ideia de criar projeto que demonstrasse os princípios da segurança de processos para cursos de graduação através de um conjunto de problemas e estudos de caso. Esses esforços levaram à fundação do *Undergraduate Education Committee* (UEC) dentro do CCPS (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

O comitê definiu uma série de critérios para este projeto e requisitou financiamento das universidades interessadas. Com isso, dois livros foram publicados pela CCPS: o primeiro com o intuito de apresentar os problemas encontrados e materiais para embasar a importância do tema (*Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*) e o segundo que foi criado como um manual de soluções para os professores e que incluía também outros materiais adicionais (CROWL e LOUVAR, 1990) (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Um encontro em Chicago promovido pela AIChE em 1990 foi fundamental para os próximos passos da UEC. Membros do comitê se reuniram e acabaram por promover a criação do programa SACHE (*Safety in Chemical Engineering Education*), iniciado em 1992. A ideia era continuar a promover materiais para o ensino de segurança de processos nas universidades através de um consórcio com essas universidades, de forma a criar e oferecer materiais e apresentações a custos baixos (AICHE, 2017) (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Diversos autores, como Khan (2016), Hendershot (2015) e Willey (2015), discutem e reconhecem a influência que grandes acidentes como Bhopal tiveram na conscientização do meio acadêmico sobre a importância da segurança de processos, fazendo com que muito tempo e esforço passassem a ser dedicados no estudo desta disciplina.

Willey (2015) apresenta uma visão de que é necessário que seja criada uma cultura de entendimento da importância da segurança de processos de forma a fazer com que este tema seja tratado com seriedade. Para tal, é importante incluir esse assunto já na formação de engenheiros, começando pela graduação. (WILLEY, 2015)

Hendershot (2015) e Mannan (2015) destacam que, mesmo com todos os avanços motivados pelos grandes acidentes, estes continuam acontecendo mundo afora. O principal

problema reside não no fato de não sabermos como lidar com os riscos existentes nos processos, mas sim por não seguirmos as recomendações já conhecidas sobre estes riscos. Conhecimento e tecnologia existem para lidar com os riscos, mas muitas vezes não são utilizados corretamente. Em Bhopal, apesar de todos os problemas, existiam sistemas de segurança para lidar com a reação descontrolada que ocorreu no tanque de isocianato de metila, ou seja, a tecnologia e o conhecimento estavam disponíveis. Na opinião dos autores, o que falta muitas vezes é interesse e participação ativa pelos principais *players* neste cenário: o governo, a indústria e o meio acadêmico. (HENDERSHOT, 2015) (MANNAN, 2015)

Edwards e Gupta (2015) usaram o acidente de Bhopal como exemplo para explicar dois pontos importantes. O primeiro diz respeito à redução ou eliminação do inventário de produtos perigosos em uma planta. Sabendo que o isocianato de metila é um material perigoso, e que não é nem matéria-prima nem produto acabado, por que a fábrica mantinha 40 toneladas desta substância em estoque? O segundo ponto está relacionado com a questão da rota tecnológica utilizada. O produto final poderia ser sintetizado utilizando as mesmas matérias-primas, em ordem diferente, por uma outra rota onde o isocianato de metila não é gerado como intermediário. A ideia de que rotas tecnológicas alternativas podem servir como instrumento para alcançar a segurança inerente vem sendo bastante explorada desde então (EDWARDS e GUPTA, 2015).

Khan (2016) ressalta o conceito de segurança inerente introduzido por Trevor Kletz, em 1978, motivado pelas tragédias de Seveso e de Flixborough. O conceito trata da ideia de que é mais efetivo eliminar do que controlar os perigos de um processo. Ao invés de desenvolver e aplicar ferramentas para o gerenciamento dos riscos existentes, esta metodologia propõe a investigação de outras opções para eliminar riscos já na etapa de projeto do processo industrial (KHAN, 2016) (KLETZ, 1978).

Contudo, há um consenso entre os autores citados de que, se há alguma forma de ver um lado bom em um evento como Bhopal é a chance de educar e conscientizar os profissionais envolvidos para evitar que eventos similares tornem a ocorrer. É aproveitar as lições tiradas e os avanços promovidos em segurança de processos decorrentes do acidente. Garantir que todos os trabalhadores em situação de risco tenham ciência dos riscos que estão expostos e conhecimento para poder evitar emergências e lidar com elas da melhor forma caso venham a ocorrer.

3. Segurança de Processos no Currículo dos Cursos de Engenharia Química

Muitos acidentes passados revelam que o potencial efeito para acidentes de grande escala é as vezes subestimado nas instalações industriais. Perdas poderiam ser prevenidas através do estudo e conhecimento dos cenários acidentais. Uma abordagem sistêmica na educação dos futuros profissionais do setor se revela crucial para o desenvolvimento de uma cultura de segurança e prevenção bem-sucedida.

Exemplos disso, além dos anteriormente citados, foram ações tomadas por todo o mundo, em diversos momentos, em relação adoção de segurança de processos no ensino superior. Em resposta ao acidente nas instalações industriais da T2 Laboratories Inc., ocorrido em 2007 na Flórida, a *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board*, por exemplo, recomendou que tópicos sobre processos químicos reativos fossem incorporados em todos os cursos de graduação em engenharia química dos Estados Unidos (MEYER, 2015) (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2009).

Já na Europa, baseada na declaração sobre o Processo de Bolonha, a divulgação de novas diretrizes que incluíssem elementos de segurança para currículos de engenharia química partiu da *European Federation of Chemical Engineering Working Party on Education* em 2010 (MEYER, 2015) (EUROPEAN FEDERATION OF CHEMICAL ENGINEERING - EFCE, 2010).

As conclusões em comum destas organizações foram a necessidade de incluir conceitos e teoria sobre o tópico, métodos de solução de problemas, apresentar consequências de se negligenciar segurança e motivar alunos a continuar seu aprendizado em segurança de processos até mesmo depois da graduação (MEYER, 2015).

3.1. Caso Europeu

Na Europa, o ensino de segurança de processos difere de um país para o outro.

Um marco na história da segurança dos processos na Europa foi a fundação da base do *European Process Safety Center* (EPSC) em 1992 em Rugby (Inglaterra). O Centro é uma colaboração internacional sem fins lucrativos administrada pelo *Institution of Chemical Engineers* (IChemE), composto por indústrias dos setores químico, energético, farmacêutico e outros relacionados. Membros do Centro compartilham o objetivo comum de eliminar os incidentes de segurança de processos através de reuniões, relatórios, publicações e também

trabalham em conjunto com instituições acadêmicas para melhorar a longo prazo a educação em processos (RADEMAEKER, SUTER, *et al.*, 2014) (EUROPEAN PROCESS SAFETY CENTRE).

3.1.1. Caso francês

O conteúdo geral das disciplinas de segurança na França foi proposto de acordo com as diretrizes pra segurança e meio ambiente recomendadas pelo IChemE e englobam três principais assuntos: conhecimento técnico (definições, metodologia de análise de riscos, análise de acidentes, probabilidade), conhecimento organizacional (funções e responsabilidades, aspectos econômicos, leis e regulamentos, sistemas de gestão de negócios e segurança, processo de tomada de decisões) e conhecimento social (comunicação de risco, fatores humanos, problemas éticos). Também durante estas disciplinas, os estudantes podem obter certificados de primeiros socorros validados pelo Ministério da Saúde, usados não só para propósito de atuação, mas para destacar e estimular cuidados com a saúde (PERRIN e LOURENT, 2008).

Em algumas universidades francesas, segurança de processos é introduzida ainda no primeiro ano da graduação, nas disciplinas de laboratório obrigatórias já existentes no curso de engenharia química. Nelas, os procedimentos de segurança para escala de bancada ou escala piloto são revisados a cada experimento, uma vez que visitas à indústrias e estágios de verão são organizados ao longo do curso para todos os estudantes (PERRIN e LOURENT, 2008).

Embora exista o conceito de inserir segurança de processos de forma transversal ao longo do curso de graduação, sendo tema presente em diferentes disciplinas, muitas universidades francesas enfrentam dificuldades práticas para implementar esta abordagem em suas grades curriculares. Essas dificuldades acabam levando à implementação de disciplinas exclusivas sobre o tema que, na visão de Perrin e Lourent (2008), elimina a dificuldade de envolver professores de outras áreas no tema, além de permitir maior coerência e coordenação de informações (PERRIN e LOURENT, 2008).

Para garantir e ajudar no bom desenvolvimento dos tópicos, faculdades francesas fazem uso de ferramentas de ensino disponíveis como livros, vídeos, filmes, modelos computacionais, dramatizações e dispositivos de ensino automatizados (PERRIN e LOURENT, 2008).

Em faculdades como de Nancy (*École supérieure des sciences et technologies de l'ingénieur de Nancy* – ESSTIN – pertencente à *Université de Lorraine*), são organizados cursos introdutórios voltados para o ensino de saúde e segurança do trabalho, dado que engenheiros, em geral, são responsáveis pelo design e construção de instalações industriais e desenvolvimento de protocolos de operação estreitamente relacionados a mitigar problemas de trabalho (PERRIN e LOURENT, 2008).

Em seus cursos, são apresentados conceitos básicos de segurança e regras da legislação europeia. São apresentadas metodologias de análise de riscos, HAZOP e design seguro. É importante destacar a relevância do último tópico, uma vez que a introdução de novos materiais ou processos na indústria requer grandes cuidados e devem considerar os efeitos na saúde e no meio ambiente ainda no estágio de projeto. O curso abrange, também, informações sobre explosões de gases, vapor e poeira e dispersão atmosférica, levando em consideração causas e efeitos de reações fora de controle (PERRIN e LOURENT, 2008).

O curso de engenharia química da *École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles* (ENSGTI) pertencente à *Université de Pau et des Pays de l'Adour* (UPPA), diferencia sua abordagem da apresentada anteriormente em Nancy pela inclusão de estudos de caso, especificamente, para conhecimento de eventos complexos e catastróficos como do México e Bhopal. Outra diferenciação consiste no ensino da avaliação e quantificação de riscos utilizando-se de ferramentas como árvores de falhas e análise efetiva dos modos de falha (FMEA) (PERRIN e LOURENT, 2008).

O curso ofertado pela *École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques* (ENSIACET), de Toulouse, visa capacitar e certificar profissionais cujas habilidades se estendem desde o controle das reações químicas, design e condução de processos associados, até a moldagem e embalagem do produto. A universidade aponta em seus objetivos formar seus engenheiros químicos como profissionais de caráter multidisciplinar capazes de projetar, dimensionar e controlar equipamentos, incluindo atividades de controle de risco, segurança de processos, minimização do impacto ambiental e análise de problemas que possam surgir durante a partida ou operação industrial (INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE).

O curso ofertado pela ENSIACET difere dos anteriormente apresentados e oferece disciplinas eletivas que englobam assuntos sobre processos mais limpos e seguros, legislação europeia, fatores humanos e organizacionais, poluição industrial, saúde e segurança no trabalho processos de certificação de qualidade e sistemas de gestão em geral. Esta estrutura visa fornecer conhecimentos teóricos e métodos de trabalho para dar a cultura necessária de diversificação de suas responsabilidades (INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE) (PERRIN e LOURENT, 2008).

3.1.2. Caso britânico

Em resposta aos acidentes de Flixborough na Inglaterra, 1974, e Seveso na Itália, 1976, o Reino Unido construiu um ambicioso programa de reforço em segurança e prevenção de perdas em seus currículos de graduação. Todos os cursos em engenharia química passaram a requerer certa quantidade de conteúdos relacionados ao tópico para sua certificação, podendo ser ministrados em disciplinas dedicadas ou diluídos nas já existentes (CROWL e LOUVAR, 1988).

Dentre as melhores universidades do Reino Unido classificadas de acordo com o QS Top Universities Ranking 2016/2017 (Tabela 1) para engenharia química, estão universidades de Cambridge, Oxford, Londres e Manchester. Todas elas contam com metodologias similares de desenvolvimento e avaliação, utilizando-se de aulas em sala, palestras, projetos de design, aulas em laboratório, horas de supervisão e trabalhos extraclasse em seus currículos (QUACQUARELLI SYMONDS, 2017).

A *University of Cambridge*, primeira da classificação, permite que os alunos escolham focar em fundamentos de engenharia ou em ciências naturais em seu primeiro ano de formação. A partir do segundo, além de disciplinas adicionais relacionadas ao enfoque inicial, eles são, compulsoriamente, introduzidos a tópicos de matemática, fundamentos de mecânica dos fluidos, transferência de calor e massa e termodinâmica, de operações (reatores, separadores e biotecnologia) e de sistemas de processos, em que são abordados os primeiros conceitos de segurança. Em seu terceiro ano, há um aprofundamento nos tópicos citados, além da inclusão de síntese, dinâmica e controle de processos que culminam em um robusto trabalho de projeção de sistemas industriais, considerando todos os aspectos econômicos, de design, segurança e impactos no meio ambiente, abrangendo diferentes áreas de atuação de um engenheiro químico (UNIVERSITY OF CAMBRIDGE).

Tabela 1 - QS Top Universities Ranking 2016/2017 para cursos de Engenharia Química no Reino Unido
(QUACQUARELLI SYMONDS, 2017)

Posição	Nome da IES	Localização
1	University of Cambridge	Inglaterra
2	University of Oxford	Inglaterra
3	Imperial College London	Inglaterra
4	The University of Manchester	Inglaterra
5	University College London (UCL)	Inglaterra
6	The University of Sheffield	Inglaterra
7	University of Birmingham	Inglaterra
8	The University of Edinburgh	Escócia
9	University of Leeds	Inglaterra
10	Heriot-Watt University	Escócia
11	The University of Nottingham	Inglaterra
12	Queen's University Belfast	Irlanda do Norte
13	University of Bath	Inglaterra
14	Loughborough University	Inglaterra
15	Newcastle University	Inglaterra
16	University of Aberdeen	Escócia
17	University of Strathclyde	Escócia
18	Queen Mary University of London	Inglaterra
19	Swansea University	País de Gales
20	University of Surrey	Inglaterra

A *University of Oxford* busca uma compreensão completa das principais disciplinas de engenharia dedicando seus dois primeiros anos a tópicos comuns aos diversos cursos da área. No segundo ano, os alunos são apresentados a disciplinas que relacionam questões técnicas com as práticas de engenharia na sociedade. Nelas incluem-se habilidades técnicas de escrita e comunicação, ética em engenharia, sustentabilidade, meio ambiente, segurança e riscos. A partir do terceiro ano, os alunos são direcionados para tópicos de especialização em um dos seis ramos de engenharias ofertados pelo programa de *Engineering Science*. Com a escolha feita, para

complementação da formação, são solicitados a produzir propostas de projetos de engenharia em que precisam tomar decisões gerenciais, econômicas, tecnológicas e de design, sob orientação e avaliação técnica por parte de professores visitantes de design de engenharia (UNIVERSITY OF OXFORD).

A *Imperial College London* carrega em seu histórico diversos prêmios entregues pelo IChemE e AIChE como parte do reconhecimento do bom trabalho desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Química que forma profissionais adaptáveis e adequados às carreiras nos setores industrial e de serviços. Visando a aplicação de conhecimentos e habilidades a problemas relevantes para a prática de engenharia química, o curso apresenta foco em estratégias de design e projetos, segurança e prevenção de perdas e engenharia do meio ambiente, representando mais de 55% do peso de matérias do terceiro ano. Vale ressaltar que, especificamente, a disciplina de segurança e prevenção de perdas é a de maior equivalência em créditos ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*) dentre as demais do curso, ficando atrás apenas dos dois tópicos de prática avançada de design e projeto de pesquisa compulsórios no quarto ano de formação (IMPERIAL COLLEGE LONDON).

3.2. Caso americano

Antes da grande repercussão dos acidentes industriais, os Estados Unidos ainda continham poucos tópicos relacionados a segurança de processos na maioria das grades curriculares para os cursos de engenharia química do país. Apesar do interesse demonstrado pelo assunto, havia grande resistência por parte das faculdades em aumentar a grade curricular já inflada destes cursos (CROWL e LOUVAR, 1988) (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999).

Como o ensino de segurança de processos se mostrou essencial como um dos princípios básicos de engenharia química, o CCPS concluiu que a abordagem mais indicada seria fornecer materiais que pudessem ser incorporados às disciplinas já existentes, mostrando a relação entre os tópicos do curso e o design de processos seguros. Para início da aplicação, em 1990, a AIChE publicou uma apostila contendo exercícios e materiais introdutórios sobre segurança, para alunos e professores, que poderiam ser aplicados aos demais tópicos (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999).

O material foi bem recebido pelas universidades americanas e indicou que havia necessidade e espaço para mais iniciativas como esta. Conforme mencionado, em 1991, o *Undergraduate Education Committee* do AIChE/CCPS, responsável por dar assistência e revisar os materiais, idealizou o conceito do Programa SChE – *Safety and Chemical Engineering Education*. Programa é voltado para desenvolver mais ferramentas de ensino, incluindo estudo de casos sobre acidente e recursos visuais para melhor explicar os conceitos e ajudar professores na promoção de uma cultura de segurança junto aos estudantes (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999).

Iniciado em 1992, o SChE tem o objetivo de promover a incorporação e o desenvolvimento dos conteúdos sobre segurança de processos nos currículos dos cursos de graduação em engenharia química e oferecer aos membros da faculdade a oportunidade de aprender sobre o tema com especialistas da indústria. Mais de 50 profissionais, entre acadêmicos e da indústria preparam e revisam os módulos a fim de criar e oferecer materiais e apresentações a baixos custos (AIChE, 2017) (LOUVAR e HENDERSHOT, 2003) (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

Desde 1996, o SChE realizou 12 *workshops* para membros acadêmicos em instalações industriais com o objetivo de demonstrar a importância da segurança de processos químicos para os engenheiros praticantes e fornecer informações e materiais que podem ser usados diretamente nas salas de aulas. Os instrutores são especialistas da indústria na área de segurança dos processos químicos e promovem palestras técnicas com tópicos como químicos reativos, design em segurança, dimensionamento de válvulas de alívio, análise de árvores de falhas e avaliações de segurança. Esses programas também englobam visitas à planta e demonstrações laboratoriais para passar experiência sobre os materiais teóricos abordados nas palestras (AIChE, 2017).

A comunidade acadêmica descobriu que os *workshops* são experiências únicas e inspiradoras, mas que pelo seu alto custo, só são possíveis com o suporte de diversas empresas que apoiam e ajudam a difundir a importância de segurança de processos (AIChE, 2017).

O programa conta, hoje, com mais de 230 instituições de ensino superior e 29 membros corporativos. Exemplos selecionados na Tabela 2 mostram que o SChE, majoritariamente difundido em instituições dos Estados Unidos, também estende sua atuação a outros países, incluindo o Brasil, com duas universidades integrantes (AIChE, 2017).

Tabela 2 - Exemplos de universidades integrantes do Programa SACHÉ (AICHE, 2017)

Universidades	País
Cairo University	Egito
California Institute of Technology	Estados Unidos
Ecole Centrale de Lille	França
Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil
Georgia Institute of Technology	Estados Unidos
Hong Kong University of Science and Technology	China
Massachusetts Institute of Technology	Estados Unidos
National Chiao Tung University	China
Petroleum Institute	Emirados Árabes
Princeton University	Estados Unidos
Stanford University	Estados Unidos
Sultan Qaboos University	Omã
Texas Tech University	Estados Unidos
Universidade Federal do Ceará	Brasil
Università di Pisa	Itália
University College Dublin	Irlanda
University of California, Berkeley	Estados Unidos
University of California, Los Angeles	Estados Unidos
University of Minnesota	Estados Unidos
University of Texas at Austin	Estados Unidos
University of Toronto	Canadá
University of Waterloo	Canadá
University of Wisconsin - Madison	Estados Unidos
Yale University	Estados Unidos
Yokohama National University	Japão

Mais de 50 módulos de ensino já foram preparados e divulgados pelo SACHÉ, incluindo apresentações, aulas e outros materiais de apoio de fácil utilização, seguindo a tendência em

implementar mais materiais didáticos em sua plataforma on-line, para permitir o acesso direto dos estudantes.

Alguns produtos ofertados pelo Programa englobam os temas de análise de riscos dos processos (Figura 3), biossegurança, dispersão atmosférica, explosões, estudos de caso de importantes acidentes, orientações para projetos de design (Figura 4), segurança inerente, proteção a incêndios e segurança em indústrias de processos químicos. Estes módulos se encontram distribuídos em 9 categorias de ensino, podendo ser aplicáveis a mais de uma delas: i) Balanço de Material/Energia (Fundamentos); ii) Escoamento de fluidos; iii) Transferência de Calor; iv) Transferência de Massa; v) Termodinâmica; vi) Reações Químicas/Cinética; vii) Controle de Processos; viii) Laboratório; ix) Design. (AICHE, 2017).

Process Hazard Analysis: An Introduction
Sponsors
David Mody (Queen's University at Kingston)
Description
This is an introduction to Process Hazard Analysis that discusses the definition of PHA, why PHAs are important, what is a hazard, general safety concepts, and fire concepts including jet fires, pool fires, vapor cloud explosions, BLEVEs, physical explosions, chemical explosions, deflagrations, detonations, LFL/UFL, etc. Pictures of fires and explosions are also included.
The PowerPoint presentation can be used as a presentation to a group or as a self directed study (or homework). The product could be used in a university (in a design or safety course, for example) or in an industrial training setting as an orientation session for new engineers. Further information regarding PHAs can be found in the accompanying 2009 SACHE product "Process Hazard Analysis: Process and Examples".

Figura 3 - Descrição do material de ensino utilizado no módulo sobre segurança em indústrias de processos químicos (AICHE, 2017).

Safety Guidance for Design Projects
Sponsors
Bruce K. Vaughen (Cabot Corporation)
Description
This SACHE Product provides guidance for engineering design teams to help them meet the process safety requirements of academe and industry. A design project road map is included to help design teams incorporate the elements of Process Safety Management (PSM) used in industry. Specific SACHE products and SACHE Safety Certificates are referred to in this road map.
This product includes a description of the T2 accident that was the genesis of an important CSB recommendation that AICHE and ABET work together to add reactive hazard awareness to undergraduate chemical engineering curricula. This product includes:
<ul style="list-style-type: none">• An overview,• A PowerPoint presentation discussing: background including T2; project design process (road map); available SACHE resources; and a summary that gives a historical perspective of this product, and• Handouts that are used with the PowerPoint presentation.

Figura 4 - Descrição do material de ensino utilizado no módulo sobre Orientações de Segurança para Projetos de Design (AICHE, 2017).

Além da atuação do AIChE, os Estados Unidos contam, também, com a atuação do *Accreditation Board of Engineering and Technology* (ABET), responsável por certificar programas de cursos de ensino superior no país e no mundo, para também modificar os requisitos do currículo dos cursos de engenharia química devido ao grande número de acidentes investigados (RADEMAEKER, SUTER, *et al.*, 2014).

Atualmente, o uso do material do programa SChE ao longo das disciplinas em universidades americanas está bastante difundido, sem impedir que diversos cursos disponham de disciplinas eletivas sobre o tema. A estratégia de combinar uma abordagem diagonal com eletivas para tratar de pontos específicos indica a enorme extensão do tema nos dias de hoje e contorna a limitação de tentar esgotar o tema apenas incorporando seus tópicos em outras disciplinas da grade (HENDERSHOT, LOUVAR e KUBIAS, 1999) (VAZ JUNIOR, SANTOS e MOREIRA, 2016).

4. Segurança de Processos no Currículo das Universidades Brasileiras

A Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002, estabelece as diretrizes curriculares para os cursos de graduação em Engenharia no Brasil. Apesar de todos os cursos de bacharelado em Engenharia Química pelo país seguirem os mesmos princípios e fundamentos da Resolução, cada um possui singularidades em relação à grade curricular apresentada. Essas singularidades dependem da época de criação do curso, região, corpo docente e prioridades acadêmicas (CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2002) (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a).

Os cursos de Engenharia como um todo, incluindo Engenharia Química, devem ter seus currículos formados por três núcleos. O primeiro, correspondente a 30% da carga horária mínima do curso, é composto por conteúdos básicos que englobam disciplinas referentes à matemática, física e química. O segundo, correspondente a 15% da carga horária mínima, é composto por conteúdos profissionalizantes a serem definidos por cada Instituição de Ensino Superior (IES) que serão estendidos e aprofundados durante as disciplinas do núcleo específico. Este último, correspondente ao restante da carga horária total, também é proposto exclusivamente pelas IES e constitui-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais para desenvolver competências e habilidades nas respectivas modalidades de engenharia (CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2002).

O documento de Diretrizes Curriculares Nacionais não menciona, em nenhum dos núcleos, competências focadas em segurança de processos, citando apenas "Ergonomia e Segurança do Trabalho" no núcleo de conteúdos profissionalizantes. Ainda assim, tendo em vista a necessidade de formar profissionais cada vez mais completos e preparados para o mercado, algumas IES brasileiras optaram por inserir disciplinas voltadas para segurança de processos nas grades curriculares dos cursos de graduação em engenharia (CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2002).

Atualmente, o país conta com aproximadamente 206 IES regulamentadas e cadastradas frente ao Ministério da Educação que ofertam cursos presenciais de Bacharelado de Engenharia Química, dentre particulares e públicas, totalizando em torno de 25000 vagas, espalhadas por todas as regiões do Brasil. Destas, aproximadamente 50% se encontram na região sudeste (Tabela 3), o que corresponde à aproximadamente 51% das 25000 vagas disponíveis para o curso em questão (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2017).

Tabela 3 - Número de IES e Oferta de Vagas de Engenharia Química por Região Brasileira (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2017)

	Nº de IES	Porcentagem	Nº de Vagas	Percentage m
Centro-Oeste	5	2.4%	553	2.2%
Nordeste	44	21.4%	6604	26.4%
Norte	8	3.9%	910	3.6%
Sudeste	103	50.0%	12867	51.5%
Sul	46	22.3%	4058	16.2%
Total	206		24992	

O Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) é utilizado com frequência como forma de avaliar os cursos das mais diversas universidades brasileiras. Anualmente, o conceito ENADE é calculado e divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) possibilitando uma avaliação atualizada dos cursos ministrados pelas universidades brasileiras (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2015).

Dentre as IESs participantes do ENADE, foram escolhidas as 20 mais bem colocadas de acordo com o Conceito ENADE do ano de 2014 de Engenharia Química (Tabela 4) para avaliação da presença ou ausência de matérias correlatas ao ensino de segurança de processos em suas matrizes curriculares. Nesta análise foram incluídos também os tópicos relacionados à ergonomia, segurança do trabalho, incêndio e análise de riscos (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2015).

Os currículos dos cursos de Engenharia Química do Instituto Militar de Engenharia (IME) e da Universidade Federal de Viçosa (UFV) não contemplam disciplinas sobre segurança, e o tema também não foi localizado nas ementas das demais disciplinas ao longo do curso. O mesmo acontece com a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e com a Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ). Esta última oferece apenas uma disciplina optativa em que um dos conteúdos previstos é “Segurança Industrial” (INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA,

2016) (DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - UFV, 2012) (CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS - UFES, 2013) (CQUIM - UFSJ, 2013).

Tabela 4 - 20 Maiores Conceitos no ENADE 2014 no Curso de Engenharia Química (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, 2015)

Posição	Nome da IES	UF do Curso	Conceito Enade (Contínuo)
1	INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA	RJ	5.000
2	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	MG	4.933
3	UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA	MG	4.651
4	UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO	MG	4.293
5	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	RS	4.250
6	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA	BA	4.225
7	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO	ES	3.829
8	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	PR	3.822
9	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS	SP	3.787
10	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	CE	3.785
11	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS	SP	3.680
12	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	RJ	3.668
13	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA	RS	3.464
14	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ	PR	3.264
15	UNIVERSIDADE VILA VELHA	ES	3.233
16	UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA	MG	3.192
17	UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	PR	3.158
18	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI	MG	3.151
19	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	RJ	3.130
20	UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA	BA	3.029

Na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), segunda colocada no Conceito ENADE 2014 (Tabela 4), não há nenhuma disciplina obrigatória relacionada à segurança de processos. A grade curricular também não contempla disciplinas optativas que abordem este tema nem outro tema relacionado. Disciplinas como “Introdução à Engenharia Química” e “Processos Industriais I”, previstas respectivamente para o primeiro e oitavo períodos, não citam estes temas em suas ementas (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFMG, 2015).

A Faculdade de Engenharia da Universidade de Campinas (UNICAMP) descreve em seu *website* as funções e capacidades do profissional de Engenharia Química, afirmando ser um profissional extremamente versátil. Na mesma página ainda é citado que, entre outras áreas e funções, o engenheiro químico poderá ocupar a área de Engenharia de Segurança. Contudo, o curso oferecido não apresenta disciplina relacionada ao ensino de segurança em seu currículo, nem foi possível observar o tema em disciplinas ao longo da grade, de acordo com as ementas oficiais (FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - UNICAMP).

Por sua vez, o currículo do curso de Engenharia Química na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) apresenta a disciplina “Gestão da Qualidade, Meio Ambiente e Segurança” em seu último período. Segundo sua ementa (Figura 5), a disciplina tem o foco voltado para a apresentação e discussão sobre os sistemas de gestão organizacionais de uma forma geral, não sendo específico para segurança de processos. Desta forma, aborda normas reconhecidas internacionalmente como as das séries ISO 9000 (sistemas de gestão da qualidade) e ISO 14000 (sistemas de gestão de meio ambiente) (DEPARTAMENTO DE ORIENTAÇÃO E SUPERVISÃO PEDAGÓGICA - UERJ).

<p>13) OBJETIVOS</p> <p>Ao final da disciplina o aluno será capaz de:</p> <p>GERAL: Apresentar e discutir a implementação dos sistemas de gestão nas organizações.</p> <p>ESPECÍFICO: Apresentar e discutir os fundamentos da administração e da engenharia de produção, com especial ênfase na conceituação e implementação dos sistemas de gestão da qualidade e ambiental, além de abordar aspectos relacionados a segurança, responsabilidade social e boas práticas de fabricação.</p>
<p>14) EMENTA</p> <p>Os princípios fundamentais da administração. A racionalização do trabalho. A psicologia aplicada à administração. As relações verticais: conceitos de liderança. As relações horizontais: técnicas de negociação. Qualidade: conceitos básicos. Sistemas de gestão. A série ISO 9000 – ênfase na ISO 9001. A série ISO 14000 – ênfase na ISO 14001. As principais normas relacionadas à segurança, saúde ocupacional, boas práticas de fabricação e responsabilidade social corporativa.</p>
<p>15) BIBLIOGRAFIA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introdução à teoria geral da administração – Idalberto Chiavenato – Ed. Campus, 6ª Edição. - Princípios de administração científica – Frederick W. Taylor – Ed. Atlas, 8ª Edição 1990. - Psicologia aplicada à administração de empresas – Cecília Whitaker Bergamini – Ed. Atlas, 3ª Edição 1982. - Negociação: tecnologia e comportamento – Luiz Augusto Costacurta Junqueira – Cop Editora, 11ª Edição 1994. - Manual de comunicação ambiental – Organizador: Marcelo Vernet de Beltrant – Ed. Peirópolis, 2004. - Ferramentas para o aprimoramento da qualidade – Sidney Teylor de Oliveira – Ed. Pioneira, 1ª Edição 1995. - ISO Série 9000: manual de implementação de versão 200 – Mauriti Maranhão – Qualitymark Editora, 6ª Edição 2001. - Curso de gestão ambiental e da qualidade - Arlindo Philipi Jr., Marcelo de Andrade Komero., Gilda Collet Bruna – Ed. Manolo, 1ª Edição 2004.

Figura 5 - Ementa Oficial da disciplina "Gestão da Qualidade, Meio Ambiente e Segurança" no currículo da UERJ (DEPARTAMENTO DE ORIENTAÇÃO E SUPERVISÃO PEDAGÓGICA - UERJ)

Entretanto, apesar de introduzir o conceito de segurança de processos na formação do engenheiro químico, esta disciplina se propõe a apresenta-lo de forma geral, inclusive dividindo a atenção com outros tópicos como segurança do trabalho, qualidade, meio ambiente e saúde ocupacional. Observando a bibliografia recomendada do curso, pode-se verificar, também, a ausência de referências sobre segurança, o que reforça a ideia de que a disciplina é voltada para os tópicos de qualidade e meio ambiente (DEPARTAMENTO DE ORIENTAÇÃO E SUPERVISÃO PEDAGÓGICA - UERJ).

Observa-se ainda que a UERJ aborda, de maneira singular e explícita, o tópico de "análise de risco" na disciplina obrigatória de trabalho final de curso "Projetos de Processos na Indústria Química II" (DEPARTAMENTO DE ORIENTAÇÃO E SUPERVISÃO PEDAGÓGICA - UERJ).

Por outro lado, a matriz curricular da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) apresenta duas disciplinas relacionadas. "Ergonomia e Segurança do Trabalho" é mais focada em assuntos relacionados à segurança do trabalho, enquanto "Segurança Industrial e Análise de

Risco” tem intuito de abordar temas de segurança de processos. No entanto, ambas disciplinas são eletivas (optativas) aos alunos do curso (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFTM, 2017).

De forma similar, o currículo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e da Universidade Vila Velha (UVV) também apresentam duas disciplinas, uma voltada para a área de segurança do trabalho e outra para a área de segurança de processos. Essas disciplinas são, respectivamente, “Higiene e Segurança do Trabalho” (disciplina obrigatória) e “Análise de Riscos Industriais” (disciplina eletiva) no currículo da UFRGS, “Higiene e Segurança do Trabalho” (obrigatória) e “Confiabilidade e Análise de Risco” (obrigatória) na UFBA e “Segurança no Trabalho” (obrigatória) e “Análise e Gerenciamento de Riscos” (obrigatória) no currículo da UVV (ESCOLA DE ENGENHARIA - UFRGS) (Matriz Curricular - UVV) (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFBA, 2014).

O curso de Engenharia Química no Instituto Federal da Bahia (IFBA), sexto colocado no ENADE em questão, prevê a disciplina de “Higiene e Segurança do Trabalho” em sua matriz curricular, com caráter obrigatório. O mesmo ocorre na Universidade Federal do Ceará (UFC), ma e na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em disciplina de nomes similares: “Higiene Industrial e Segurança do Trabalho” na UFC e “Fundamentos de Engenharia de Segurança no Trabalho” na UTFPR (Engenharia Química IFBA) (SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS - UFC, 2017) (Planos de Ensino do Curso de Engenharia Química - UTFPR).

Analisando a ementa do IFBA e da UTFPR, pode-se perceber que o foco é dado em Segurança do Trabalho, como os títulos das disciplinas sugerem. Contudo, percebe-se também que são abordados tópicos de higiene, ergonomia, saúde ocupacional, legislação e incêndios. Isso inclui uma introdução aos conceitos básicos de segurança: acidente, incidente, perigo, risco, equipamentos de proteção coletiva (EPC), equipamentos de proteção individual (EPI); bem como uma discussão sobre as principais normas regulamentadoras da área, como: NR-4 (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – SESMT), NR-5 (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA), NR-6 (Equipamentos de Proteção Individual – EPI), NR-7 (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO), NR-

9 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA), NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), NR-17 (Ergonomia) e NR-23 (Proteção Contra Incêndios) (Engenharia Química IFBA) (Planos de Ensino do Curso de Engenharia Química - UTFPR).

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) por outro lado oferta uma disciplina obrigatória única (Segurança e Análise de Riscos em Processos Industriais), em que abrange os conceitos de segurança do trabalho, segurança de processo, toxicologia, análise de riscos e de incêndios industriais (FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFU, 2016).

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) conta com a disciplina obrigatória de “Segurança de Processos e Prevenção de Perdas” e duas optativas em sua estrutura curricular: “Incêndio Industrial: Modelagem, Simulação, Prevenção e Combate” e “Biossegurança”. Além destas, em 2013, ofereceu um curso de extensão - “Estudos de Casos de Análise de Riscos de Processos Industriais” - utilizando materiais disponibilizados pelo programa SACHÉ. O caso particular da UFRJ e as disciplinas por ela ofertadas serão discutidos em detalhes no próximo capítulo.

A Universidade Federal do Paraná (UFPR) oferta “Higiene e Segurança” e “Gestão da Segurança e da Saúde no Trabalho na Indústria”, mas como disciplinas optativas (Coordenação do Curso de Engenharia Química - UFPR, 2017). “Gestão da Segurança e da Saúde no Trabalho na Indústria” tem seu plano de ensino voltado para a área de gestão de segurança e de saúde, otimização de sistemas de gestão, realizando estudos de caso relacionados com a aplicação dos conceitos dessas disciplinas em indústrias químicas reais. Por sua vez, “Higiene e Segurança” segue os moldes das disciplinas análogas ofertadas pela IFBA e UTFPR (Coordenação do Curso de Engenharia Química - UFPR, 2017).

Apesar de não apresentar disciplinas específicas para o ensino de segurança e outras áreas correlatas, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) apresenta duas disciplinas que citam estas áreas de conhecimento em suas ementas: “Desenvolvimento de Processos Químicos” e “Organização Industrial” (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFSCAR). A primeira disciplina é voltada para a discussão e desenvolvimento de um processo químico, buscando soluções de engenharia para isto. Entretanto, cita “segurança de trabalho no laboratório e na indústria” como tópico a ser desenvolvido durante a disciplina. A segunda disciplina tem foco na parte organizacional e burocrática da indústria, apresentando as principais teorias

administrativas e aplicações práticas destas. Entre essas teorias e conhecimentos, surge “higiene e segurança do trabalho” como um dos tópicos a ser discutido por ser parte da indústria química como os demais (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFSCAR).

Situação similar ocorre na matriz curricular da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em que não há disciplina específica para o assunto, mas o tópico segurança industrial bem como suas normas e legislações são conteúdos previstos para a disciplina de “Organização de Empresas e Estratégias Empresariais”. Novamente, o foco desta disciplina é as formas de organização industriais, estruturas organizacionais de uma indústria química (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UEM).

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) oferece quatro matérias relacionadas a segurança, sendo uma obrigatória e três optativas: “Ergonomia e Segurança do Trabalho” (única disciplina obrigatória), “Toxicologia e Segurança de Laboratório”, “Engenharia de Segurança” e “Introdução a Engenharia de Segurança no Trabalho” (Portal do Ementário - UFSM, 2017).

A disciplina “Ergonomia e Segurança do Trabalho”, única disciplina obrigatória no curso, trata sobre conceitos básicos de segurança mas também trata extensamente sobre ergonomia quando, em geral, acontece o contrário em disciplinas da graduação de engenharia química. Na maior parte das vezes, os conceitos de segurança são o foco das disciplinas enquanto ergonomia é um pouco menos priorizada. Além disso, legislações e normas técnicas de ambos os assuntos também são abordados (Portal do Ementário - UFSM, 2017).

As demais optativas tratam de assuntos como fundamentos de toxicologia e segurança em laboratório, evolução histórica de segurança do trabalho, identificação de riscos ocupacionais e conhecimento da legislação vigente (Portal do Ementário - UFSM, 2017).

Portanto, conforme mostrado na Tabela 5, que resume os resultados discutidos anteriormente, pode-se concluir que apenas 60% das 20 IESs mais bem colocadas no ENADE 2014 apresentam alguma disciplina relacionada com o ensino de segurança de processos. No entanto, dentre essas instituições a grande maioria (92%) exige como obrigatória pelo menos 1 disciplina de segurança.

Tabela 5 - Oferta de Disciplina de Segurança nas 20 Primeiras IES do ENADE 2014

Posição ENADE	IES	Oferta Disciplina de Segurança?	Obrigatória?
1	IME	Não	-
2	UFMG	Não	-
3	UFV	Não	-
4	UFTM	Sim	Sim
5	UFRGS	Sim	Sim
6	IFBA	Sim	Sim
7	UFES	Não	-
8	UFPR	Sim	Não
9	UFSCAR	Não	-
10	UFC	Sim	Sim
11	UNICAMP	Não	-
12	UFRJ	Sim	Sim
13	UFSM	Sim	Sim
14	UEM	Não	-
15	UVV	Sim	Sim
16	UFU	Sim	Sim
17	UTFPR	Sim	Sim
18	UFSJ	Não	-
19	UERJ	Sim	Sim
20	UFBA	Sim	Sim

Ainda que haja uma pequena maioria entre as IES que ofertam disciplinas de segurança, é importante observar que 8 das 20 IES analisadas não ofertarem este tipo de matéria ainda é um número expressivo. Entre as IES que ofertam as disciplinas, muitas vezes apenas uma é destinada a este tópico. Frequentemente escolhe-se ou segurança de processos ou segurança do trabalho, isto é, dificilmente encontra-se disciplinas abordando os dois tópicos na mesma IES, mesmo que não sejam equivalentes.

Além disso, vale ressaltar que praticamente nenhuma das disciplinas em questão exigia pré-requisito para cursá-la. Apesar de segurança ser uma matéria inerentemente multidisciplinar, abordando diversas áreas da engenharia, verifica-se que em geral, nenhum conhecimento prévio é exigido dos estudantes nas IES em questão.

A partir das conclusões apresentadas e da crescente procura por profissionais capacitados, o crescimento de cursos de mestrado, doutorado e especializações na área vem sendo estimulado. Eles se mostram fundamentais para o desenvolvimento de novas teorias e técnicas de segurança impulsionados pelo caráter específico e aprofundado dos cursos. Alunos de mestrado e doutorado também podem ter grande participação no desenvolvimento de projetos de pesquisa relacionados a segurança de processos nas universidades, aumentando a quantidade de pessoas engajadas e dedicadas ao tema. (MANNAN, 2015).

No Brasil, é possível encontrar cursos de especialização em Segurança de Processos presenciais e à distância, como os ofertados por IESs como PUC Rio e Universidade Católica de Santos e também por consultorias como a RSE (Centro de Excelência em Gerenciamento de Risco e Sustentabilidade Empresarial).

O público alvo destes cursos são profissionais, engenheiros e até mesmo alunos de graduação que buscam adquirir maior competência na área de segurança. Eles têm a proposta de fornecer capacitação através da disponibilização de conhecimento teórico e da experiência de especialistas sobre as implantação de sistemas de gestão de segurança dos processos em indústrias. Para isso, transmitem uma visão profunda do sistema de gerenciamento de riscos, abordando temas como identificação de perigo e análise de riscos, investigação de acidentes, gerenciamento de mudanças, gerenciamento de emergências e gestão empresarial (PUC RIO, 2017) (UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SANTOS, 2017) (RSE CONSULTORIA, 2017).

5. Segurança de Processos no Currículo da Escola de Química – UFRJ

O curso de Engenharia Química é ministrado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 1952 quando a instituição ainda era intitulada “Universidade do Brasil”. Sempre tendo em vista acompanhar a demanda do mercado de trabalho e a modernização de seus cursos, a Escola de Química incluiu, há aproximadamente 20 anos, a disciplina de “Segurança de Processos e Prevenção de Perdas”, inicialmente como eletiva e posteriormente com caráter obrigatório. Seguindo esta mesma linha de pensamento, foram introduzidas outras disciplinas, em caráter optativo, ao longo dos anos (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a) (UFRJ/EQ: História da Escola de Química, 2017).

Com a adição de uma disciplina obrigatória de segurança de processos no currículo de seus cursos, a Escola de Química da UFRJ opta pela abordagem de utilizar uma disciplina exclusiva para apresentação do tema aos alunos. Devido aos diversos problemas associados com a sua aplicação prática, a instituição não segue a abordagem transversal da disciplina ao longo do curso. Assim, acaba por aumentar a carga horária do curso, que já é bastante extensa, além de dificultar o entendimento do caráter multidisciplinar da matéria, conforme discutido anteriormente. Por outro lado, facilita a apresentação de assuntos mais específicos e a utilização de um docente com conhecimento específico do assunto (VAZ JUNIOR, SANTOS e MOREIRA, 2016).

Apesar das destacadas dificuldades, a implementação de uma abordagem transversal, com o assunto sendo incorporado a tópicos da base curricular do curso, poderia trazer diversos benefícios. Entre esses benefícios pode-se citar a maior visão multidisciplinar da disciplina e a fomentação da cultura de segurança de processos nos alunos desde o início. Essa abordagem poderia ser realizada tanto em disciplinas fundamentais do ciclo profissional – como fenômenos de transporte, termodinâmica e cinética – quanto em disciplinas sobre processos orgânicos e inorgânicos. Por exemplo, disciplinas de fenômenos de transporte poderiam destacar cenários de vazamentos e incêndios, enquanto em cinética poderiam ser discutidos cenários de reações químicas descontroladas. Nas disciplinas sobre processos orgânicos e processos inorgânicos, onde diversos processos existentes na indústria são expostos e discutidos, pode-se exemplificar e exercitar a aplicação das ferramentas de análise de risco assim como discutir estudos de caso específicos. Assim, a disciplina de segurança de processos poderia ser utilizada como ponto de

partida para o ensino das ferramentas principais e específicas como HAZOP, APR, árvore de falhas, etc. (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015b).

“Segurança de Processos e Prevenção de Perdas”, curso com carga horária de 45 horas, tem como objetivo introduzir conceitos de segurança de processos de forma que os alunos possam, futuramente, projetar e operar plantas industriais de processos químicos com segurança. Para isso, aborda-se a identificação de perigos e formas de mitigar problemas de operação de uma forma geral, incluindo, também, a área de gerenciamento e análise de risco, essencial para o funcionamento de qualquer planta química ou petroquímica (Figura 6) (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015a).

Ementa:

Introdução. Toxicologia. Higiene industrial. Modelos de fonte. Modelos de liberação tóxica e de dispersão. Incêndios e explosões. Projetos para prevenção de incêndios e explosões. Sistemas de alívio de pressão. Identificação de perigos. Avaliação de riscos. Gerenciamento de riscos. Análise de casos.

Figura 6 - Ementa resumida do curso de "Segurança de Processos e Prevenção de Perdas" da EQ-UFRJ (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015a)

O conteúdo programático de “Segurança de Processos e Prevenção de Perdas” foi baseado no livro “Segurança de Processos Químicos - Fundamentos e Aplicações” de D. Crowl e J. Louvar. O programa da disciplina contempla também estudos de substâncias tóxicas, seu efeito em organismos biológicos, bem como limites de tolerância e de exposição. Modelos de fonte e de dispersão, para introduzir os conceitos e equações utilizadas na previsão e simulação de vazamentos, fazem parte da estrutura curricular da disciplina, além de sistemas de alívio de pressão em vasos e introdução ao estudo de incêndios e explosões (CROWL e LOUVAR, 1990) (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015a).

Por usar conceitos prévios de diversas áreas, é fundamental que para este curso o aluno já esteja familiarizado com as principais disciplinas do ciclo profissional. Por exemplo, é importante que o aluno tenha noções de mecânica dos fluidos, transferência de calor e massa para entender a estrutura de como os processos químicos funcionam e logo, os riscos associados ao seu projeto e operação. Para os tópicos de modelos de fonte e dispersão, o ideal é que se tenha

noções de modelagem de processos. Entretanto, a Escola de Química não exige nenhuma disciplina como pré-requisito para este curso.

Além da disciplina obrigatória de Segurança de Processos e Prevenção de Perdas, a UFRJ conta com a disciplina optativa de “Incêndio Industrial: Modelagem, Simulação, Prevenção e Combate”. O objetivo é fornecer uma ampla visão do tema, desenvolvendo aspectos teóricos, práticos e normativos, incluindo normas brasileiras e internacionais (principalmente dos EUA). Para isso, há introdução sobre os conceitos básicos como triângulo do fogo, formas de transmissão de calor e classes de incêndios. Posteriormente, o curso introduz os principais modelos matemáticos utilizados para simulação de diversos tipos de incêndios em potencial na indústria. Por fim, discute-se classificação de áreas, sinalizações de segurança e os sistemas de combate ao fogo (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015b).

Outra disciplina ofertada pela Escola de Química em caráter optativo é a de “Biossegurança”. A disciplina é ofertada para todos os cursos da Escola de Química, incluindo o de engenharia química. A disciplina almeja promover o estudo dos fatores de risco existentes no meio ambiente de uma forma geral e também nos laboratórios de pesquisa em bioprocessos. As normas e legislações referentes ao setor são apresentadas, assim como os estudos de caso relacionados, descarte de resíduos biológicos entre outros assuntos (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015c).

Para o estudo de dispersão de nuvens inflamáveis ou de substâncias tóxicas em segurança de processos, utiliza-se com frequência ferramentas computacionais de fluidodinâmica, o que é abordado na disciplina de “Fluidodinâmica Computacional”. O curso apresenta elevada carga de ferramentas que podem ser utilizadas também no estudo de incêndios através da simulação de dispersão de fumaças, por exemplo (ESCOLA DE QUÍMICA, 2015d).

Além destas disciplinas e outras relacionadas, a Escola de Química também tem a intenção de realizar cursos de extensão periodicamente visando a complementação da formação de seus alunos na área de segurança. Uma forma efetiva de elaborar o programa e o conteúdo destes cursos de extensão é através dos materiais disponibilizados pelo programa SACHÉ, discutido anteriormente. No ano de 2013, a Escola de Química da UFRJ firmou parceria com o CCPS para obter os direitos de uso dos materiais digitais disponibilizados em plataforma digital pelo programa. Dentre todas as mais de 230 membros do SACHÉ no mundo, apenas duas instituições

de ensino superior são brasileiras: a Universidade Federal do Ceará e a própria Universidade Federal de Rio de Janeiro (SACHÉ, 2017).

Ainda em 2013, a Escola de Química da UFRJ ofertou seu primeiro curso de extensão em segurança de processos baseado em informações fornecidas pela plataforma. Os materiais desenvolvidos pelo SACHÉ são preparados por profissionais da indústria em parceria com acadêmicos, garantindo teor prático. O curso de extensão denominado por “Estudos de Casos de Análise de Riscos de Processos Industriais” foi ministrado por dois docentes – sendo um da área industrial conforme recomendado pelo SACHÉ – para 31 alunos da Escola de Química. Sua carga horária foi de 16h e os tópicos abordados podem ser encontrados na Tabela 6. (VAZ JUNIOR, 2013) (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a).

Tabela 6 - Tópicos e Cargas Horárias do Curso "Estudos de Casos em Análise de Riscos de Processos Industriais"
(VAZ JUNIOR, 2013)

Tópico	Carga Horária
Importância e Justificativa da Análise de Riscos: um Conceito Prático, <i>Process Hazard Analysis</i> e <i>Process Safety Management</i>	1h
Conceitos Fundamentais	1h
Tipos de Perigos em Ambientes Industriais	1h
Introdução aos Cenários envolvendo Incêndios e Explosões	1h
Introdução aos Cenários envolvendo Liberações Atmosféricas	1h
Principais Ferramentas de Análise de Risco	1h
Gerenciando e Reduzindo Riscos	4h
Estudos de Casos	6h

O objetivo do curso de extensão era desenvolver o senso crítico dos alunos com relação às ferramentas disponíveis de análise de risco em processos industriais, assim como seu papel social, agregando teoria e prática. Outro fato relevante, é de que o número de inscritos superou o número de vagas para este curso de extensão e a taxa de evasão ao longo do curso foi relativamente baixa. Isso demonstra a relevância do curso e a expõe o interesse dos alunos pelo tema que, apesar de importante, ainda é pouco explorado na graduação. (VAZ JUNIOR, 2013)

A experiência revela a demanda por cursos de extensão tanto da parte dos alunos, como também do corpo docente. Foram cogitadas oportunidades de oferta de uma nova turma para o curso já ministrado, bem como de trazer novos tópicos utilizando módulos do SACHÉ e parcerias com a ABIQUIM, SENAI e empresas privadas. Apesar deste movimento e o cenário favorável, não foram mais ofertados cursos de extensão complementares à formação acadêmica dos alunos da Escola de Química, mantendo as portas abertas para outras iniciativas do mesmo tipo.

6. Conclusão

Comumente, se aprende mais com os erros do que com acertos, e com base nisto, os diversos acidentes industriais que ocorreram ao longo da história, ao menos, deixaram importantes lições para a indústria e a academia.

Apesar de Bhopal ter sido, de fato, um dos piores desastres da história, os sinais que algo iria ocorrer já se faziam presentes e já haviam sido identificados anos antes da tragédia. Outros acidentes graves como de Flixborough em 1974, Seveso em 1976, já haviam ocorrido e mesmo assim não serviram para evitar que novos acontecessem. Existia a necessidade de que esforços fossem despendidos e mais atenção e seriedade fossem direcionadas às questões de segurança de processos (VARMA e VARMA, 2005).

É fundamental contar com o comprometimento no tratamento de questões que envolvem segurança, saber conduzir as mudanças que naturalmente ocorrem em processos industriais, manter em funcionamento sistemas e práticas de segurança em vigor e realizar e atualizar análises de riscos utilizando corretamente as ferramentas disponíveis. Isso se torna ainda mais importante nos países ainda em desenvolvimento, onde a disponibilidade de recursos e tecnologias mais avançados são muitas vezes escassos (HENDERSHOT, 2015) (VARMA e VARMA, 2005).

A responsabilidade pela operação segura é, normalmente, associada aos operadores, aqueles profissionais que atuam diretamente nos equipamentos da planta. No entanto, esta responsabilidade não está restrita a eles, todos os profissionais possuem responsabilidades similares e que devem ser tratadas com a mesma seriedade. Desde o presidente da fábrica até os funcionários de suporte, todos têm seus devidos deveres no que tange a segurança de processos. À alta direção, compete garantir que existam os sistemas de segurança necessários e que existam pessoas capacitadas para manter o funcionamento destes, enquanto os funcionários de suporte devem reconhecer os alarmes e os procedimentos a serem seguidos em casos de emergência (HENDERSHOT, 2015).

Academicamente, espera-se que haja mais integração entre a necessidade da indústria e o conteúdo que é ensinado em sala de aula nos cursos de graduação em engenharia. Segurança de processos requer um entendimento e interpretação do processo como um todo para ajudar as

organizações a tomar as melhores decisões desde a etapa de design até a operação (MANNAN, 2015).

As figuras abaixo (Figura 7 e Figura 8) mostram, desde 1960, uma grande tendência de redução dos números de acidentes e de fatalidades na indústria dos EUA. A criação da OSHA e seus contínuos esforços mostram que já havia uma crescente preocupação com a segurança de processos e segurança do trabalho nos EUA mesmo antes do desastre de Bhopal, precursor dos mais visíveis avanços (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

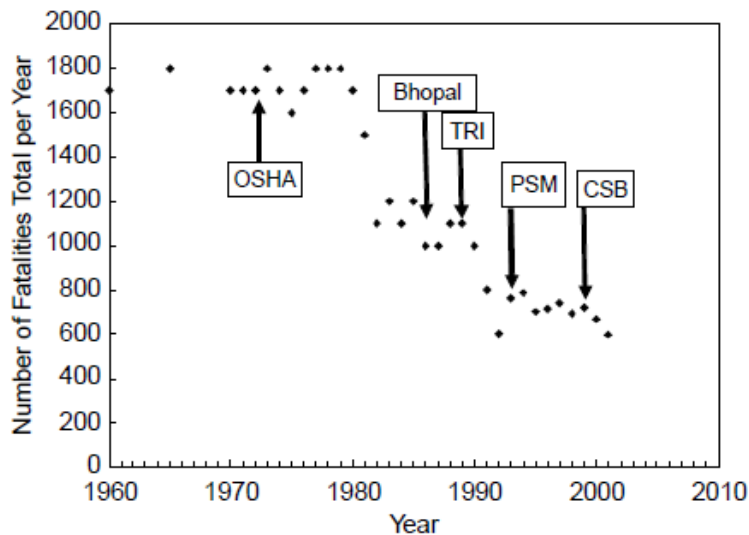


Figura 7 - Número absoluto de mortes na indústria nos EUA por ano (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005)

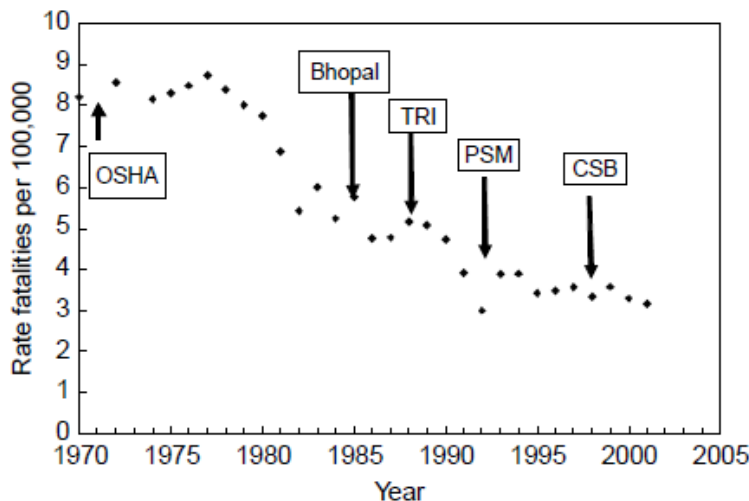


Figura 8 - Número de mortes na indústria por 100.000 empregados nos EUA por ano (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005)

No entanto, apesar da clara redução, os acidentes em processos químicos continuam a representar uma grande parcela das perdas de materiais, de equipamentos e de vidas nos processos industriais. Estabelecimentos cobertos pelas regras do *Risk Management Plan* (RMP) reportaram 1900 acidentes sérios entre 1994 e 1999, representando, aproximadamente, US\$ 5 bilhões em perdas diretas indiretas. Destes, quase 80% foram reportados em organizações que já seguiam as normas estabelecidas pela OSHA, destacando também a oportunidade de melhorias na regulamentação e aplicação da mesma (WILLEY, CROWL e LEPKOWSKI, 2005).

A forma com que segurança de processos era vista mudou, tanto no meio industrial como no acadêmico de todo o mundo. Novas regulamentações da OSHA e da EPA foram formuladas, o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) foi criado e instituições como a *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET), *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE) e *Institution of Chemical Engineers* (IChemE) se viram responsáveis por implementarem mudanças também na base de ensino dos profissionais que influenciam a área industrial. Se viu a necessidade de inclusão de novos aspectos ambientais e de segurança como essenciais nas grades curriculares, principalmente, dos futuros engenheiros químicos.

Como uma das mais importantes ferramentas utilizadas neste novo cenário, destaca-se o programa SACHÉ. Ele é responsável pela criação, divulgação e implementação de diversos materiais, constituindo os mais de 50 módulos e 12 workshops utilizados para melhorar o ensino e difundir o conhecimento de segurança de processos pelo mundo. O programa de baixo custo já é amplamente difundido nas universidades dos Estados Unidos e atingiu mais de 230 instituições pelo mundo. Ainda pouco difundido no Brasil, conta apenas com duas associadas até 2017 - Escola de Química da UFRJ e Universidade Federal do Ceará - com grande potencial de aumentar o alcance do tema no país (AICHE, 2017).

Os cursos de engenharia química das universidades francesas, britânicas, americanas e brasileiras analisadas contam com diferentes abordagens do tema de segurança de processos e relacionados. Os tópicos estão presentes em disciplinas obrigatórias ou eletivas, e distribuídos em abordagem diagonal ao longo do curso ou de forma exclusiva em disciplinas dedicadas. A variedade de abordagem do tema mostra o quão complexo e extenso os assuntos podem ser.

Entre elas, há também diferentes maneiras de introdução do assunto. Podem ser voltadas para processos industriais de engenharia química, ou seguir diretrizes da área de Higiene e Segurança do Trabalho. Ela pode assumir o papel de assunto integrador em diferentes disciplinas ao longo do curso, mostrando a atuação multidisciplinar do tema, porém com a limitação do interesse dos docentes envolvidos em se aprofundarem em outra área de conhecimento, ou até mesmo como um princípio de trabalho de conclusão de curso (MOREIRA e VAZ JUNIOR, 2015a).

A Escola de Química da UFRJ conta com disciplinas obrigatórias e eletivas para apresentação do assunto e cursos de extensão usando materiais do programa SACHÉ para aprofundamento. Ela, assim como a maioria das IESs brasileiras, opta pela abordagem exclusiva e não diagonal do tema, mas, ao contrário de muitas, não oferta cursos sobre "Segurança do Trabalho" e possui enfoque em "Segurança de Processos". Apesar de também ter sua relevância, "Segurança do Trabalho" deve complementar o conhecimento de "Segurança de Processos" e não substituí-lo.

Não existe uma única e mais correta maneira em questão de ensino, uma vez que a academia é composta por culturas, educações, recursos e infraestruturas diferentes. Mas independente da estratégia adotada, o mais importante é destacar o movimento que existe, hoje, no sentido de mudanças nos currículos de graduação em engenharia química e também da complementação acadêmica por cursos de especialização, mestrado e doutorado. Todos os esforços visam reduzir cada vez mais a frequência e as consequências de acidentes industriais como os que já ocorreram no passado, atendendo à demanda do mercado e da sociedade por profissionais completos e responsáveis sem nunca esquecer das consequências de suas decisões.

"Quem ignora o passado, está fadado a repeti-lo."

(RADEMAEKER, SUTER, *et al.*, 2014)

7. Referências Bibliográficas

AICHE. Design Institute for Emergency Relief Systems (DIERS). **American Institute of Chemical Engineers**, 2017. Disponível em: <<https://www.aiche.org/design-institute-emergency-relief-systems-diers>>. Acesso em: 13 Julho 2017.

AICHE. Safety and Chemical Engineering Education. **SACHE**, 2017. Disponível em: <<http://www.sache.org/>>. Acesso em: 13 Julho 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Atuação Responsável. **ABIQUIM**, Dezembro 2011. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/programa/atuacao-responsavel/>>. Acesso em: 20 Julho 2017.

BERTAZZI, P.-A. Industrial disasters and epidemiology. A review of recent experiences. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, p. 85-100, 1989. ISSN 0355-3140.

BROUGHTON, E. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. **Environmental Health**, v. 4, n. 6, p. 1-6, 10 Maio 2005. ISSN 1476-069X. Disponível em: <<https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-4-6>>.

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS - UFES. Estrutura Curricular | Engenharia Química, 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariaquimica.alegre.ufes.br/estrutura-curricular>>.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Resolução CNE/CES 11 - Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Resolução do CNE**, 11 Março 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em: 25 Junho 2017.

COORDENAÇÃO do Curso de Engenharia Química - UFPR, 2017. Disponível em: <<http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/cceq/lista-de-optativas-ofertadas-pelo-deq/>>.

CQUIM - UFSJ. Matriz Curricular, 2013. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/cquim/matriz_curricular.php>. Acesso em: 18 jun. 2017.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. Safety and Loss Prevention in the Undergraduate Curriculum: A Dual Perspective. **Chemical Engineering Education**, p. 74-79, 1988.

CROWL, D.; LOUVAR, J. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. 1st. ed. [S.l.]: Pearson Education, 1990.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UEM. Matriz Curricular - Curso de Graduação em Engenharia Química. Disponível em: <<http://www.deq.uem.br/>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFBA. Disciplinas Oferecidas, 2014. Disponível em: <<http://www.deq.ufba.br/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFMG. Grade Curricular. **Departamento de Engenharia Química**, 2015. Disponível em: <<http://www.deq.ufmg.br/graduacao/grade-curricular>>.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFSCAR. Ementas das Disciplinas. Disponível em: <<http://www.deq.ufscar.br/index.php/o-curso/ementas-das-disciplinas>>.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFTM. Matriz Curricular - Engenharia Química, 2017. Disponível em: <<http://www.uftm.edu.br/engenharia-quimica/matriz-curricular>>.

DEPARTAMENTO DE ORIENTAÇÃO E SUPERVISÃO PEDAGÓGICA - UERJ. Engenharia Química - Diurno. **Ementário - UERJ**. Disponível em: <http://www.ementario.uerj.br/cursos/engenharia_quimica_diurno.html>.

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - UFV. Documentos de Apoio ao Curso de Engenharia Química, 2012. Disponível em: <<http://www.enq.ufv.br/documentos.php>>.

EDWARDS, D.; GUPTA, J. Guest perspectives_Edwards and Gupta. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 34, p. 232-234, 2015. ISSN 0950-4230.

ENGENHARIA Química IFBA. Disponível em: <<http://www.ifba.edu.br/dapiq/engquimica/arquivos.html>>.

ESCOLA DE ENGENHARIA - UFRGS. Cursos - UFRGS. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ufrgs/ensino/graduacao/cursos/exibeCurso?cod_curso=326>.

ESCOLA DE QUÍMICA. **Programa da Disciplina Segurança de Processos e Prevenção de Perdas**. Escola de Química da UFRJ. [S.l.]. 2015a.

ESCOLA DE QUÍMICA. **Programa da Disciplina Eletiva: Incêndios Industriais: Modelagem, Simulação, Prevenção e Combate**. Escola de Química da UFRJ. [S.l.]. 2015b.

ESCOLA DE QUÍMICA. **Programa da Disciplina de Biossegurança**. Escola de Química da UFRJ. [S.l.]. 2015c.

ESCOLA DE QUÍMICA. **Programa da Disciplina Eletiva: Fluidodinâmica Computacional**. Escola de Química da UFRJ. [S.l.]. 2015d.

EUROPEAN FEDERATION OF CHEMICAL ENGINEERING - EFCE. EFCE Bologna Recommendations. **European Federation of Chemical Engineering - EFCE Statements on Bologna Process**, 2010. Disponível em: <http://efce.info/Bologna_Recommendation.html>. Acesso em: 13 Julho 2017.

EUROPEAN PROCESS SAFETY CENTRE. EPSC - European Process Safety Centre. Disponível em: <<http://www.epsc.org/index.aspx?Group=home&Page=home>>. Acesso em: 12 Julho 2017.

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - UFU. Curso de Graduação em Engenharia Química, 2016. Disponível em: <<http://www.eq.feq.ufu.br/index.php?type=padrao&menu=4>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - UNICAMP. Programas das Disciplinas Obrigatórias. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/index.php/administracao-principal/Programas-das-Disciplinas-Obrigatorias>>. Acesso em: 2017.

FORTUNATI, G. U. The Seveso Accident. **Chemosphere**, v. 14, n. 6/7, p. 729-737, 1985. ISSN 0045-6535.

HENDERSHOT, D. C. Guest perspective on Bhopal - Why can't we do better? **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 36, p. 183-184, 2015. ISSN 0950-4230.

HENDERSHOT, D. C.; LOUVAR, J. F.; KUBIAS, F. O. Add chemical process safety to the chemistry curriculum. **Chemical Health and Safety**, v. 6, n. 1, p. 16-22, January/February 1999.

HOISET, S. et al. Flixborough revisited - an explosion simulation approach. **Journal of Hazardous Materials**, p. 1-9, 2000. ISSN 0304-3894.

IMPERIAL COLLEGE LONDON. Undergraduate. **Department of Chemical Engineering**. Disponível em: <<http://www.imperial.ac.uk/chemical-engineering/courses/undergraduate/>>. Acesso em: 19 Julho 2017.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE. INGÉNIEURS "GÉNIE CHIMIQUE". **École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques - ENSIACET**. Disponível em: <<http://www.ensiacet.fr/fr/formations/ingenieur/departements-de-formation/genie-chimique.html>>. Acesso em: 18 Julho 2017.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. Disciplinas - Eng. Química - Graduação, 2016. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/disciplinas-graduacao-eng-quimica.html>>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Conceito ENADE. **Portal INEP**, 20 Outubro 2015. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/conceito-enade>>.

KHAN, F. Guest perspective on Bhopal - Faisal Khan. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 39, p. 181-182, 2016. ISSN 0950-4230.

KLETZ, T. What You Don't Have, Can't Leak. **Chemistry and Industry**, p. 287-292, 1978.

LOUVAR, J. F.; HENDERSHOT, D. C. SACHE: 17 years of promoting teaching of safety to chemical engineering students. **Chemical Health & Safety**, v. 10, n. 5, p. 8-10, September/October 2003.

MANNAN, M. S. Guest perspective on Bhopal - M. Sam Mannan. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 38, p. 298-299, 2015. ISSN 0950-4230.

MATRIZ Curricular - UVV. Disponível em: <https://www.uvv.br/graduacao/links/matriz_curricular.aspx?id=75&iframe=true&width=800&height=600>. Acesso em: 17 jun. 2017.

MEYER, T. Towards the implementation of a safety education program in a teaching and research institution. **Education for Chemical Engineers**, n. 102, 2015.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Instituições de Educação Superior e Cursos Cadastrados. **e-MEC**, 2017. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/e-mec-sp-257584288>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

MOREIRA, L. C.; VAZ JUNIOR, C. A. **Opções para o Ensino de Segurança de Processos nos Cursos de Graduação de Engenharia Química**. 7th Latin American Conference on Process Safety. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2015a. p. 7.

MOREIRA, L. C.; VAZ JUNIOR, C. A. **Rumos para o Ensino de Segurança de Processos nos Cursos de Graduação em Engenharia Química no Brasil - Uma Visão Preliminar**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas, SP: [s.n.]. 2015b. p. 6.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. Methyl Isocyanate. **PubChem Compound Database**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12228>>. Acesso em: 17 maio 2017.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. OSHA Annotated PELs - Table Z-1, 2016. Disponível em: <<https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>>. Acesso em: 17 Maio 2017.

PERRIN, L.; LOURENT, A. Current situation and future implementation of safety curricula for chemical engineering education in France. **Education for Chemical Engineers**, n. 3, p. e84-e91, 2008.

PETERSON, M. J. **Bhopal Plant Disaster - Situation Summary**. International Dimensions of Ethics Education in Science and Engineering. [S.l.], p. 1-8. 2008.

PLANOS de Ensino do Curso de Engenharia Química - UTFPR. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/pontagrossa/cursos/bacharelados/Ofertados-neste-Campus/engenharia-quimica/planos-de-ensino/7o-periodo/qm37g-fundamentos-de-engenharia-de-seguranca-no-trabalho/view>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

PORTAL do Ementário - UFSM, 2017. Disponível em: <<https://portal.ufsm.br/ementario/curso.html?idCurso=699>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

PUC RIO. Segurança de Processos Industriais. **Educação Continuada - Cursos de Especialização e Extensão, Palestras e Eventos**, 2017. Disponível em: <<http://www.cce.puc-rio.br/sitecce/website/website.dll/folder?nCurso=seguranca-de-processos-industriais&nInst=cce>>. Acesso em: 24 Julho 2017.

QUACQUARELLI SYMONDS. World University Rankings. **Top Universities**, 2017. Disponível em: <<https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2017/engineering-chemical>>. Acesso em: 19 Julho 2017.

RADEMAEKER, E. D. et al. A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries. **Process Safety and Environmental Protection**, n. 92, p. 280-291, 2014.

RICE, J. Flixborough - 40 years on. **Safety & Health Practitioner**, 2014. 13.

RSE CONSULTORIA. Especialização em Segurança de Processo. **Especialização**, 2017. Disponível em: <<https://www.rsem.com.br/especializacao/>>. Acesso em: 24 Julho 2017.

SACHE. **Safety and Chemical Engineering Education Program**. [S.l.]. 2017.

SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS - UFC. Estrutura Curricular, 2017. Disponível em: <https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/relatorio_curriculo.jsf>.

U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Investigation Report - T2 Laboratories, Inc. - Runaway Reaction**. [S.l.], p. 77. 2009.

U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Texas Tech University - Laboratory Explosion**. [S.l.], p. 23. 2011.

U.S. CHEMICAL SAFETY BOARD. About the CSB. **CSB - U.S. Chemical Safety Board**. Disponível em: <<http://www.csb.gov/about-the-csb/>>. Acesso em: 23 Julho 2017.

UFRJ/EQ: História da Escola de Química. **Escola de Química da UFRJ**, 2017. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/estrutura/historia/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SANTOS. Segurança de Processos Industriais, 2017. Disponível em: <<http://www.unisantos.br/portal/seguranca-de-processos-industriais/>>. Acesso em: 24 Julho 2017.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. Chemical Engineering: undergraduate course contents. **Chemical Engineering and Biotechnology**. Disponível em: <<http://www.ceb.cam.ac.uk/undergraduates/undergrad-pics-and-files/coursecontents.pdf>>. Acesso em: 19 Julho 2017.

UNIVERSITY OF OXFORD. MEng in Engineering Science. **Department of Engineering Science**. Disponível em: <<http://www.eng.ox.ac.uk/study-here/undergraduate/engineering-science>>. Acesso em: 19 Julho 2017.

VARMA, R.; VARMA, D. R. The Bhopal Disaster of 1984. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 25, n. 1, p. 37-45, 2005. ISSN 1552-4183.

VAZ JUNIOR, C. A. **Relatório Final de Curso de Extensão "Estudos de Casos em Análise de Riscos de Processos Industriais"**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. [S.l.], p. 5. 2013.

VAZ JUNIOR, C. A.; SANTOS, P. M.; MOREIRA, L. C. **Diferentes Abordagens para o Ensino de Segurança de Processos**. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza, CE: [s.n.]. 2016. p. 8.

WILLEY, R. J. Guest Perspective on Bhopal - Ronald J. Willey. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 35, p. 247-248, 2015. ISSN 0950-4230.

WILLEY, R. J.; CROWL, D. A.; LEPKOWSKI, W. The Bhopal tragedy: its influence on process and community safety as practiced in the United States. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 18, p. 365-374, 2005. ISSN 0950-4230.