



*Universidade Federal do Rio de Janeiro*

*Escola de Química*

*Projeto Final de Curso*

# **Indicadores de Segurança como Ferramenta de Gestão para a Indústria Bioquímica**

*Jéssica Godoy Dominguez*

*Orientador:*

*Carlos André Vaz Junior, D. Sc.*

*Departamento de Engenharia Química*

**Rio de Janeiro**

**2014**

*"O exemplo não é outra forma de ensinar, é a  
única forma de ensinar."*

*Albert Einstein*

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

## **Indicadores de Segurança como Ferramenta de Gestão para a Indústria Química e Bioquímica**

Jéssica Godoy Dominguez

Orientador: Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

A indústria química possui grande relevância econômica no cenário mundial, podendo ser dividida em três segmentos principais: químicos básicos, especialidades químicas, e químicos de consumo. A petroquímica, pertencente ao grupo dos químicos básicos, estando inserida constantemente em um processo de crescimento e reestruturação, buscando constantemente soluções competitivas e inovadoras que garantam a sustentabilidade do negócio. No contexto atual, o uso de insumos de fontes renováveis e os bioprocessos ganham destaque. No entanto, o controle e redução de impactos a pessoas, meio ambiente e instalações necessitam tornar-se cada vez mais eficientes, implicando no uso de efetivas ferramentas de gestão para prevenção e minimização de riscos e perdas. A utilização de indicadores de segurança como ferramenta de gestão para a indústria química e bioquímica pode contribuir para a eficiência e a segurança operacional de unidades industriais. Os indicadores de segurança de processos podem ser segmentados nos tipos *lagging*, *near miss* e *leading*. O primeiro diz respeito a indicadores reativos, baseados em histórico de acidentes e incidentes. O segundo refere-se aos “quase acidentes”, onde um evento indesejado, por determinadas circunstâncias, não tomou maiores proporções. Já o terceiro, diz respeito a indicadores proativos que permitem a identificação prévia, antes da ocorrência de um evento indesejado. Neste trabalho foi desenvolvido estudo de métricas de indicadores de segurança de três segmentos industriais: nuclear, *offshore* e petroquímica. Posteriormente estas métricas foram cruzadas, identificando diferenças e semelhanças entre elas. Um grupo de 16 Elementos Fundamentais para a composição de indicadores de segurança foi então elaborado. Ao todo foram propostos 34 indicadores: 26 Indicadores Básicos e 8 Indicadores Direcionados. Os Indicadores Básicos atendem aos 16 Elementos Fundamentais comuns a diferentes setores industriais. Já os Indicadores Direcionados foram elaborados de modo a atender particularidades da indústria de bioprocessos. Todos os indicadores propostos foram, ainda, segmentados em indicadores do tipo *lagging*, *near miss* ou *leading*. A indústria de bioprocessos apresenta muitas similaridades de instalações e produtos químicos perigosos que estão presentes na indústria química tradicional. Por essa razão, foi possível elaborar um grupo de indicadores de segurança baseados no que é praticado na indústria química tradicional, porém, alinhados com as peculiaridades das atividades de bioprocessos. É importante ressaltar que os indicadores propostos são de cunho geral, havendo a necessidade de elaboração de indicadores específicos adequados a cada unidade fabril.

# Sumário

Indicadores de Segurança como Ferramenta de Gestão para a Indústria Química e Bioquímica .....	2
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Visão Geral da Indústria Química.....	1
1.2 Visão Geral da Indústria de Bioprocessos .....	3
1.3 Motivação .....	3
1.3.1 KLETZ (1999) sobre aprendizado com acidentes passados.....	4
1.3.2 FREITAS <i>et al</i> (1995) sobre acidentes ampliados .....	4
1.3.3 HADHAZY (2009), CARVALHO E GOMES (2009) sobre o caso Exxon-Valdez.....	5
1.3.4 Estudos Recentes .....	6
1.4 Objetivos.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Segurança de Processos versus Segurança Ocupacional .....	9
2.2 Risco e Perigo .....	9
2.3 Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos .....	11
2.4 Barreiras de Segurança .....	14
2.5 Acidentes de Processo .....	15
2.6 Sistema de Gestão de Segurança.....	17
3 INDICADORES.....	19
3.1 Indicadores de Segurança Ocupacional .....	20
3.2 Indicadores de Segurança de Processos.....	25
3.2.1 Indicadores do tipo <i>lagging</i> .....	25
3.2.2 Indicadores do tipo <i>leading</i> .....	27
3.2.3 Indicadores do tipo <i>near miss</i> .....	29
3.3 Pirâmide de Segurança – Indicadores <i>Tier</i> .....	30

3.4	Indicadores de Segurança Corporativos e de Processo.....	34
4	A INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS.....	35
4.1	Etapa de <i>upstream</i> .....	35
4.2	Etapa de <i>downstream</i> .....	36
5	SEGURANÇA DE PROCESSOS NAS INDÚSTRIAS.....	38
5.1	Indicadores de segurança na indústria nuclear .....	39
5.1.1	Indicadores de Treinamento e Seleção .....	39
5.1.2	Indicadores de Manutenção e Inspeção .....	40
5.1.3	Indicadores de Avaliação de Riscos .....	40
5.1.4	Indicadores de Gestão de Mudanças.....	40
5.1.5	Indicadores de Auditorias de Segurança.....	40
5.1.6	Indicadores de Auto Avaliação da Segurança .....	41
5.1.7	Indicadores de Investigação de Eventos <i>Near-miss</i> , Incidente e Acidente.....	41
5.1.8	Indicadores de Lições Aprendidas.....	41
5.1.9	Indicadores de Preparação para Emergências.....	41
5.1.10	Indicadores de Aquisição de Bens e Serviços Compatíveis com a Segurança da Organização .....	42
5.1.11	Indicadores de Comprometimento da Liderança e Visibilidade de Líderes.....	42
5.1.12	Indicadores de Ausência de Conflito entre Segurança e Produção .....	42
5.1.13	Indicadores de Gerenciamento de Carga de Trabalho, Estresse e Fadiga.....	42
5.1.14	Indicadores de Consciência dos Processos de Trabalho e Riscos Associados.....	43
5.1.15	Indicadores de Qualidade de Procedimentos e Documentação .....	43
5.2	Indicadores de segurança para instalações de produção de óleo e gás <i>offshore</i> .....	43
5.2.1	Indicadores Reativos.....	44
5.2.2	Indicadores Proativos.....	45

5.2.3	Indicadores Proativos de Integridade Técnica .....	45
5.2.4	Indicadores Proativos de Integridade Operacional .....	46
5.3	Indicadores de Segurança para a Indústria Petroquímica .....	46
5.3.1	Indicadores Gerais .....	46
5.3.2	Indicadores de Gerenciamento de Causas de Acidentes <i>Tier 1, Tier 2</i> e Incidentes de Segurança de Processos .....	47
5.3.3	Indicadores de Gerenciamento de Mudanças (GM) .....	48
5.3.4	Indicadores de Medidas de Gerenciamento de Risco (GR).....	49
5.3.5	Indicadores de Recomendações da Seguradora.....	49
5.3.6	Indicadores de Falhas e Vazamentos .....	49
6	PROPOSTA DE INDICADORES DE SEGURANÇA DE PROCESSOS PARA A INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS .....	50
6.1	Restrições .....	50
6.2	Premissas .....	51
6.3	Metodologia de Elaboração dos Indicadores .....	52
6.4	Os 16 Elementos Fundamentais.....	53
6.5	Indicadores Básicos .....	56
6.5.1	Indicadores Básicos – <i>Lagging</i> .....	56
6.5.2	Indicadores Básicos – <i>Near Miss</i> .....	57
6.5.3	Indicadores Básicos – <i>Leading</i> .....	58
6.6	Indicadores Direcionados .....	62
7	CONCLUSÃO .....	66
	REFERÊNCIAS .....	68

## **Lista de Figuras**

Figura 1.1 Ranking mundial da venda de produtos químicos em 2012. Fonte: adaptado de <i>European Chemical Industry Facts and Figures 2013</i> .....	1
Figura 1.2 Vendas por segmento da Indústria Química na Europa. Fonte: adaptado de <i>European Chemical Industry Facts and Figures</i> .....	2
Figura 1.4 (a) Ato de pescadores em memória aos 14 anos do vazamento na Baía de Guanabara. (b) Imagem de maior repercussão na época, sobre ave agonizando no dia seguinte ao vazamento .....	7
Figura 2.1 Identificação de perigos e procedimento de avaliação de riscos.....	11
Figura 2.2 Modelo do Queijo Suíço de James Reason .....	14
Figura 2.3 Principais tipos de acidentes na indústria de hidrocarbonetos .....	16
Figura 2.4 Principais causas de acidentes na indústria química .....	16
Figura 3.1 Identificação de “incidente de segurança de processo” reportável para indicadores reativos .....	27
Figura 3.2 Aplicação de indicadores de segurança ao modelo do queijo suíço de James Reason .....	31
Figura 3.3 Pirâmide de nível ( <i>Tier</i> ) para indicadores de segurança de processos.....	32
Figura 4.1 Representação esquemática da etapa de upstream de um bioprocessamento tradicional.	36

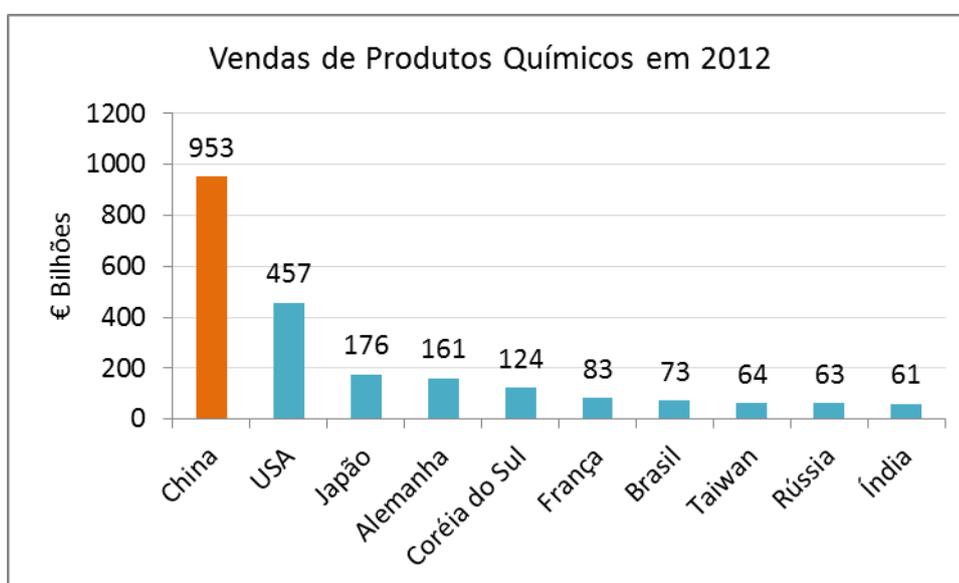
## **Lista de Tabelas**

Tabela 2.1 Matriz de Risco .....	12
Tabela 2.2 Referências de probabilidade, severidade e risco.....	13
Tabela 6.1 Agrupamento dos indicadores de segurança comuns aos estudos para indústria nuclear, <i>offshore</i> e petroquímica.....	55
Tabela 6.2 Atendimento dos indicadores básicos <i>lagging</i> aos 16 elementos levantados .....	57
Tabela 6.3 Atendimento dos indicadores básicos <i>near miss</i> aos 16 elementos levantados. ....	58
Tabela 6.4 Atendimento dos indicadores básicos <i>leading</i> aos 16 elementos levantados.....	60
Tabela 6.5 Grupos de Risco para micro-organismos .....	62

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Visão Geral da Indústria Química

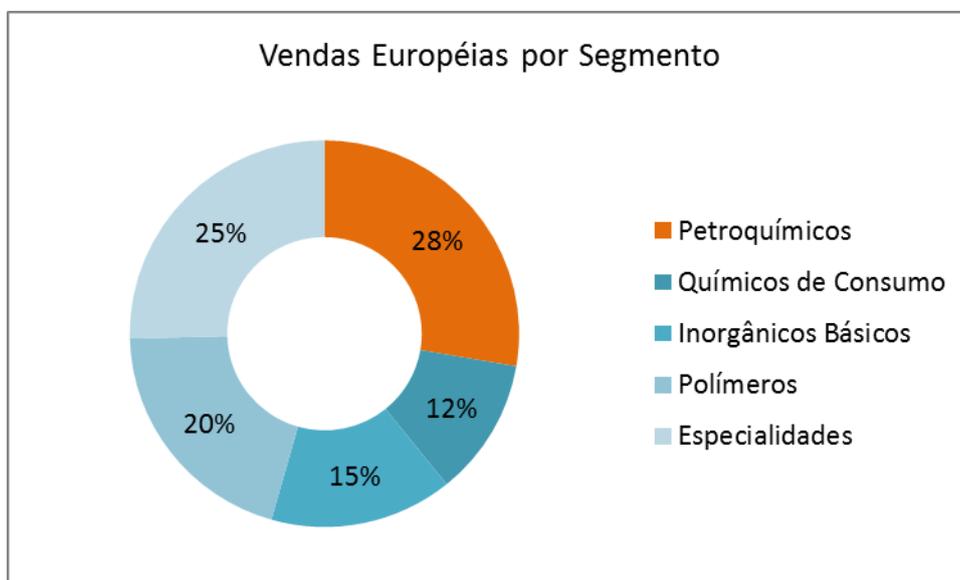
A Indústria Química é um dos setores de maior importância econômica no cenário mundial, tendo grande impacto e contribuição para a economia brasileira. Em 2012, o Brasil se encontrava em 7º lugar no ranking de vendas do setor químico, atualmente liderado pela China, com cerca de 44% do *market share*, conforme observado na Figura 1.1 (CEFIC, 2013).



**Figura 1.1** Ranking mundial da venda de produtos químicos em 2012. Fonte: adaptado de *European Chemical Industry Facts and Figures 2013*, (CEFIC, 2013)

A indústria química pode ser dividida, segundo classificação do *European Chemical Industry Facts and Figures*, em três setores principais: químicos básicos, especialidades químicas, e químicos de consumo. As especialidades químicas compreendem produtos auxiliares para as diversas indústrias e apresentam relativamente baixo volume de produção, como tintas, impermeabilizantes e pigmentos. Os químicos para consumo dizem respeito aos produtos que são vendidos diretamente ao consumidor, como detergentes, cosméticos, perfumes, entre outros. Já os químicos básicos são produtos de larga escala de produção que compreendem os petroquímicos e seus derivados, correspondendo a maior porcentagem de vendas dos produtos do setor

químico. Em 2012 os petroquímicos foram responsáveis por 28% das vendas do setor na Europa, conforme Figura 1.2 (CEFIC, 2013).



**Figura 1.2 Vendas por segmento da Indústria Química na Europa. Fonte: adaptado de *European Chemical Industry Facts and Figures* (CEFIC, 2013)**

Sendo assim, a Petroquímica apresenta, no momento, elevada importância econômica mundial.

O cenário do setor petroquímico mundial atualmente, segundo a Braskem, é de reestruturação, caracterizado por uma busca constante pela competitividade de custos, criação de novos complexos, expansão de complexos existentes, aquisições e fusões, bem como a disponibilidade e variabilidade de matéria-prima, trazendo soluções competitivas e inovadoras que garantam a sustentabilidade dos negócios (BRASKEM, 2014a) (BRASKEM, 2014b).

Com esse panorama, o desenvolvimento de novas rotas de crescimento através do uso de matérias-primas de fontes renováveis ganha espaço. Em setembro de 2010, por exemplo, a Braskem inaugurou no Rio Grande do Sul a sua primeira planta de Polietileno Verde, que produz eteno a partir de cana-de-açúcar. Esta planta apresenta capacidade nominal de 200 mil toneladas/ano (BRASKEM, 2014b).

A visão de que a petroquímica, afinal, continua a apresentar perspectivas de crescimento, se reflete no desenvolvimento e nas reestruturações que estão ocorrendo no

setor. Como consequência natural desse cenário, há uma tendência de crescimento acelerado no transporte, movimentação e transformação de produtos químicos perigosos. A necessidade de efetivas ferramentas de gestão para prevenção e minimização de riscos e perdas passa a ser cada vez mais inerente aos processos. Com isso, torna-se mais eficiente o controle e redução de impactos a pessoas, meio ambiente e segurança das instalações.

## **1.2 Visão Geral da Indústria de Bioprocessos**

O mercado global da biotecnologia gerou, no ano de 2006, uma receita de US\$ 156,7 bilhões, contra US\$ 92,9 em 2002 (ABDI e CGEE, 2008). Evidencia-se, assim, o crescimento da área no cenário mundial.

O Brasil é um país com grande potencial para desenvolvimento da biotecnologia. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) o país carece ainda de indicadores significativos no que se refere à incorporação desse tipo de conhecimento em produtos e processos na escala industrial. Os EUA, por exemplo, devido ao elevado apoio financeiro em pesquisa em desenvolvimento, apresentam uma maior tendência em associar a pesquisa científica à indústria (ABDI e CGEE, 2008).

O foco em indústrias de bioprocessos no Brasil surgiu em 2004 com a criação do Fórum de Competitividade em Biotecnologia. Melhores estratégias para uma política industrial voltada a esta área foram então identificadas. As empresas brasileiras que se consolidaram no setor atuam principalmente na área de agricultura, mas vêm demonstrando forte crescimento no setor de saúde humana. Outras categorias envolvem saúde animal, meio ambiente, bioenergia, entre outros (ABDI e CGEE, 2008).

## **1.3 Motivação**

A adoção de tecnologias que fazem uso de material biologicamente ativo, ou de fontes renováveis em substituição à fontes de fósseis, são uma forma de “esverdeamento” da química. A importância desse “esverdeamento” é a evolução da indústria química no que diz respeito à oferta de produtos e processos ambientalmente

mais sustentáveis. Nesse sentido, muitas empresas já ampliaram seu portfólio de produtos com alternativas mais ecológicas, como a Basf, DuPont, Dow, Bayer e Braskem. Embora apresentem soluções mais “verdes”, do ponto de vista da segurança, todos esses processos são passíveis à ocorrência de acidentes.

Existem diversas razões que podem justificar a ocorrência de acidentes ou incidentes em uma indústria. Frequentemente, acidentes e incidentes industriais estão relacionados, por exemplo, a precariedades na gestão de segurança (PETRO&QUÍMICA, 2009). A quantidade de fatalidades e os danos ambientais provocados, sejam decorrentes de grandes catástrofes ou de recorrentes incidentes de menor porte, têm sido objeto de preocupação e tema recorrente em diversos estudos, tais como são apresentados a seguir.

### **1.3.1 KLETZ (1999) sobre aprendizado com acidentes passados**

Segundo Trevor Kletz, a maioria dos acidentes guarda similaridades, e, para prevenir eventos futuros, é necessário conhecer o que ocorreu no passado. Em suas obras, diversos acidentes ocorridos e as lições aprendidas são detalhadas. Em “*What Went Wrong?: Case Histories of Process Plant Disasters and How They Could Have Been Avoided*” é possível encontrar eventos relacionados a: falhas de preparação de equipamentos para manutenção, identificação incorreta de tubulações e válvulas, falhas na contenção de materiais perigosos, não cumprimento de procedimentos estabelecidos, entre outros (KLETZ, 1999).

Poucos são os incidentes que ocorrem devido a uma única falha repentina em um componente do sistema. A maioria é resultado de inúmeros fatores contribuintes.

### **1.3.2 FREITAS *et al* (1995) sobre acidentes ampliados**

De acordo com a Organização Internacional do trabalho, OIT-174 de 1993, “acidentes ampliados”, ou “acidentes maiores”, são aqueles que envolvem eventos de grande magnitude, como emissão, incêndio ou explosão, envolvendo uma ou mais

substâncias perigosas. Acidentes ampliados implicam em perigo imediato ou retardado para trabalhadores, população externa e/ou meio ambiente (OIT-174, 1993).

Os acidentes ampliados podem provocar uma série de danos em um único evento. São eventos com potencial de provocar efeitos além das fronteiras da instalação industrial (FREITAS *et al*, 1995). Embora sejam conhecidos por suas consequências sobre populações circunvizinhas, estudos revelam que os trabalhadores são as principais vítimas fatais, 94%, enquanto a população no entorno representa o maior percentual de vítimas não-fatais, 56,2% (FREITAS *et al*, 1995 apud DROGARIS,1991).

Em termos ambientais podem ser citados alguns acidentes ampliados com consequências consideráveis. O combate ao incêndio, em 1986, na fábrica da Sandoz, na Suíça, provocou o lançamento de 10 a 30 toneladas de água contaminada no rio Reno. O resultado foi a grande mortandade de peixes numa extensão de 250km, expondo ainda milhões de habitantes ao consumo de água contaminada (FREITAS *et al*, 1995).

No acidente de 1976 na fábrica da Union Carbide, em Bhopal, na Índia, houve a liberação de uma nuvem tóxica contendo grande quantidade de dioxina, considerada cancerígena. Dias após a emissão foram observados danos à vegetação, pássaros e animais domésticos. Lesões cáusticas e inflamações nas partes não cobertas do corpo foram observadas principalmente em crianças. Efeitos crônicos puderam ser evidenciados anos após o acidente (FREITAS *et al*,1995).

### **1.3.3 HADHAZY (2009), CARVALHO E GOMES (2009) sobre o caso**

#### **Exxon-Valdez**

Mensurado como um dos 30 maiores vazamentos de óleo do mundo, o acidente da Exxon-Valdez ocorreu em 1989, no Alasca, EUA, e tornou-se uma referência em termos de análise e discussão crítica de acidentes industriais (CARVALHO e GOMES, 2009 apud NEVES, 2002). Na ocasião, 37,85 milhões de litros de óleo foram derramados, atingindo uma área de 7km e gerando uma despesa de US\$ 5 bilhões de dólares em multas, indenizações e termos de acerto de conduta (TAC), somente até 1999 (CARVALHO e GOMES, 2009).

O dano ambiental provocado pelo evento envolveu a morte de cerca de 250 mil aves, além de baleias e lontras. Ainda hoje há óleo remanescente (HADHAZY, 2009).

O evento e seus desdobramentos foram determinantes para a formação da opinião pública, impactando diretamente na imagem da empresa. O caso impulsionou diversas ações quanto ao melhoramento de navios, capacitação de equipes, comunicação operacional e empresarial, sistematização de processos de crise e percepção de risco (CARVALHO e GOMES, 2009).

### **1.3.4 Estudos Recentes**

Na indústria química e petroquímica, há um vasto histórico de acidentes que levaram a grandes impactos ambientais e morte de inúmeras pessoas. Além dos mencionados anteriormente, os eventos de Flixborough na Inglaterra em 1974, Seveso na Itália em 1976 e Cidade do México em 1984 são alguns exemplos de acidentes que extrapolaram as dimensões das plantas, com efeito de médio e longo prazo sobre a população e o meio ambiente (CETESB, 2014).

No incidente da Deepwater Horizon, plataforma da Transocean operada pela BP (*British Petroleum*), em abril de 2010, houve a explosão de uma das torres de sustentação da plataforma petrolífera, provocando seu afundamento e derramamento de 3,26 milhões de barris de petróleo no mar do Golfo do México (BP, 2014). O vazamento só pôde ser contido meses depois. Para enfrentar suas consequências, a empresa precisou reservar US\$ 40 bilhões de dólares (EXAME, 2011). Os prejuízos de perda de material puderam ser estimados em US\$ 32 bilhões (BARBOSA, 2011).

O Brasil não se encontra livre de grandes eventos acidentais. Em 2000, o país enfrentou dois grandes desastres ambientais provocados pela atividade humana. O primeiro deles, em janeiro de 2000, foi o vazamento de 1,3 milhões de litros de óleo na Baía de Guanabara. O motivo foi o rompimento de um duto que ligava a refinaria Reduc, operada pela Petrobrás, a um terminal na Ilha do Governador. O evento afetou seriamente a vida dos pescadores e da fauna local, como é possível observar na Figura 1.4 (ORTIZ, 2014 e NATURE, 2013).



**Figura 1.3 (a) Ato de pescadores em memória aos 14 anos do vazamento na Baía de Guanabara. Fonte: ORTIZ, 2014. (b) Imagem de maior repercussão na época, sobre ave agonizando no dia seguinte ao vazamento. Fonte: O Globo, Foto: Domingos Peixoto**

O segundo evento diz respeito ao vazamento de óleo da Refinaria Repar, operada pela Petrobras, em Araucária. Na ocasião, o óleo vazado chegou aos rios Barigui e Iguaçú, comprometendo a qualidade das águas, a fauna e a flora do local. Uma superfície total de 17,70 hectares foi contaminada. (MELO *et al*, 2003).

A justiça do Paraná condenou a empresa a pagar R\$610 milhões de reais por danos ambientais causados e ainda US\$ 775 mil dólares por contaminação do solo e do ar. (EXAME, 2013).

Além dos danos e multas iniciais, o prejuízo na imagem da empresa envolvida em eventos acidentais é de grande importância no que diz respeito às consequências de acidentes industriais. No ano de 2000, a Petrobras enfrentou uma queda de 6% em seu *market share*, após 3 anos de estabilidade. Essa queda pode ser um indicativo de dano à reputação da empresa (LEEuwEN e TULDER, 2005).

Felizmente, os acidentes industriais permitem aprendizado e aperfeiçoamento do gerenciamento da segurança de processos. Assim, contribuem para a análise e classificação dos riscos, evitando novos eventos.

## 1.4 Objetivos

A presente dissertação possui o objetivo de propor indicadores gerais de segurança para a indústria de bioprocessos.

A proposta de indicadores foi baseada em três referências principais. A primeira delas é a dissertação de mestrado de Monteiro (2012), que trata do desenvolvimento de indicadores gerais para a indústria nuclear. A segunda, dissertação de mestrado de

Cabete (2014), que apresenta uma proposta de indicadores de segurança de processos para instalações de produção de óleo e gás *offshore*. A terceira referência é o conjunto de indicadores de segurança utilizado pela unidade de petroquímicos básicos da Braskem localizada em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, que foi obtido por meio de entrevistas à equipe de segurança de processos da instalação.

Toda proposta foi elaborada de maneira alinhada com as peculiaridades dos bioprocessos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Segurança de Processos versus Segurança Ocupacional**

A segurança na indústria de processos pode ser dividida em duas categorias: Segurança Ocupacional e Segurança de Processos (DINIZ, 2010 apud OLIVEIRA, 2007). A primeira diz respeito a questões relacionadas a “acidentes de trabalho”, definido, segundo a lei 8.213 de 1991 como *“o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que causa a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho”* (Lei 8.213:1991). Deste modo, caracterizam-se como acidente de trabalho os acidentes do tipo: queda de altura, choque elétrico, atropelamento, entre outros.

O conceito legal de acidente de trabalho envolve morte ou lesão do trabalhador, sendo menos amplo que o conceito prevencionista de acidente. Segundo Heinrich (s.d.), o acidente de trabalho sobre o conceito prevencionista é aquele no qual há “uma ocorrência não programada, inesperada ou não, que interrompe ou interfere no processo normal de uma atividade. Ocasionalmente perda de tempo útil e/ou lesões nos trabalhadores e danos materiais”. Acidentes do ponto de vista prevencionista não são contabilizados nas estatísticas de acidentes de trabalho.

Por outro lado, a Segurança de Processos está relacionada a questão do acidente decorrente de falhas na integridade de equipamentos de processo (DINIZ, 2010). Ou seja, não necessariamente envolvem a lesão ou a morte de trabalhadores.

### **2.2 Risco e Perigo**

No contexto da segurança torna-se importante a diferenciação entre termos como “risco” e “perigo”. O termo “risco” tornou-se bastante popular e é utilizado em variados sentidos. Existem os riscos de investimento, riscos sociais, risco ambientais, riscos de operação, entre outros. A noção de risco envolve a existência de uma incerteza

associada a um grau de perda ou dano, podendo ser simbolicamente definida como a equação 2.1 (KAPLAN e GARRICK, 1981):

$$Risco = Incerteza + Dano \quad Eq. 2.1$$

O risco, portanto, está associado a uma frequência de ocorrência e à severidade do cenário accidental. O perigo, por sua vez, é intrínseco ao agente ou à condição.

De acordo com a OHSAS 18001 (2007), sigla para *Occupational Health and Safety Assessment Services*, o perigo pode ser definido como a fonte, situação ou ato com potencial para provocar dano ou lesão. Ou seja, o risco inclui a probabilidade de conversão da fonte de perigo em alguma forma real de dano.

Uma analogia pode aqui ser feita: produtos químicos representam um perigo e, a título de exemplo, será tomado o ácido sulfúrico 98%. Caso o indivíduo não manuseie o produto com equipamentos adequados, estará se expondo a um elevado risco de queimaduras, irritação do trato respiratório, entre outras lesões. Ao fazer uso de equipamentos de segurança como óculos, luvas e jaleco, o indivíduo reduz a exposição, logo também o risco desses danos pessoais.

No exemplo adotado menciona-se o uso de um acessório como proteção ao perigo, resultando em redução do risco, ou seja, a adoção de uma salvaguarda. Segundo Kaplan e Garrick (1981), o risco pode ser reduzido ao aumentar as salvaguardas, porém, por uma questão de princípio, nunca poderá ser levado a zero, o que pode ser traduzido conforme a equação 2.2 (KAPLAN e GARRICK, 1981):

$$Risco = \frac{Perigo}{Salvaguardas} \quad Eq. 2.2$$

Outra definição largamente utilizada é a de que o risco é uma função da frequência e da severidade. A frequência diz respeito à chance de ocorrência de um evento perigoso ou exposição. A severidade diz respeito à gravidade do dano ou, tratando-se de pessoas, da lesão, causado pelo evento (OHSAS 18001, 2007):

$$\text{Risco} = \text{Frequência} \times \text{Severidade}$$

Eq. 2.3

## 2.3 Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos

Uma visão geral da identificação de perigos e avaliação dos riscos é apresentada na Figura 2.1. A correta avaliação dos riscos é prerrogativa básica para a implantação e operação de um processo em geral.

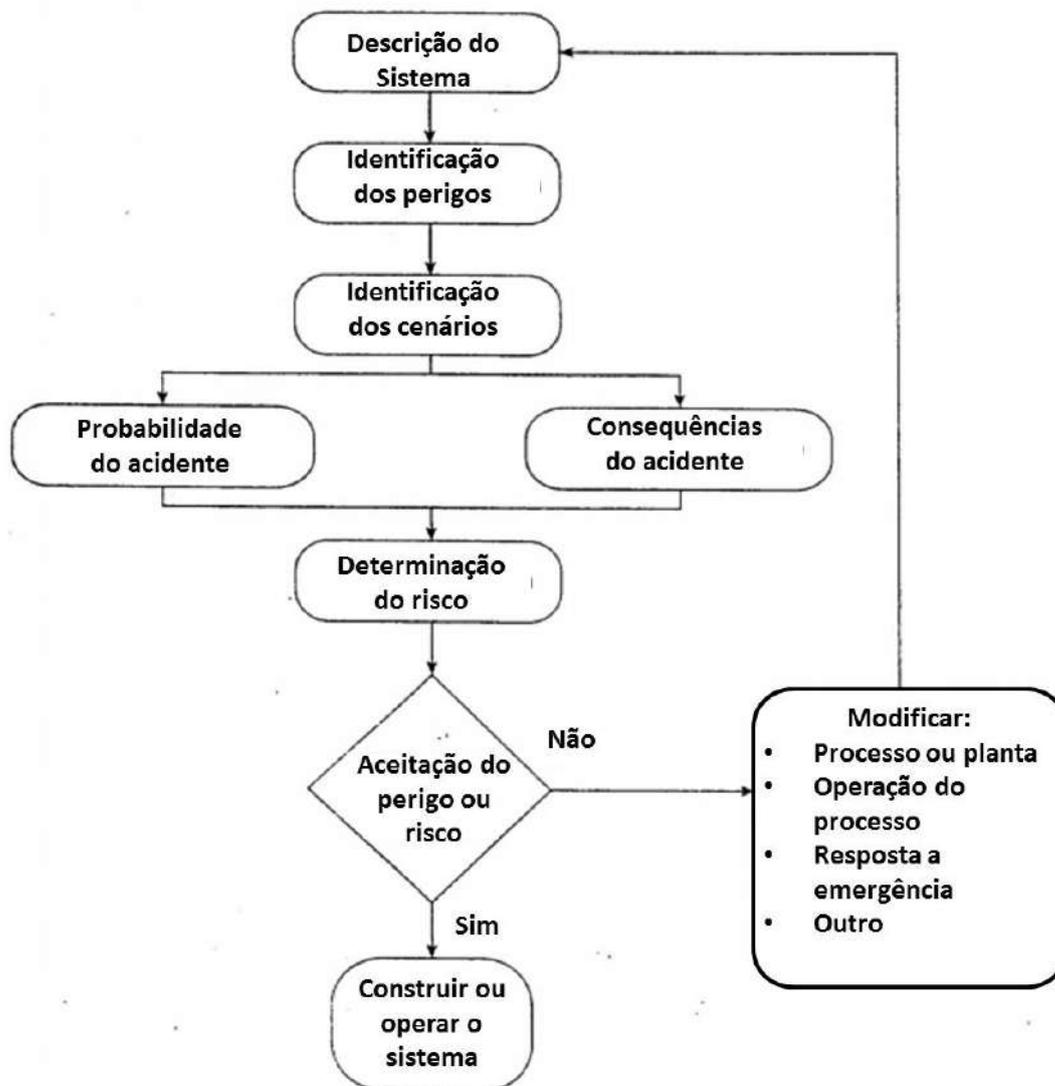


Figura 2.1 Identificação de perigos e procedimento de avaliação de riscos. Fonte: adaptado de CROWL e LOUVAR, 2002

A análise de risco inicia-se com a perfeita compreensão e descrição do sistema a ser implantado. O nível de detalhamento da análise dependerá da complexidade da instalação e dos objetivos a serem alcançados. (AMORIM, [s.d.]

A partir do detalhamento do sistema em questão, torna-se possível a identificação dos perigos inerentes, tais como presença de materiais combustíveis, inflamáveis, tóxicos, radioativos, elevadas pressões, etc. Em seguida são desenvolvidos os cenários, como pequeno, médio ou grande vazamento de líquido inflamável, formação de nuvem tóxica ou inflamável, derramamento em áreas circunvizinhas, entre outros. É importante desenvolver os piores cenários, desde que eles sejam críveis.

Na esfera de projetos a análise de risco é uma ferramenta de grande importância. A falta de clareza quanto a especificações poderá levar a uma necessidade de retrabalho, impactando em atraso (DINIZ, 2004). A partir dos cenários identificados, a priorização dos riscos deve então ser estabelecida, ou seja, probabilidades e severidades devem ser determinadas. O resultado poderá ser traduzido em uma matriz de riscos, exemplificada na Tabela 2.1. A escala utilizada para a probabilidade, severidade e risco encontra-se na Tabela 2.2.

**Tabela 2.1 Matriz de Risco. Adaptada de DINIZ, 2004**

		Severidade				
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Probabilidade	0,10	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	0,25	0,25	0,5	0,75	1	1,25
	0,50	0,5	1	1,5	2	2,5
	0,75	0,75	1,5	2,25	3	3,75
	0,95	0,95	1,9	2,85	3,8	4,75

**Tabela 2.2 Referências de probabilidade, severidade e risco. Adaptado de DINIZ, 2004**

Probabilidade		Severidade	
0,10	Pouquíssima chance de ocorrer	1,0	Baixíssima
0,25	Baixa chance de ocorrer	2,0	Baixa
0,50	Igual chance de ocorrer ou não	3,0	Moderada
0,75	Alta chance de ocorrer	4,0	Alta chance de ocorrer
0,95	Altíssima chance de ocorrer	5,0	Altíssima
Risco			
0 - 0,5: Baixo Risco		0,6 - 1,5: Moderado Risco	
		1,6 - 4,5: Alto Risco	

A criticidade dos cenários poderá, assim, ser facilmente avaliada e os riscos devidamente classificados. A classificação permitirá determinar a aceitabilidade do risco. Caso aceitável, deve-se prosseguir com a construção ou operação do sistema. Caso não aceitável, modificações devem ser introduzidas de modo a atingir grau de risco aceitável.

Análises de viabilidade usando metodologias semelhantes à Matriz de Risco são comuns em diversas áreas do conhecimento.

Para a operação de vias e transportes de passageiros, por exemplo, o Ministério do Transporte faz uso da matriz para determinação de viabilidade ambiental. O estudo é realizado a partir da classificação dos riscos potenciais e respectivas medidas de controle e prevenção (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2012).

Trapp e Corrar (2005) mencionam a aplicação da matriz relacionada ao gerenciamento do risco operacional em uma instituição financeira nacional de grande porte. Com auxílio de outras ferramentas, determina-se o grau de maturidade no gerenciamento do risco da instituição.

Direcionada ao desenvolvimento de novos programas computacionais, a equipe da *Air Force Electronic System Center* desenvolveu um *software* de matriz de risco. O objetivo foi desenvolver uma metodologia para avaliar os potenciais impactos de risco na confecção dos novos programas (GARVEY e LANSLOWNE, 1998).

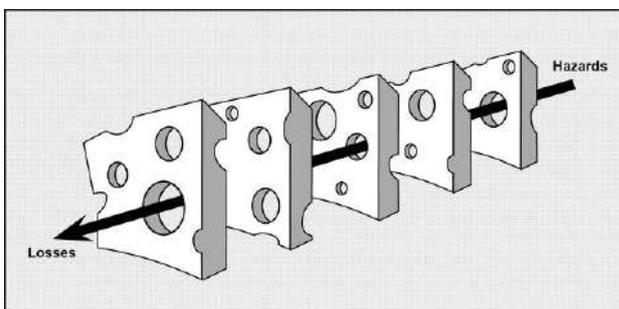
Ohlweiler (s.d.) cita o uso da matriz de risco para determinar mecanismos de danos preferenciais em uma unidade industrial de olefinas. Permite assim focar atividades de inspeção e manutenção, alocando recursos em equipamentos de mais alto risco (OHLWEILER, [s.d.]).

O risco ergonômico no espaço de trabalho pôde ser avaliado a partir de uma matriz de risco no estudo de Barrera (s.d.). Pontuando-se os postos de trabalho, o grau do desconforto e a frequência de ocorrência, é possível elaborar um plano de ação para melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores no ambiente de trabalho. Em um processo de reanálise após implantação das ações, verifica-se redução nos riscos associados (BARRERA, [s.d.]).

É importante verificar que, invariavelmente a todas as aplicações possíveis de matrizes de risco, os cenários avaliados devem ser classificados de maneira coerente e crível. Isso se deve ao fato de que análises de risco baseadas em cenários extraordinariamente críticos podem encarecer ou até inviabilizar projetos. Podem ainda influenciar erroneamente na elaboração de planos de ação e melhoria.

## 2.4 Barreiras de Segurança

A dinâmica de ocorrência de diversos acidentes de processo pode ser ilustrada pelo modelo do queijo suíço de Reason (2008) exibido na Figura 2.2. Neste modelo, as fatias de queijo representam as várias barreiras de defesa ou proteção. Essas, por sua vez, possuem falhas representadas pelos “buracos”. A barreira, portanto, é o que separa o evento indesejável dos perigos que o originam. Quando as falhas de barreira encontram um alinhamento, uma trajetória pode ser traçada, ultrapassando todas as “fatias” e levando, conseqüentemente, à ocorrência de um acidente (REASON, 2008).



**Figura 2.2 Modelo do Queijo Suíço de Reason (2008)**

Acidentes possuem múltiplas causas e envolvem muitos indivíduos que operam em diferentes níveis de uma organização (CASA, 2012 apud REASON, 1997). Pela

teoria de James Reason, nenhuma barreira de segurança é perfeita. Porém, a segurança pode ser melhorada com alteração e melhoria nas condições de trabalho. Isso é conseguido ao melhorar o sistema de defesa para contenção dos perigos, introduzindo-se salvaguardas (RIGHI, s.d. apud REASON, 1997).

As salvaguardas dizem respeito a barreiras ou proteções introduzidas em um sistema. Barreiras são quaisquer dispositivos, sistemas ou ações com potencial para prevenir ou mitigar a ocorrência de eventos indesejados (PIRES, 2012). Quando necessário, podem ser utilizadas redundâncias para prover alternativas no caso de falha de um ou mais elementos do sistema, aumentando-se assim a confiabilidade.

## 2.5 Acidentes de Processo

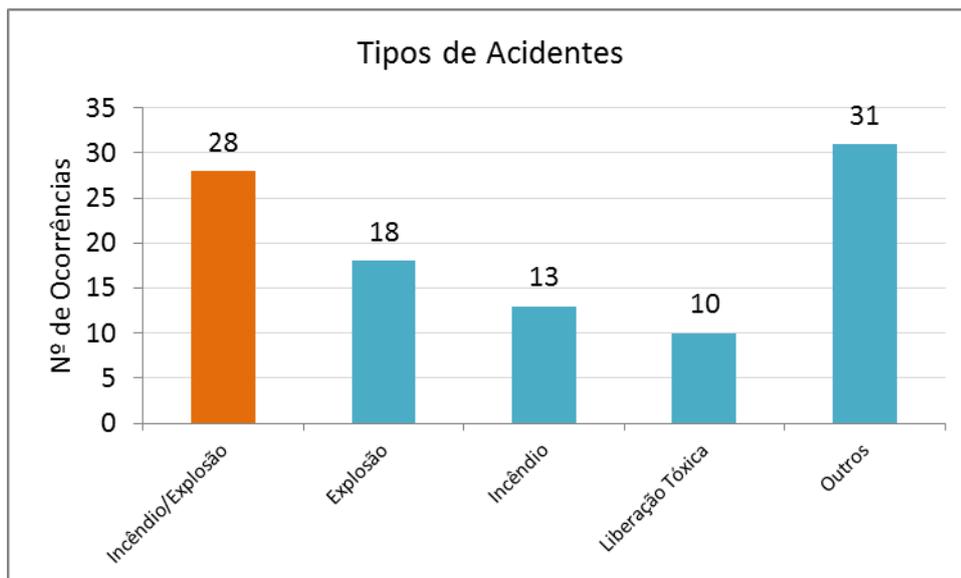
No que diz respeito ao histórico de acidentes relacionados à Indústria Química, é possível destacar certo padrão, sendo incêndios, explosões e liberações tóxicas os tipos de acidentes mais comuns (CROWL e LOUVAR, 2002).

É observado a partir do histórico de acidentes relacionado à indústria química que, muitas vezes, mais de um evento<sup>1</sup> indesejado pode ocorrer em sequência, ou seja, como consequência do evento inicial. Na Figura 2.3 estão evidenciados os principais tipos de acidentes, isolados ou conjuntos, dos 100 maiores acidentes em termos de perdas materiais na indústria de hidrocarbonetos entre os anos de 1972 a 2011. Estes eventos representaram um montante de perdas de cerca de US\$ 33 bilhões de dólares, sem incluir custo de interrupção da atividade, despesas extras, danos a funcionários, fatalidades ou futuras indenizações (MARSH, 2012).

É possível notar que incêndios seguidos de explosão são os principais tipos de acidente observados. Na categoria “outros” estão inclusos acidentes relacionados a vazamentos, *blowout* e causas naturais, como terremotos e furacões.

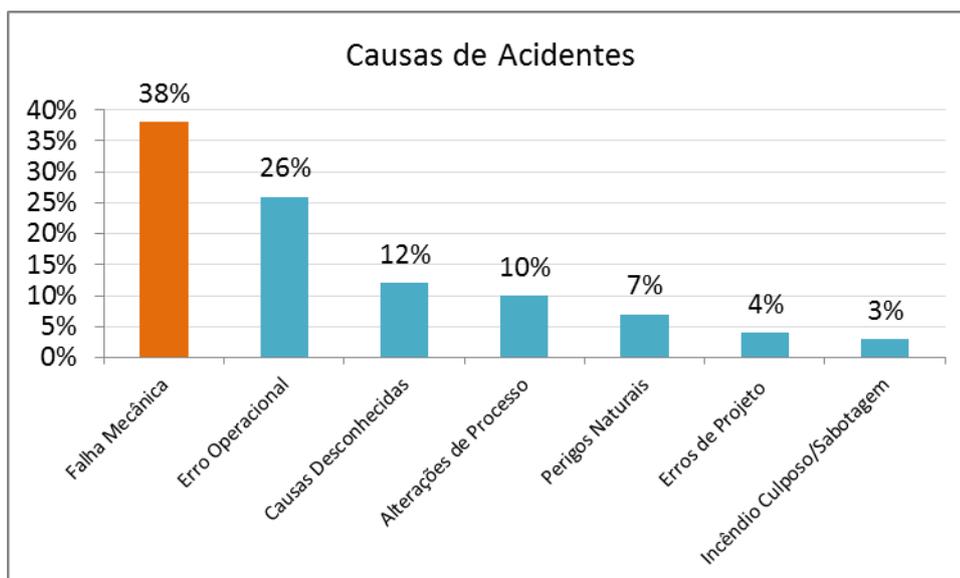
---

<sup>1</sup> Entende-se por “evento” uma ocorrência não rotineira, com potencial de provocar impacto prejudicial à segurança.



**Figura 2.3 Principais tipos de acidentes na indústria de hidrocarbonetos. Fonte: adaptado de *The 100 Largest Losses* (MARSH, 2012)**

As causas relacionadas aos acidentes estão ligadas a diversos fatores, sejam eles isolados ou em conjunto. Segundo Rovaglio e Scheele (2010), falhas mecânicas, decorrentes de manutenção incipiente, são as causas mais comuns, seguidas por erros operacionais, conforme Figura 2.4.



**Figura 2.4 Principais causas de acidentes na indústria química. Fonte: adaptado de ROVAGLIO, 2010 apud J & H MARSH & MCLENNAN INC., 1998**

Não apenas evitar, mas reduzir a gravidade de um acidente é fator fundamental para a segurança de processos, contribuindo com a evolução das organizações, em termos sociais, financeiros, etc. No sentido de se desenvolver ferramentas capazes de mensurar e gerir a segurança de processo nas unidades industriais, foram elaborados diversos métodos de gerenciamento ao longo dos anos, compondo o que hoje é chamado de Gestão da Segurança (CARVALHO, 2009).

## **2.6 Sistema de Gestão de Segurança**

Garantir a segurança envolve estabelecer sistemáticas de processo para avaliação e registro da performance de segurança de uma organização (CASA, 2012). O Gerenciamento da Segurança diz respeito a medidas organizacionais aplicadas para garantir que um nível aceitável de segurança seja mantido durante a existência de uma instalação (NEA, 2006). Para tanto, torna-se necessário o desenvolvimento de uma política de segurança e a elaboração de procedimentos que sejam bem estabelecidos e compreendidos por todos os integrantes da organização, se refletindo por fim no conceito de Sistema de Gestão de Segurança (NEA, 2006), conforme a definição:

“O Sistema de Gestão de Segurança (SGS) compreende os arranjos realizados pela organização direcionados à gestão da segurança, com a finalidade de promover uma cultura sólida e atingir uma boa performance neste quesito.” (NEA, 2006 apud INSAG-13, 1999)

O SGS deve ser estruturado, portanto, a partir de uma filosofia de gestão, que esteja alinhada com os princípios e valores da organização, onde a segurança será o seu primeiro critério de decisão (NEA, 2006). Deve ser desenvolvido, dessa maneira, um comprometimento de todas as partes que compõem a organização, desde a alta diretoria a operadores e terceiros. Feito isso, uma estratégia deve ser desenvolvida de modo a incorporar os valores de segurança no dia a dia da organização (NEA, 2006).

Duas componentes chaves devem compor o SGS: a comunicação através e entre os níveis organizacionais da corporação, e o monitoramento. Estes componentes devem garantir que a gestão está sendo realizada de forma eficaz, promovendo a identificação de pontos de melhoria. Um dos muitos benefícios de se ter um sistema de

monitoramento eficaz, é o de identificar fraquezas e mudanças necessárias antes da ocorrência de um problema, prevenindo custos e acidentes de maior porte (NEA, 2006 e HSG254, 2006).

### 3 INDICADORES

Falhas envolvendo segurança de processos podem resultar em severos danos a pessoas, meio ambiente e propriedade. O mapeamento e registro de acidentes de maior porte e uma cuidadosa análise das suas causas raízes pode prover importantes lições para evitar a recorrência desses eventos (OGP, 2011).

Uma ferramenta indispensável para o monitoramento da segurança em geral e para a segurança de processos, é o uso de indicadores. Estes são capazes de gerar uma série de dados relevantes e, conseqüentemente, informações que podem contribuir para ações preventivas e corretivas (OGP, 2011). Uma citação atribuída a Peter Drunker, mas que nunca foi de fato escrita em nenhum de seus livros, explora a importância dessa geração de dados:

*“It is not possible to manage what you cannot control and you cannot control what you cannot measure!”* (Tradução livre: Não é possível gerenciar o que você não pode controlar e você não pode controlar o que não pode ser medido.)

Atribuído a Peter Dunker

Diversas definições para indicadores podem ser observadas na literatura.

Segundo Coelho (2004), indicadores são parâmetros qualitativos e quantitativos para detalhar em que medida os objetivos de um projeto estão sendo alcançados, dentro de um prazo de tempo e de uma localidade específica. São marcas e sinalizadores que traduzem a realidade sob forma prática.

Para Callado *et al* (2007), os indicadores são instrumentos capazes de auxiliar na definição do planejamento estratégico e na conseqüente determinação das estratégias empresariais.

Já para Helou e Otani (2007), indicadores podem comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta, como o desenvolvimento sustentável. Mas podem ainda ser entendidos como um recurso para deixar perceptível uma tendência ou um fenômeno que não seja imediatamente detectável.

De acordo com Ambrósio e Leite (2008), os indicadores devem ser capazes de quantificar e acompanhar processos, eliminando a subjetividade e facilitando a tomada de decisões.

Para Peres e Lima (2008), indicadores são guias que permitem medir a eficácia das ações tomadas, bem como medir os desvios entre o programado e o realizado.

Do mesmo modo que Coelho (2004), Balbi *et al* (2014), consideram que indicadores são ferramentas para avaliar o desempenho tanto quantitativamente quanto qualitativamente. São de fundamental importância para a tomada de decisões e identificação dos pontos de melhoria. Possuem a função de, além de monitorar a eficiência da sistemática adotada pela organização, servir como um parâmetro de comparação entre outras unidades de negócios.

A partir dessas diversas definições é possível reunir algumas características que devem ser apresentadas pelos indicadores em geral:

- Refletir os objetivos da organização;
- Possuir significância para a avaliação do objeto em questão;
- Ser válido, objetivo e consistente;
- Ser coerente e sensível a mudanças ao longo do tempo;
- Ser baseado em informações claras e de fácil acesso;
- Possuir interação com outros indicadores do sistema;
- Ser econômico em sua medição;

### **3.1 Indicadores de Segurança Ocupacional**

Os indicadores deste tipo permitem avaliar a segurança ocupacional em determinado momento, bem como sua evolução dentro da organização ao longo do tempo. Contribuem ainda para a sensibilização da problemática da segurança em todos os níveis, na medida que são informações sucintas e de fácil entendimento. Propiciam ainda, de forma clara, um entendimento sobre o rendimento dos esforços e investimentos na área (PC, [s.d.]).

A medição do desempenho em segurança do trabalho deve ser feita sempre de acordo com o porte e a natureza da atividade da organização (ILO-OSH, 2001).

Alguns indicadores ocupacionais comumente usados, e que podem apresentar diferentes nomenclaturas, dizem respeito a: doenças e incidentes relacionados ao trabalho, sejam eles com ou sem afastamento; lesões; impactos na saúde resultante de exposição a agente de risco; faltas acumuladas por motivo de doença; horas de produção perdidas devido a acidente, entre outros (ILO-OSH, 2001).

No Brasil um indicador de grande importância, utilizado pelo Ministério da Previdência Social, é o Fator Acidentário de Prevenção (FAP). Segundo a Receita Federal, ele reflete a aferição da acidentalidade nas empresas. Este indicador permite a flexibilização da tributação coletiva de Riscos Ambientais de Trabalho (RAT). O RAT é uma contribuição paga pelas organizações com base no risco da atividade econômica, e pode ser reduzido ou aumentado de acordo com o desempenho de cada organização (RECEITA FEDERAL, 2014).

Como uma forma de melhorar a ação das empresas sobre as questões relacionadas a segurança no ambiente de trabalho, o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) passou, desde 2007, a abrir ações contra companhias com altas taxas de acidentes. O objetivo da medida foi reivindicar os gastos com benefícios acidentários. A cobrança do ressarcimento é respaldada pela lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991, que afirma que determinadas exigências devem ser cumpridas pela empresa, no que diz respeito a segurança do trabalho, de modo a não serem convocadas a pagar o auxílio-acidente (GAZETA, 2012).

O INSS acredita que, com a medida de ações regressivas, mais acidentes de trabalho ou casos de doença ocupacional podem ser prevenidos. De todos os processos abertos até 2012, 70% foram favoráveis a Previdência Social. (GAZETA, 2012).

No Brasil, existem normas que são de cumprimento obrigatório para todas as empresas que possuem empregados com carteira assinada. Atualmente existem mais de 30 Normas Regulamentadoras (NRs) em vigor, emitidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, relativas a segurança e medicina do trabalho. Porém, outras normas e leis podem ser utilizadas como base para a elaboração de indicadores de segurança. Essas normas se utilizam de índices de frequência e severidade relacionados a lesões, horas homem trabalhadas, dias perdidos devido a lesão, número de trabalhadores, entre outros.

Algumas normas largamente adotadas pela indústria brasileira foram elaboradas pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), órgão americano para normatização em assuntos de segurança do trabalho. Isso se deve ao fato da sua abrangência, rigor e enfoque gerencial, englobando, inclusive, questões relacionadas a segurança de processos (PASSOS e CARVALHO, 2012).

A OSHA estabeleceu cálculos matemáticos específicos para a elaboração dos indicadores. As bases para cálculo consideram 200.000 horas de trabalho, o equivalente a 100 trabalhadores que trabalham 40 horas por semana, num total de 50 semanas ao ano, permitindo calcular os indicadores em uma base percentual. Alguns indicadores de segurança ocupacional explicitados pela OSHA são demonstrados no box a seguir (OSHA, [s.d.]):

Índice de frequência de acidentes, função do número de trabalhadores envolvidos em acidentes para cada 100 trabalhadores, conforme a equação 3.1:

$$\text{Índice de Frequência} = \frac{\text{Acidentes reportados} \times 200.000}{\text{Número de homem hora trabalhadas}} \quad \text{Eq 3.1}$$

Índice de frequência de acidentes com dias de trabalho perdidos (LCT, do inglês *lost time case*), semelhante ao anterior, porém só considera os acidentes onde houveram dias de trabalho perdidos, conforme equação 3.2:

$$\text{Índice LCT} = \frac{\text{Acidentes com dias perdidos} \times 200.000}{\text{Número de homem hora trabalhadas}} \quad \text{Eq 3.2}$$

Índice de acidentes com afastamento ou com restrição do trabalho ou com transferência de trabalho (DART, do inglês *days away, restricted or job transfer*). Este indicador é relativamente novo para a indústria, e diz respeito ao número de acidentes que resultaram em um ou mais dias de trabalho perdidos, ou dias de trabalho restrito, ou que resultou em necessidade de transferência do funcionário para outra função, conforme a equação 3.3:

$$\text{Índice DART} = \frac{\text{Acidentes DART} \times 200.000}{\text{Número de homem hora trabalhadas}} \quad \text{Eq 3.3}$$

Índice de Severidade, função do número de dias de trabalho perdidos comparado ao número de acidentes ocorridos, conforme a equação 3.4:

$$\text{Índice de Severidade} = \frac{\text{Número total de dias perdidos}}{\text{Número total de acidentes reportados}} \quad \text{Eq 3.4}$$

A Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta na norma ABNT NBR 14280, de fevereiro de 2001, cálculos matemáticos para elaboração de indicadores. Todos os indicadores são calculados para uma base de 1.000.000 de horas homem trabalhadas, conforme segue:

A taxa de frequência (TF) de acidentes, análoga ao índice de frequência apresentado anteriormente, pode ser definido conforme a equação 3.5.

$$TF = \frac{\text{número de acidentes} \times 1.000.000}{\text{horas homem de exposição ao risco}} \quad \text{Eq 3.5}$$

Já a taxa de frequência de acidentados com lesão com afastamento (CAF) pode ser expressa pela equação 3.6.

$$CAF = \frac{\text{número de acidentados com afastamento} \times 1.000.000}{\text{horas homem de exposição ao risco}} \quad \text{Eq 3.6}$$

A taxa de frequência de acidentes sem afastamento (SAF), por sua vez, é de grande importância como elemento informativo da qualidade de serviços de prevenção.

Permite ainda analisar a relação entre acidentados com afastamento e sem afastamento, podendo ser definida conforme a equação 3.7. Este indicador é semelhante ao Índice DART apresentado pela OSHA, mas difere no fato de não considerar restrições de trabalho ou necessidade de transferência para outra função no cálculo do indicador.

$$SAF = \frac{\text{número de acidentados sem afastamento} \times 1.000.000}{\text{horas homem de exposição ao risco}} \quad Eq 3.7$$

A taxa de gravidade (TG) é análoga ao índice de severidade apresentado anteriormente, considerando as horas de trabalho perdidas em relação as horas-homem de exposição ao risco, conforme a equação 3.8.

$$TG = \frac{\text{tempo produtivo perdido} \times 1.000.000}{\text{horas homem de exposição ao risco}} \quad Eq 3.8$$

Esta norma da ABNT sugere ainda cálculos alternativos para avaliação da gravidade. Podendo eles ser uma relação entre o número de dias perdidos em consequência da impossibilidade de trabalho e o número de acidentados correspondente. Este indicador representa o número médio de dias perdidos devido a incapacidade temporária (MD), conforme a equação 3.9.

$$MD = \frac{\text{número total de dias perdidos devido a incapacidade temporária}}{\text{número de acidentados}} \quad Eq 3.9$$

Outro indicador diz respeito ao número médio de dias debitados em consequência de incapacidade permanente (M), como fatalidade, conforme a equação 3.10.

$$M = \frac{\text{número total de dias perdidos devido a incapacidade permanente}}{\text{número de acidentados}} \quad Eq 3.10$$

A vantagem de se utilizar de normas para a elaboração de indicadores ocupacionais é a padronização do cálculo. Dessa maneira, torna-se viável uma análise comparativa da segurança ocupacional com outras organizações ou dentro da própria organização, em instalações ou períodos de tempo distintos.

## **3.2 Indicadores de Segurança de Processos**

De acordo com o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), os indicadores de segurança de processos se apresentam em três categorias diferentes. Estas três categorias são: *lagging*, *leading* e *near miss*.

### **3.2.1 Indicadores do tipo *lagging***

Os indicadores *lagging* podem ser traduzidos como indicadores “reativos”. São baseados no histórico de acidentes e incidentes que atingiram um limite de gravidade a ponto de serem reportáveis (CCPS, 2011a). A definição do que é um incidente reportável é uma tarefa que torna-se mais fácil a medida que outras companhias adotam o mesmo critério de classificação, possibilitando um *benchmarking* entre as companhias (SILVA, [s.d.]).

A métrica para estes indicadores reativos, segundo o CCPS (2011a), considera que um incidente reportável deve encaixar-se em todos os seguintes critérios: envolvimento com o processo, liberação acima da quantidade mínima definida, localização e liberação aguda.

O primeiro critério diz respeito a necessidade de relação entre o processo e o dano causado. O termo “processo” nesse contexto, refere-se a equipamentos e tecnologia necessária a produção. São exemplos: tanques, tubulações, trocadores de calor, sistemas de refrigeração, compressores, torres, entre outros. Um incidente que não está relacionado diretamente ao processo, como um incêndio em prédio administrativo, a princípio não é considerado reportável (CCPS, 2011a).

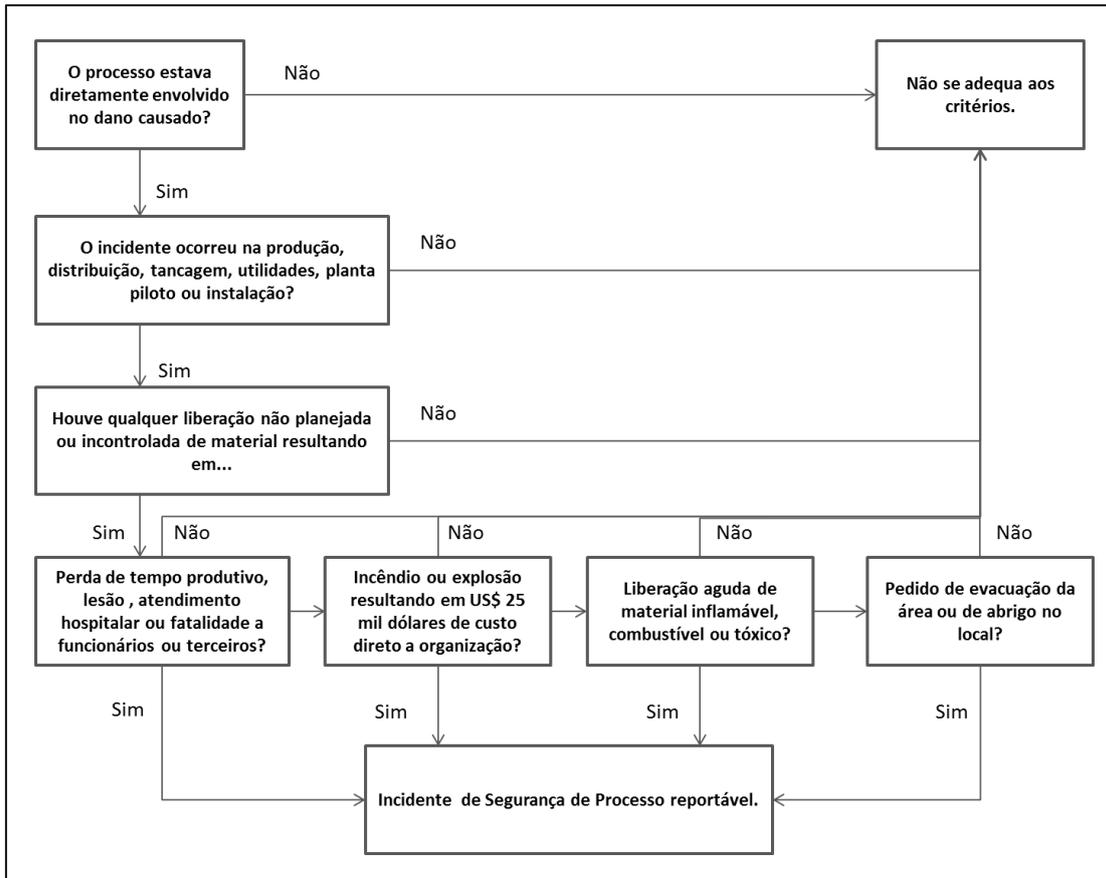
Lesões ocorridas a funcionários no local do processo, porém sem relação direta com o mesmo, não são consideradas reportáveis. Isso não exclui a necessidade de reporte a outros órgãos regulamentadores, como o Ministério do Trabalho e Emprego no Brasil. A intenção desse critério é distinguir eventos relacionados a processos, de eventos ocupacionais (CCPS, 2011a).

A liberação acima da quantidade mínima definida diz respeito a liberação de material ou energia resultando em fatalidade, lesão ou perda de tempo produtivo (CCPS, 2011a). Inclui ainda explosões e incêndios que resultem em custo direto maior ou igual a US\$25 mil dólares. Liberações agudas de material inflamável, combustível ou tóxico acima dos limites mínimos definidos também se enquadram nesse critério. Os limites mínimos são definidos pela própria CCPS (2011a). Observa-se que, segundo os critérios para liberação de material do CCPS (2011a), as liberações que afetem exclusivamente ao meio ambiente não são consideradas reportáveis para fins desse indicador.

Em relação ao critério de localização o incidente deve ocorrer na produção, estocagem, utilidades, planta piloto ou qualquer área relacionada ao processo, seja ela principal ou auxiliar. Os acidentes devem ser reportados pela companhia responsável pela operação naquela localização. Isso inclui incidentes que podem ocorrer em áreas operadas por outras empresas (CCPS, 2011a).

A liberação aguda diz respeito a liberações que excedem a quantidade mínima definida dentro de um período de 1 hora. Isso discorre do fato de que algumas liberações podem não ser detectadas de imediato, dificultando a definição do momento onde a quantidade mínima foi ultrapassada. Se o período de liberação não puder então ser determinado, deve-se considerar um intervalo de liberação de 1 hora (CCPS, 2011a).

Os critérios para o reporte de incidentes na categoria de “incidentes de processo”, de acordo com as definições da CCPS (2011a) para indicadores reativos, pode ser resumidos na Figura 3.1.



**Figura 3.1** Identificação de “incidente de segurança de processo” reportável para indicadores reativos. Fonte: adaptado de CCPS, 2011a

### 3.2.2 Indicadores do tipo *leading*

Trata-se de um indicador “preventivo” ou “proativo”, que permite a identificação prévia de qualquer dano na efetividade dos sistemas chaves de segurança, antes da ocorrência de um evento indesejado (CCPS, 2011a).

Os sistemas de segurança para os quais esse tipo de indicador foi desenvolvido dizem respeito a manutenção de integridade mecânica, gestão de mudanças, treinamento e capacitação. São indicadores recomendáveis a todas as organizações, inclusive no que diz respeito a mensuração da cultura de segurança de processos no local (CCPS, 2011a).

O indicador de integridade mecânica (IM) é uma medida da efetividade do sistema de segurança. Deste modo, visa garantir a funcionalidade do sistema em itens críticos da planta e equipamentos. Para o seu cálculo, deve-se estabelecer um período de medição e a quantidade de inspeções planejadas para este período. Em seguida, deve-se

medir a quantidade de inspeções de fato realizadas. Aquelas inspeções que não puderam ser realizadas durante o período determinado serão acumuladas para o período seguinte de inspeção. A razão entre o realizado e o planejado definem o indicador IM, conforme a equação 3.11 (CCPS, 2011a).

$$\text{Indicador IM} = \frac{\text{inspeções realizadas no período}}{\text{inspeções planejadas para o período}} \quad \text{Eq 3.11}$$

Os itens críticos da planta e os equipamentos que se encaixam nesse critério são aqueles responsáveis pela contenção de produtos, energia e por permitir uma operação segura e contínua do processo. São eles: vasos de pressão, tanques de estocagem, tubulações, sistemas de alívio, bombas, instrumentos, sistemas de controle, intertravamentos, sistemas de *shutdown* e equipamentos de resposta à emergências (CCPS, 2011a).

Um outro indicador usado para identificar a efetividade do rastreamento de deficiências em equipamentos de segurança, é o indicador de deficiências (ID). Sendo este mensurado pela razão entre o período de tempo onde a planta opera com itens de segurança deficientes (identificados por inspeção ou por queda do item) e o período total de operação da planta, conforme a equação 3.12 (adaptado de CCPS, 2011a).

$$ID = \frac{\text{tempo operado com itens deficientes}}{\text{tempo total operado}} \quad \text{Eq 3.12}$$

O indicador de gerenciamento de mudanças (GM) mede o quão corretamente os procedimentos de GM estão sendo seguidos, envolvendo uma auditoria completa dos documentos relacionados a GM periodicamente. O cálculo do indicador ocorre conforme a equação 3.13 (CCPS, 2011a).

$$\text{Indicador GM} = \frac{\text{documentos GM propriamente executados}}{\text{total de documentos GM}} \quad \text{Eq 3.13}$$

Ainda no âmbito do gerenciamento de mudanças pode-se usar o indicador da equação 3.14 para identificar as mudanças que foram intermediadas pelo GM em relação as mudanças totais realizadas. Ou seja, é uma maneira de medir a utilização do gerenciamento de mudanças (UGM) (CCPS, 2011a).

$$\text{Indicador UGM} = \frac{\text{número de mudanças por GM}}{\text{número total de mudanças}} \quad \text{Eq 3.14}$$

O indicador relacionado ao treinamento e capacitação é denominado indicador de cumprimentos de práticas seguras (CPS). Este diz respeito a quantidade de falhas ao seguir procedimentos em relação ao total de práticas de segurança existentes na organização, conforme a equação 3.15 (adaptado de CCPS, 2011a).

$$\text{Indicador CPS} = \frac{\text{número de falhas de procedimento observadas}}{\text{total de práticas de trabalho seguro}} \quad \text{Eq 3.15}$$

Embora existam muitos indicadores proativos capazes de contribuir para performance da segurança de processo nas organizações, é recomendável a escolha de um número pequeno, de modo a elevar a eficácia do gerenciamento. Os dados devem ser fáceis de serem coletados, e os indicadores devem possuir verdadeiro potencial para melhorar a performance da organização (CCPS, 2011a).

### **3.2.3 Indicadores do tipo *near miss***

Segundo definição da CCPS, o “quase acidente” é um evento indesejado que por determinadas circunstâncias não tomou maiores proporções, provocando danos a propriedade, equipamentos, meio ambiente ou perdas no processo. Esse tipo de métrica possui três elementos principais: a descoberta de uma situação insegura ou ocorrência de um evento indesejado; possibilidade da situação ou evento tomarem maiores

proporções; e, caso ocorresse o evento de maior proporção, suas dimensões levariam a impactos adversos (CCPS, 2011a).

No âmbito da segurança de processos o “quase acidente” se define como: significativa liberação de substância perigosa que não chega a atingir o limite máximo aceitável; desafio a segurança, como grande demanda do sistema de segurança, verificações de rotina que indicam medidas fora do limite aceitável (temperatura, pressão, etc) ou algum desvio de processo (CCPS, 2011a).

Existem diversos exemplos que podem ser traduzidos como quase acidentes. Parâmetros como pressão, temperatura ou vazão muito fora da janela de operação, mas dentro dos limites de segurança do processo, são alguns deles. Podem ser citadas ainda falhas em testes de intertravamento, falhas em sistemas contínuos de fornecimento de energia, detectores de gás e fumaça encontrados defeituosos, obstruções encontradas em tubulações e válvulas durante inspeção, processos que deveriam estar intertravados, mas que se encontram em condição de bypass, contaminação de fluidos por deterioração de tubos em trocadores de calor, entre outros (CCPS, 2011a).

O acompanhamento de eventos do tipo *near miss* fornecem informações valiosas para a melhoria da performance em segurança de processos, pois permite a consideração dos impactos adversos em potencial, sem que o acidente se concretize (CCPS, 2011a).

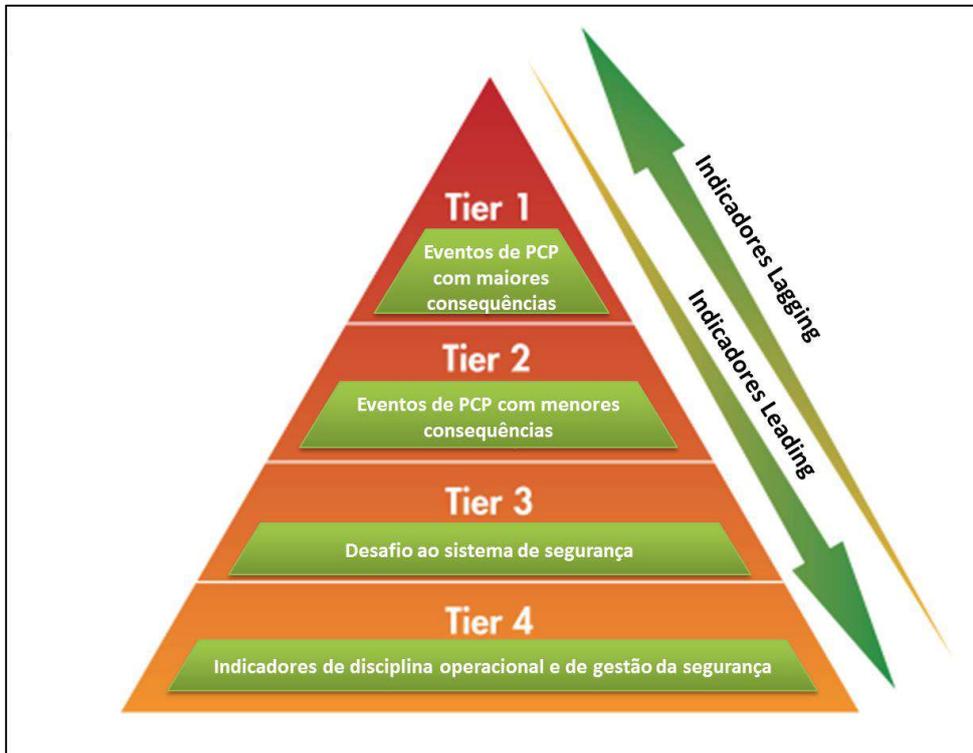
### **3.3 Pirâmide de Segurança – Indicadores *Tier***

Acidentes de grande porte não são frequentes em uma instalação industrial. Dessa maneira, indicadores de performance baseados apenas nesse tipo de ocorrência podem gerar dados insuficientes para a prevenção de eventos futuros. Porém, em acordo com a teoria do queijo suíço de Reason, é sabido que acidentes de maior porte são resultado de uma combinação de falhas nas barreiras de proteção do processo (OGP, 2011).

A “pirâmide de segurança”, também conhecida como “pirâmide de *Tier*” é uma representação prática desta teoria. Nela, sugere-se que uma sequência de falhas, em várias barreiras do processo, pode levar a acidentes de maior porte. Por outro lado, as barreiras são capazes de contribuir para a redução das consequências de um evento com potencial de ser drasticamente pior em circunstâncias ligeiramente diferentes. Dessa



indicadores do topo da pirâmide (*Tier 1*) estão associados a eventos de maior consequência e, em geral, menos frequentes (OGP, 2011).



**Figura 3.3** Pirâmide de nível (*Tier*) para indicadores de segurança de processos.  
**Fonte:** adaptado de OGP, 2011 apud API, 2010

Os indicadores do tipo *lagging* costumam corresponder a eventos que são caracterizados como *Tier 1* ou *Tier 2*. Esses níveis foram desenvolvidos com o intuito de permitir a comparação da segurança de processos em diferentes instalações (OGP, 2011). Dessa maneira, os próprios níveis da pirâmide podem ser considerados indicadores em si. Para a melhoria contínua da segurança de processos, é interessante a divulgação desses indicadores tanto no nível corporativo como no externo, permitindo um *benchmarking* entre as empresas (OGP, 2011).

Segundo a definição, um evento *Tier 1* é aquele no qual houve uma perda de contenção primária (PCP) com maiores consequências. O conceito de PCP equivale ao termo “liberação” adotado pelo CCPS na definição dos indicadores de processo. A perda primária está relacionada a liberação não planejada ou incontrolada de qualquer

material, incluindo os atóxicos e não inflamáveis, desde que seguido por maiores consequências. As consequências são análogas aquelas já apresentadas nos critérios da CCPS para identificação de incidentes de processo na Figura 3.1 (OGP, 2011 e CCPS, 2011a).

O evento *Tier 2*, por sua vez, é classificado da mesma maneira que o *Tier 1*, e também se enquadra nos critérios da CCPS, sua diferenciação está nos seguintes itens (OGP, 2011 e CCPS, 2011a):

- a) Considera apenas lesão a funcionário, contratado ou subcontratado, sem resultar em afastamento ou morte.
- b) Incêndio ou explosão resultando em custo igual ou maior que US\$ 2.500 dólares para a companhia, e não US\$ 25.000 dólares, como definido pelo CCPS e adotado para o indicador *Tier 1*;

Já os indicadores *Tier 3* e *4* englobam grupos de indicadores do tipo *leading*. Os indicadores desse tipo possuem maior especificidade envolvida. Eles costumam ser muito mais direcionados a gestão interna da organização, a uma atividade específica ou uma unidade. Por essa razão, nem sempre é interessante a divulgação desses resultados para a comunidade externa ou o *benchmarking* entre as empresas (OGP, 2011).

O indicador *Tier 3* é interessante para o registro de situações do tipo “quase acidente”. Essas situações podem ser aquelas onde as consequências não atingiram os critérios para serem reportáveis como *Tier 1* ou *Tier 2*, mas que foram reconhecidas não planejadas ou incontroladas. Podem ser ainda situações onde a falta de uma das barreiras implantadas poderia ter levado a ocorrência de um evento *Tier 1* ou *Tier 2* (OGP, 2011).

O indicador *Tier 4* representa a performance das barreiras individuais de proteção ao risco, sendo um indicador claramente proativo. As barreiras que podem ser foco desse tipo de indicador são: manutenção, inspeção e teste de equipamentos, levantamento de perigos e avaliação de riscos, gerenciamento de mudanças, treinamento e capacitação de pessoas, auditorias, entre outros (OGP, 2011).

### 3.4 Indicadores de Segurança Corporativos e de Processo

Existem três razões para o desenvolvimento de indicadores de segurança por uma corporação (OGP, 2011):

- a) Monitoramento interno e revisão da performance em segurança. Envolvimento de ações para gerenciamento do sistema e fortalecimento das barreiras de proteção;
- b) Verificação de quando as medidas de performance atingem ou excedem as normas através de *benchmarking* entre empresas;
- c) Promover a comunicação e o engajamento com os *stakeholders* (clientes, comunidade local, investidores, organizações governamentais e público em geral).

No âmbito corporativo os indicadores devem ser selecionados de modo a serem representativos e significativos a toda organização. Os indicadores *Tier 1* e *Tier 2* são altamente recomendáveis para esse fim. Existem ainda, alguns indicadores *Tier 3* e *Tier 4* que podem ser consolidados em um nível corporativo para verificação da implantação de controles de segurança através de toda a companhia (OGP, 2011).

Já para o monitoramento interno e revisão da performance, devem ser utilizados indicadores de processo endereçados com maior especificidade. São exemplos aqueles relacionados a sistemas de alarmes, procedimento de *start-up*, capacitação operacional, entre outros. Ou seja, esses indicadores estão muito mais ligados a parâmetros operacionais (OGP, 2011).

A diferenciação entre os indicadores de âmbito corporativo e os de processo é importante para o entendimento da segurança em diferentes níveis. Permitindo, assim, o direcionamento da tomada de decisões quanto a melhorias e mudanças que precisam ser implantadas.

## 4 A INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS

Segundo Rehn e Reed (1993), os bioprocessos podem ser definidos como “toda tecnologia de processo ou produto que lance mão, em pelo menos uma de suas etapas, da ação de micro-organismos, células animais ou vegetais, ou de substâncias produzidas por esses agentes biológicos”. Ou seja, se distinguem dos processos químicos pelo uso de um agente biológico para a realização das transformações.

A partir dos anos 80, a indústria biotecnológica passou a se mostrar um setor em crescimento acelerado. Com o uso das mais variadas técnicas, esta indústria permitiu o desenvolvimento de produtos e substâncias de grande interesse comercial, como antibióticos, ácidos orgânicos, solventes, enzimas, biocombustíveis, entre outros. Além destes, os próprios organismos podem ser caracterizados como produto do processo, como leveduras de panificação, inoculantes agrícolas, células para a produção de esteróides, aromas e fragrâncias, células para tratamento de efluentes domésticos e industriais ou para biorremediação do solo, etc (PEREIRA *et al*, 2008).

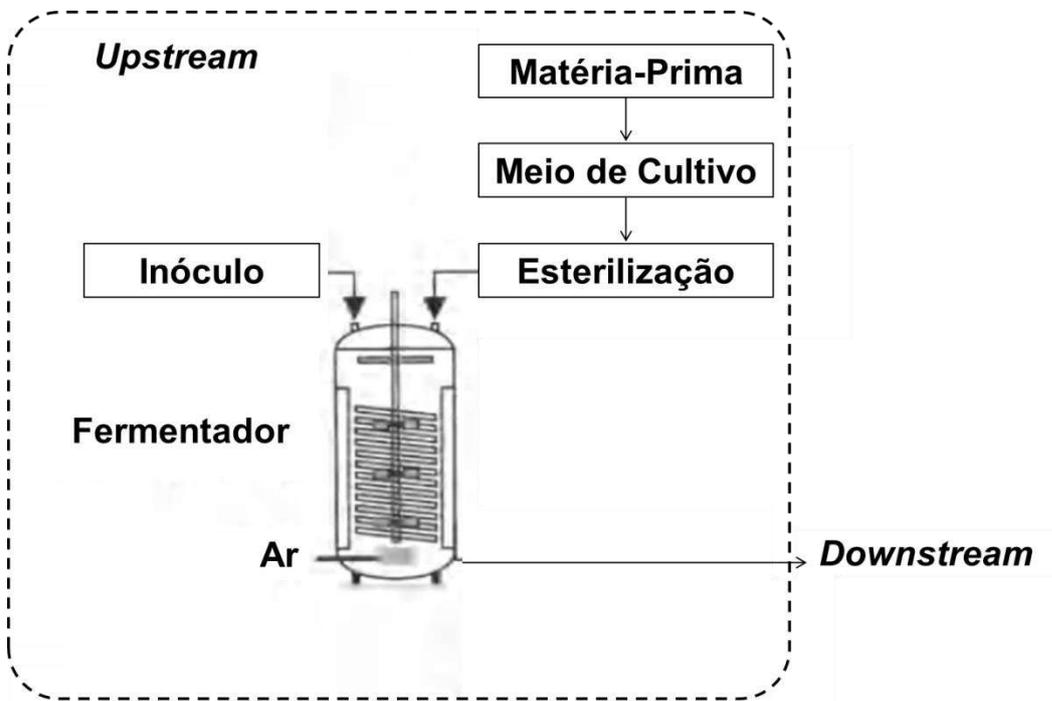
Os principais produtos da indústria de bioprocessos podem ser divididos de acordo com suas aplicações, sendo elas principalmente: farmacêutica (antibióticos, hormônios, vacinas, vitaminas e proteínas), alimentícia (aminoácidos, flavorizantes, polissacarídeos e goma xantana) e química (etanol, acetona, butanol, glicerol, ácido láctico, ácido cítrico, poliésteres, biocidas) (PEREIRA *et al*, 2008).

### 4.1 Etapa de *upstream*

Os bioprocessos se iniciam na fase de *upstream*, que é a etapa anterior a transformação. Nesta etapa, as matérias-primas, frequentemente biomassa, serão tratadas e adicionadas de componentes necessários ao crescimento das células. O meio de crescimento elaborado, deverá ser esterelizado para eliminação de outros micro-organismos. A cultura de células ocorrerá então em uma variedade de vasos, denominados biorreatores ou fermentadores (DUTTA, 2008).

Nesta etapa de *upstream*, diferentes estratégias de alimentação, aeração e controle do processo poderão ser aplicadas. O processo pode conter determinada

matéria-prima a ser transformada no meio de crescimento, ou pode ainda compreender a própria produção de células como produto final. Um esquema simplificado da etapa pode ser encontrado na Figura 4.1 (DUTTA, 2008).



**Figura 4.1** Representação esquemática da etapa de upstream de um bioprocessamento tradicional. Fonte: adaptado de DUTTA, 2008

## 4.2 Etapa de downstream

A etapa de *downstream* do processo compreende a separação e purificação do produto de interesse, sendo necessária a redução ou remoção completa de contaminantes (FLICKINGER, 2013). A esta fase do processo estão associados 60% dos custos totais de produção, excluindo-se os custos associados a compra de matéria-prima (DUTTA, 2008 apud CLIFFE, 1988).

O produto de interesse pode ser a própria biomassa proveniente do biorreator, bem como componentes resultantes do processo de fermentação. O tipo de processo associado a etapa de *downstream* dependerá das características deste produto de interesse (DUTTA, 2008).

No caso onde a própria biomassa é o produto de interesse, o processo envolverá etapas de separação, lavagem e secagem de células. Se o produto de interesse, por sua vez, for um componente extracelular, etapas de recuperação e purificação do meio aquoso serão necessárias seguidamente a etapa de separação das células. Já para o caso de interesse em componentes intracelulares, haverá necessidade de ruptura das células, recuperação e purificação dos mesmos (DUTTA, 2008).

Cada vez mais a associação entre as características dos agente biológicos e as peculiaridades do sistema reacional tem sido um ponto focal no desenvolvimento e melhoria da operacionalidade de bioprocessos (PEREIRA *et al*, 2008). Isto se deve ao fato de que os organismos podem apresentar determinadas propriedades (agregativas, floculantes, etc), que suprimem a necessidade de equipamentos mais dispendiosos de separação. Esta associação permite projetos de biorreatores menores, que apresentem menor consumo de energia e que sejam, conseqüentemente, mais econômicos (PEREIRA *et al*, 2008).

Os bioprocessos apresentam características distintas dos processos químicos, tais como: alta diluição do produto de interesse no meio, alta sensibilidade de produtos a temperatura, variedade de produtos a serem separados, entre outros. Porém, muitas técnicas tradicionais de separação na indústria de processos químicos são geralmente utilizadas na indústria de bioprocessos (DUTTA, 2008).

## 5 SEGURANÇA DE PROCESSOS NAS INDÚSTRIAS

Embora a segurança de processos industriais tenha tradicionalmente se focado em instalações relacionadas a petróleo, gás natural e produção de químicos, outros setores tem usado e se beneficiado dos conceitos básicos e abordagens desenvolvidas (CCPS, 2011b).

A indústria de bioprocessos contém toda uma variedade de instalações e produtos químicos perigosos, assim como na indústria química tradicional. Por outro lado, possui adicionalmente o risco biológico, cuja severidade e magnitude dependerão de diversos fatores, tais como (adaptado de CCPS, 2011b):

- Tipos de produtos manufaturados;
- Tipos de processo químico, físico ou biológico usado na fabricação, bem como matérias-primas e solventes;
- Tipo específico de organismo ou produto celular empregado;
- Co-produtos e intermediários envolvidos, bem como o processo de recuperação e purificação;
- Resíduos gerados;
- Escala operacional e o cronograma de produção (se processo contínuo, ou batelada, ou alternado).

Perigos biológicos, em alguns casos, são de grande significância e prioridade a partir da perspectiva de segurança, como por exemplo no caso da presença de organismos patogênicos. Assim como os perigos químicos, o perigo biológico também pode afetar a população vizinha, funcionários, e meio ambiente, , enfatizando a semelhança existente entre os dois tipos de perigos do ponto da segurança de processos (CCPS, 2011b). Alguns exemplos de perigos típicos em unidades de bioprocessos, onde alguns podem ser encontrados também em indústrias químicas tradicionais, são: gases asfixiantes; perigos biológicos; químicos utilizados para equipamentos, limpeza de superfície e manutenção; espaços confinados; guindastes; perigos elétricos; perigos ergonômicos; explosões; queda de altura; incêndio; empilhadeiras e plataformas

elevatórias; eixos, pontos de esmagamento, áreas de ferramentas; perigos naturais (vento, inundação, terremoto); ruído; exposição a produtos farmacêuticos ativos; vasos de pressão; deslizamentos; vapor, fluidos quentes, frios e criogênicos; resíduos sólidos e líquidos; emissões atmosféricas; descarga de efluentes.

Diversos estudos sobre o desenvolvimento de indicadores foram realizados com aplicação direcionada a diferentes indústrias, como nuclear, petroquímica, óleo e gás, entre outras. Um panorama dessas métricas foi aqui realizado com o objetivo de identificar aquelas que são mais adaptáveis a indústria de bioprocessos. Estas, por tanto, serviram como base para a proposição de novas métricas, especificamente pensadas para bioprocessos.

## **5.1 Indicadores de segurança na indústria nuclear (MONTEIRO, 2012)**

Monteiro (2012) propõe como oportunidade de melhoria da segurança na área nuclear um conjunto de 78 indicadores segmentados em áreas estratégicas. Diversas organizações foram consultadas para a elaboração dos indicadores propostos, entre elas: *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG)*, *International Association of Oil & Gas Producers (OGP)*, *Center for Chemical Process Safety (CCPS)* e *Nuclear Energy Institute (NEI)*.

O elevado número de indicadores proposto por Monteiro (2012) se justifica pelo fato de que o estudo deve ser entendido como um ponto de partida para as organizações em geral, possuindo métricas que podem ou não ser aplicáveis a especificidade de cada planta nuclear. Alguns dos indicadores mais relevantes para este trabalho são apresentados nos tópicos a seguir.

### **5.1.1 Indicadores de Treinamento e Seleção**

- % do total de treinamentos realizados no período de medição que incluem questões de segurança;
- % de empregados em cada nível ou categoria que está com seu plano de treinamento em atraso;
- nº de falhas em exames de licenciamento;

### **5.1.2 Indicadores de Manutenção e Inspeção**

- Razão entre o nº de manutenções corretivas executadas e o nº de ordens programadas para o período de medição;
- Razão entre o nº de manutenções preventivas e o nº total de ordens programadas para o período de medição;
- Razão entre o tempo de parada e o período programado de parada;
- % de falhas registradas para um dado sistema crítico de segurança que foram identificadas durante testes atividades de manutenção ou inspeção;

### **5.1.3 Indicadores de Avaliação de Riscos**

- % de estudos de identificação de perigos e avaliação de riscos programados e completados para o período de medição conforme planejado;
- % das recomendações do estudo de risco que não foram implantadas no prazo ou que tiveram extensão do prazo;

### **5.1.4 Indicadores de Gestão de Mudanças**

- % das mudanças permanentes em aberto no período de medição que estão atrasadas ou que tiveram extensão do prazo aprovadas;
- nº de modificações temporárias na planta durante o período de medição;
- % de mudanças temporárias que já deveriam ter sido desativadas ou que tiveram extensão do prazo de permanência aprovado;
- % de mudanças em andamento para as quais a atualização de P&IDs e demais documentos está em atraso;
- % de mudanças auditadas que satisfizeram todos os itens do procedimento de gestão de mudanças;

### **5.1.5 Indicadores de Auditorias de Segurança**

- % das auditorias programadas que foram realizadas no prazo;
- nº de não conformidades geradas na auditoria;
- % de ações geradas em auditorias que estão em atraso ou que tiveram extensão do prazo de permanência aprovado;

#### **5.1.6 Indicadores de Auto Avaliação da Segurança**

- nº de não conformidades geradas nas autoavaliações e inspeções internas;
- nº de não conformidades encontradas em auditorias que não foram previamente identificadas em autoavaliações e inspeções internas;
- nº de não conformidades repetentes em auditorias ou inspeções internas;
- % de ações geradas na autoavaliação que estão em atraso ou que tiveram extensão do prazo de implantação aprovada;

#### **5.1.7 Indicadores de Investigação de Eventos *Near-miss*, Incidente e Acidente**

- % dos eventos registrados da própria planta para os quais se estabeleceu um processo de investigação;
- nº de eventos registrados associados a acidentes, incidentes e quase-perda ocorridos em trabalhos cobertos por PT (Permissão de Trabalho);
- nº de eventos registrados associados falha nos processos de manutenção, inspeção e teste;

#### **5.1.8 Indicadores de Lições Aprendidas**

- % de lições aprendidas em determinado período que dispararam revisões de procedimentos, documentos ou treinamentos;

#### **5.1.9 Indicadores de Preparação para Emergências**

- nº de horas dedicadas ao treinamento do plano de emergência em determinado período de tempo;
- nº de não conformidades durante a auditoria do plano de emergências;

#### **5.1.10 Indicadores de Aquisição de Bens e Serviços Compatíveis com a Segurança da Organização**

- % dos empregados contratados treinados em gestão/cultura de segurança;
- nº de eventos que sinalizaram erros de projeto, falhas de construção e montagem ou problemas de atendimento a especificação relativos a bens e serviços obtidos de terceiros;

#### **5.1.11 Indicadores de Comprometimento da Liderança e Visibilidade de Líderes**

- % de reuniões formais que ocorreram no nível corporativo que incluem itens relativos a segurança;
- nº de ações da alta liderança exclusivamente dedicadas a reforçar as políticas de segurança da organização;
- nº de seminários internos promovidos em tópicos relativos a segurança;
- % dos altos gerentes que possuem experiência em segurança nuclear;

#### **5.1.12 Indicadores de Ausência de Conflito entre Segurança e Produção**

- nº de atividades de treinamento, manutenção, teste ou exercício simulado atrasados por questões relacionadas a produção;
- nº de pendências relacionadas com impactos a segurança existentes na data programada da partida ou repartida mas que foram aceitas para não atrasar o início ou retorno da operação;

#### **5.1.13 Indicadores de Gerenciamento de Carga de Trabalho, Estresse e Fadiga**

- nº de vezes em que o contratado precisou realizar extensão da sua jornada de trabalho;
- nº de vezes em que só haviam profissionais juniores no turno da operação;

#### **5.1.14 Indicadores de Consciência dos Processos de Trabalho e Riscos**

##### **Associados**

- % da equipe operacional que acompanhou o projeto da unidade;
- nº de erros cometidos por operadores da sala de controle em simuladores de cenários acidentais;
- nº de ocorrências em áreas com nível de radiação controlado que resultam em perda de controle radiológico sobre o acesso ou sobre as atividades;
- nº de exposições ocupacionais não intencionais iguais ou superiores ao limite estabelecido pela organização, resultando em falha ou degradação de barreira radiológica;
- nº de funções instrumentadas de segurança e de funções de controle identificadas como camadas independentes de proteção em condição de *by pass*;

#### **5.1.15 Indicadores de Qualidade de Procedimentos e Documentação**

- nº de correções nos P&DIs e outros documentos de projeto identificados durante execução de análise de risco, atividades de manutenção, inspeção ou teste;
- nº de eventos registrados associados a deficiência de procedimentos;

### **5.2 Indicadores de segurança para instalações de produção de óleo e gás *offshore* (CABETE, 2014)**

Cabete (2014) propõe um conjunto de dezessete indicadores de segurança de processos para instalações *offshore* de produção de óleo e gás, sendo quatro deles reativos e treze proativos. Os indicadores são ordenados de acordo com suas

criticidades, e são segmentados em proativos, reativos, proativos de integridade técnica e proativos de integridade operacional.

### 5.2.1 Indicadores Reativos

Estes indicadores são análogos aos indicadores *Tier* anteriormente apresentados:

- ESP Nível 1 – Eventos de perda de contenção primária com alta consequência, relacionados com descargas não planejadas e não controladas de hidrocarbonetos resultando em qualquer uma das seguintes consequências:
  - Parada de energia total da unidade;
  - Múltiplas fatalidades de empregados, contratados ou terceiros;
  - Incêndio ou explosão resultando em custo direto a companhia superior a US\$ 25.000,00;
  - Liberação de gás ou bifásica superior a 1 kg/s e duração maior que 5 minutos;
  - Liberação de líquido superior a 10 kg/s e duração superior a 15 minutos;
  
- ESP Nível 2 – Eventos de perda de contenção primária com baixa consequência, tais como (CABETE, 2014):
  - Parada emergencial parcial da unidade;
  - Lesões com afastamento ou de até três fatalidades;
  - Incêndio ou explosão resultando em custo direto a companhia superior a US\$ 2.500,00;
  - Liberação de gás ou bifásica superior entre 0,1 e 1 kg/s e duração entre 2 e 5 minutos;
  - Liberação de líquido entre 0,2 kg/s e 10 kg/s e duração entre 5 e 15 minutos;
  - Liberação de gás, líquido ou bifásica que não atendem os critérios de classificação ESP Nível 1;

- ESP Nível 3 – Desafios ao sistema de segurança, tais como (CABETE, 2014):
  - Parada de emergência de um sistema da unidade;
  - Casos de lesões sem afastamento;
  - Incêndio ou explosão resultando em custo direto a companhia até a US\$ 2.500,00;
  - Liberação de gás ou bifásica inferiores a 0,1 kg/s e duração de até 2 minutos;
  - Liberação de líquido inferior a 0,2 kg/s e duração inferior a 5 minutos;
  - Liberação de gás, líquido ou bifásica que não atendem os critérios de classificação ESP Nível 2;
  
- Nível 4 – Acidentes que não se enquadram em nenhuma das classificações anteriores, resultando em descargas não planejadas e não controladas, em geral, sem consequência para pessoas ou meio ambiente (CABETE, 2014);

### **5.2.2 Indicadores Proativos**

- Nível 5 – Relacionados a distúrbios no processo que levam a ativação de equipamentos críticos de segurança sem que ocorra perda de contenção primária. Se relacionam com a ativação de dispositivos de segurança (discos de ruptura, válvulas de alívio, alarmes de fogo e gás, etc);

### **5.2.3 Indicadores Proativos de Integridade Técnica**

Estes indicadores estão relacionados a equipamentos críticos e tarefas críticas de segurança que foram identificadas para cada unidade de produção, sendo eles:

- Número de manutenções preventivas não realizadas em equipamentos críticos de segurança de acordo com o plano de manutenção;
- Número de manutenções corretivas realizadas em equipamentos críticos de segurança;
- Número de manutenções corretivas não realizadas em equipamentos críticos de segurança;
- Quantidade de inspeções periódicas canceladas;
- Quantidade de testes periódicos cancelados;

- Número de testes periódicos com resposta negativa;

#### **5.2.4 Indicadores Proativos de Integridade Operacional**

Estes indicadores estão relacionados a operação da planta em si, sendo eles :

- Número de gerenciamentos de mudanças expirados;
- Número de modificações realizadas sem a utilização da ferramenta de gerenciamento de mudanças;
- Quantidade de processos onde a permissão de trabalho não foi emitida;
- Número de respostas corretas a alarmes ou a mudanças nas condições de processos;
- Número de passagens de turno não realizadas corretamente;
- Quantidade de autorizações para *by pass* de equipamentos e, consequentemente, quantidade de *by passes* realizados sem autorização;

### **5.3 Indicadores de Segurança para a Indústria Petroquímica**

Com o objetivo de completar o levantamento sobre uso de indicadores em diferentes setores industriais, realizou-se para este estudo o levantamento dos indicadores de segurança para a indústria petroquímica empregados em unidade de insumos básicos (UNIB) da Braskem, localizada em Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

Os indicadores utilizados são baseados em critérios e classificações do CCPS (2011a), principalmente, além de expertise própria dos engenheiros da unidade. Ao todo, foram identificados 43 indicadores e 8 sub-indicadores relacionados a segurança de processos.

#### **5.3.1 Indicadores Gerais**

- % de avanço do plano quinquenal – este indicador é relativo a porcentagem realizada dos HAZOP's programados para a unidade industrial dentro de um

período de 5 anos, com a intenção de que, ao final desse período, o indicador atinja 100% de avanço;

- % barreiras potencialmente íntegras de acordo com as auditorias realizadas;
- Quantidade de registros de vazamentos com perda de contenção primária;
- Quantidade de JUMPs auditados;
- % de JUMPs conformes;
- Quantidade de cenários com potencial de risco alto;
- Quantidade de cenários com potencial de risco alto eliminados;
- Quantidade de cenários com potencial de risco alto novos;

### 5.3.2 Indicadores de Gerenciamento de Causas de Acidentes *Tier 1*, *Tier 2* e Incidentes de Segurança de Processos

- Taxa de acidentes *Tier 1*, de acordo com o modelo do CCPS para *Tier 1*, conforme a equação 5.1:

$$\text{Taxa Tier 1} = \frac{n^{\circ} \text{ de acidentes Tier 1} * 1.000.000}{\text{horas homem trabalhadas}} \quad \text{Eq. 5.1}$$

- Taxa de acidentes *Tier 2*, de acordo com o modelo do CCPS para *Tier 2*, conforme a equação 5.2:

$$\text{Taxa Tier 2} = \frac{n^{\circ} \text{ de acidentes Tier 2} * 1.000.000}{\text{horas homem trabalhadas}} \quad \text{Eq. 5.2}$$

Cada um dos indicadores anteriormente apresentados são segmentados e acompanhados em função de suas causas raízes, conforme segue:

- Causas relacionadas a instalações:
  - Número de falhas na integridade de tubulações;
  - Número de falhas na integridade de equipamentos;
  - Número de falhas em sistemas de segurança;
  - Número de falhas por projeto;

- Causas relacionadas a sistemas de gestão:
  - Número de falhas no gerenciamento de mudanças;
  - Número de falhas na sistemática de inspeção ou implantação de recomendações de segurança;
  - Número de falhas por procedimento inadequado;
  - Número de falhas por procedimento inexistente;
  
- Causas relacionadas a fator humano;
  - Número de falhas operacionais;
  - Número de falhas por percepção de riscos;
  - Número de falhas por procedimentos não seguidos;

### **5.3.3 Indicadores de Gerenciamento de Mudanças (GM)**

- Número de notas GM abertas;
- Número de notas GM implantadas;
- Número de notas GM aprovadas;
- Número de notas GM auditadas;
- Número de notas GM conformes;
- Número de notas GM encerradas ou canceladas;
- Número de notas GM emergenciais;
- Número de notas GM temporárias;
- Número de notas GM normais;
- Número de notas GM definitivas;
- % de conformidade de notas GM: razão entre as notas conformes e as notas implantadas;
- % de notas GM conformes por área (Logística, ISBL, OSBL, Segurança, Saúde e Meio Ambiente, Automação, Manutenção, Laboratório, etc);
- Número de falhas na gestão de mudanças (independente de sua relação com eventos *Tier 1*, *Tier 2* ou incidentes de segurança de processos);

### **5.3.4 Indicadores de Medidas de Gerenciamento de Risco (GR)**

- Número de notas GR abertas;
- Número de notas GR vencidas;
- Número de notas GR concluídas;
- Número de notas GR no prazo;

### **5.3.5 Indicadores de Recomendações da Seguradora**

- Número de recomendações totais do plano da seguradora;
- Número de recomendações planejadas;
- Número de recomendações finalizadas do planejamento;
- Número de recomendações finalizadas do plano da seguradora;
- % de recomendações do plano da seguradora que foram implantadas;

### **5.3.6 Indicadores de Falhas e Vazamentos**

Estes indicadores também são independentes de sua relação com eventos *Tier 1*, *Tier 2* ou incidentes de processo:

- Número de vazamentos por furo em tubulação;
- Número de vazamentos por equipamentos;
- Número de vazamentos por acopladores de carretas;
- Número de vazamentos por trincas em soldas;
- Número de falhas em sistemas de segurança;
- Número de falhas operacionais;
- Número de falhas mecânicas de equipamentos;
- Número de falhas por falta de procedimento operacional;

## **6 PROPOSTA DE INDICADORES DE SEGURANÇA DE PROCESSOS PARA A INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS**

Conforme explorado nos capítulos anteriores, a indústria de bioprocessos em muito se assemelha a outros tipos de indústrias quando trata-se de segurança de processos. O potencial de perigos biológicos é a maior diferenciação entre plantas químicas e de bioprocessos (CCPS, 2011b).

Em muitos processos, os perigos biológicos representam riscos extremamente baixos. Por outro lado, em casos onde micro-organismos infecciosos são usados, ou quando há possibilidade de contaminação do organismo em questão, o perigo pode apresentar riscos muito mais significativos para trabalhadores, comunidade externa ou meio ambiente (CCPS, 2011b).

Embora haja o diferencial dos perigos biológicos, muitos perigos físicos e químicos encontrados na indústria química são também encontrados em unidades de bioprocessos. Unidades que fazem uso de bioprocessos para controle ambiental podem lidar com solventes inflamáveis ou gás combustível rico em metano como bioproduto, por exemplo.

Já na produção de biocombustível a partir de biomassa existem diversas áreas com potencial para a ocorrência de incêndios e explosões. Na produção de bioetanol, por exemplo, além do bioproduto inflamável há o potencial risco de explosão de material particulado, devido ao amido utilizado como matéria-prima para a bioconversão (CCPS, 2011b). Dessa maneira, sempre haverá a necessidade de gerenciamento da segurança de processos tanto no que diz respeito a perigos químicos e físicos, quanto perigos biológicos.

O objetivo deste estudo é propor indicadores gerais de segurança de acordo com o que já é praticado por diversos setores industriais, mas alinhados com as atividades peculiares de bioprocessos. Para a efetividade na implantação desses indicadores conta-se com uma série de premissas e restrições.

### **6.1 Restrições**

As restrições dizem respeito a assuntos que são ligados ao desenvolvimento de indicadores e sua utilização.

Restrição 1 – Não foi contemplado o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Segurança e os fatores particulares de unidades de bioprocessos que por ele devem ser contemplados. No entanto, a existência de tal sistema é fundamental para o emprego dos indicadores.

Restrição 2 – Os indicadores de segurança propostos são de cunho geral, não podendo ser considerados suficientes para a total avaliação da segurança de processos de qualquer unidade. Isso se deve ao fato de que há a necessidade de desenvolvimento de indicadores específicos adequados as particularidades de cada unidade fabril.

Restrição 3 – A atualização dos indicadores depende diretamente da frequência de disponibilidade de dados. Sendo assim, não é possível prever a frequência de acompanhamento de cada indicador, se diariamente, semanalmente, mensalmente, trimestralmente, etc. Cabe portanto aos gestores da unidade verificar o melhor acompanhamento a ser adotado.

## **6.2 Premissas**

As premissas são fundamentais para que os indicadores sejam ferramentas que verdadeiramente poderão apoiar a gestão da segurança. Elas auxiliam ainda no sentido de reduzir o número de indicadores recomendados, na medida que excluem a necessidade de acompanhamento sobre uma condição que não apresenta desvio.

Premissa 1 – Todo evento ocorrido deverá ser registrado e um processo de investigação deverá ser aberto independente da gravidade do evento.

Premissa 2 – Todo empregado contratado ou terceirizado deverá realizar treinamento em cultura de segurança no momento seguinte a sua admissão, previamente ao exercício de sua função.

Premissa 3 – Será papel imprescindível dos líderes da organização, a realização, no nível corporativo, de diálogos formais e frequentes que incluam itens relativos a segurança.

Premissa 4 – Haverá sempre a presença de um profissional responsável pelo turno da operação, não havendo, em qualquer hipótese, turnos com a presença de apenas profissionais juniores.

Premissa 5 – Toda mudança temporária que, por alguma razão, necessitar ultrapassar 90 dias de implantação, deverá ser reavaliada e revalidada pela equipe responsável.

Premissa 6 – O sistema de gestão de segurança implementado aos bioprocessos, deverá contemplar os riscos adicionais recorrentes da utilização de materiais biológicos.

### **6.3 Metodologia de Elaboração dos Indicadores**

A partir de Monteiro (2012), Cabete (2014) e Braskem (2014) foi possível desenvolver o estudo que se segue, de caráter predominantemente qualitativo. Este estudo serviu de base para a elaboração de uma proposta de indicadores de segurança aplicáveis a indústria química e de bioprocessos em geral. Não foi objetivo o levantamento de dados históricos reais dos indicadores propostos e sua performance em instalações reais.

A primeira referência para a proposta é a dissertação de mestrado de Monteiro (2012), que trata do desenvolvimento de indicadores gerais para a indústria nuclear. A segunda, dissertação de mestrado de Cabete (2014), que apresenta uma proposta de indicadores de segurança de processos para instalações de produção de óleo e gás *offshore*. A terceira referência é o conjunto de indicadores de segurança utilizado pela unidade de petroquímicos básicos da Braskem localizada em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, que foi obtido por meio de entrevistas à equipe de segurança de processos da instalação.

A partir da análise das métricas propostas para a indústria nuclear, *offshore* e petroquímica foram identificados os tipos de indicadores comuns, ou seja, aqueles que, mesmo por diferentes métricas, dizem respeito ao mesmo assunto. A partir desta avaliação, foi proposto o primeiro grupo de indicadores de segurança de processos.

No passo seguinte, realizou-se uma análise sobre os indicadores mencionados em apenas um dos estudos selecionados, ponderando suas semelhanças e diferenças com atividades relacionadas a bioprocessos.

Em seguida foram desenvolvidos indicadores de cunho geral, que são aplicáveis a indústria de bioprocessos. Outro grupo de indicadores, destinados especificamente às atividades relacionadas a bioprocessos, também foram elaborados, suprimindo, assim, lacunas em termos de segurança.

## **6.4 Os 16 Elementos Fundamentais**

A partir de Monteiro (2012), Cabete (2014) e Braskem (2014) foi possível a observação de grande semelhança entre os indicadores propostos em cada um dos estudos. Mesmo apresentando diferentes métricas, ou seja, diferentes formas de cálculo, alguns indicadores mostraram-se equivalentes. Esta constatação reforça a existência de indicadores de segurança de processos “gerais” ou “genéricos”, aplicáveis de forma quase independente em relação ao setor industrial. Permite ainda deduzir a partir de indicadores de diferentes indústrias (nuclear, *offshore* e petroquímica), indicadores para bioprocessos.

Com base nessa constatação, foram elaborados 16 elementos nos quais estão fundados os indicadores presentes nos trabalhos estudados. Na Tabela 8.1 pode ser observado o resultado desse agrupamento e a definição de cada elemento. Marca-se com um “X” o estudo que faz menção a pelo menos um indicador correspondente ao elemento em questão.

Para o estudo de indicadores da indústria petroquímica percebe-se a ausência da menção de alguns indicadores, como o de manutenção corretiva e preventiva. Isso se deve ao fato de que, nesta instalação, esses indicadores não são de responsabilidade da área de segurança de processos, e sim de outras áreas específicas. O indicador de manutenção corretiva e preventiva, por sua vez, é remetido diretamente à área de manutenção, pois considera-se que esse tipo de indicador pode não estar associado a um impacto sobre a segurança.

Como visto anteriormente no capítulo 5, a indústria de bioprocessos contém toda uma variedade de instalações e produtos químicos perigosos comuns a indústria química

tradicional. Assim, os dados da Tabela 8.1 permitem concluir, de maneira intuitiva, que o conjunto de indicadores aqui propostos para bioprocessos deve abranger todos os 16 elementos. A esta categoria de indicadores foi dada a denominação de “indicadores básicos”.

**Tabela 6.1 Agrupamento dos indicadores de segurança comuns aos estudos para indústria nuclear, offshore e petroquímica**

<b>Elemento</b>	<b>Tipos de Indicadores</b>	<b>Nuclear (MONTEIRO, 2012)</b>	<b>Offshore (CABETE, 2014)</b>	<b>Petroquímica (BRASKEM, 2014)</b>
<b>E1</b>	Manutenção corretiva e preventiva	X	X	-
<b>E2</b>	Estudo e avaliação de riscos	X	-	X
<b>E3</b>	Perda de contenção ( <i>Tier's</i> ou semelhante)	-	X	X
<b>E4</b>	Eventos ocorridos	X	X	X
<b>E5</b>	Mudanças (permanentes e/ou temporárias)	X	X	-
<b>E6</b>	<i>By-pass</i> (de instrumentos e/ou intertravamentos)	X	X	X
<b>E7</b>	Gerenciamento de Mudanças	X	X	X
<b>E8</b>	Teste e inspeção	X	X	X
<b>E9</b>	Permissão de Trabalho	X	X	-
<b>E10</b>	Auditoria	X	-	X
<b>E11</b>	Conformidades ou não-conformidades	X	-	X
<b>E12</b>	Procedimentos	X	-	X
<b>E13</b>	Instrumentos ou sistemas de segurança	X	X	X
<b>E14</b>	Falhas operacionais	X	X	X
<b>E15</b>	Falhas em equipamentos	X	-	X
<b>E16</b>	Ações e recomendações	X	-	X

## 6.5 Indicadores Básicos

Os indicadores básicos foram segmentados, de acordo com a proposição do CCPS (2011a), em indicadores do tipo *lagging*, *leading* e *near miss*. Em cada segmento, destacam-se quais dos 16 elementos anteriormente citados estão sendo atendidos.

Os indicadores e seus cálculos matemáticos estão apresentados nos tópicos a seguir. É importante ressaltar que as métricas adotadas buscaram se aproximar, o quanto possível, das métricas de cálculos utilizadas pelo CCPS (2011a). Estes cálculos podem ser adaptados a realidade de cada unidade ou instalação.

### 6.5.1 Indicadores Básicos – *Lagging*

Estes indicadores são do tipo reativo e dizem respeito a acidentes ou incidentes que possuem envolvimento com o processo. Os indicadores *Tier 1* e *Tier 2*, utilizam como base os critérios do CCPS (2011a).

*Ind.1*      *nº de eventos classificados como Tier 1*

*Ind.2*      *nº de eventos classificados como Tier 2*

*Ind.3*       $Taxa\ Tier\ 1 = \frac{n^{\circ}\ de\ eventos\ Tier\ 1 * 1.000.000}{horas\ homem\ trabalhadas}$

*Ind.4*       $Taxa\ Tier\ 2 = \frac{n^{\circ}\ de\ eventos\ Tier\ 2 * 1.000.000}{horas\ homem\ trabalhadas}$

*Ind.5*       $\frac{n^{\circ}\ de\ eventos\ Tier\ 1\ e\ 2\ cobertos\ por\ PT\ no\ período}{n^{\circ}\ de\ eventos\ Tier\ 1\ e\ 2\ totais\ no\ período}$

*Ind.6*      *nº de vazamentos registrados com perda de contenção primária (independente da classificação Tier 1 ou Tier 2)*

*Ind.7* % dos eventos ocorridos que estão associados a falha de manutenção, inspeção ou teste

Na Tabela 8.2 encontra-se a relação entre os indicadores Ind.1 a Ind.7 e os elementos por eles atendidos.

**Tabela 6.2 Atendimento dos indicadores básicos *lagging* aos 16 elementos levantados**

<b>Indicador</b>	<b>Elementos Atendidos</b>
<i>Ind.1</i>	E3, E4
<i>Ind.2</i>	E3, E4
<i>Ind.3</i>	E3, E4
<i>Ind.4</i>	E3, E4
<i>Ind.5</i>	E3, E4, E9
<i>Ind.6</i>	E3, E4
<i>Ind.7</i>	E1, E4, E8

### **6.5.2 Indicadores Básicos – *Near Miss***

Estes indicadores dizem respeito a eventos indesejados que, por determinadas circunstâncias, não tomaram maiores proporções.

*Ind.8* *n<sup>o</sup> de falhas identificadas em barreiras de contenção durante manutenção, teste ou inspeção*

*Ind.9* *% de respostas incorretas a alarmes ou mudanças nas condições de processo*

*Ind.10* *n<sup>o</sup> de incidentes de segurança de processos associados a falha na gestão de mudanças*

*Ind.11*      *nº de ocorrências sanadas devido a disparo de sistemas de segurança*

Na Tabela 8.3 encontra-se a relação entre os indicadores Ind.8 a Ind.11 e os elementos da Tabela 8.1 que são por eles atendidos.

**Tabela 6.3 Atendimento dos indicadores básicos *near miss* aos 16 elementos levantados.**

<b>Indicador</b>	<b>Elementos Atendidos</b>
<i>Ind.8</i>	E1, E3, E8, E15
<i>Ind.9</i>	E5, E12, E14
<i>Ind.10</i>	E7
<i>Ind.11</i>	E13

### **6.5.3 Indicadores Básicos – *Leading***

Estes indicadores possuem o objetivo de gerar informações a respeito da segurança de processos. São os indicadores ditos “proativos” ou “preventivos”.

*Ind.12*      *% da equipe operacional com plano de treinamento em atraso*

*Ind.13*      *% de manutenções corretivas em atraso em relação ao plano de manutenção*

*Ind.14*      *% de manutenções preventivas em atraso em relação ao plano de manutenção*

*Ind.15*      *% de estudos de identificação de perigos e avaliação de risco penderes em relação ao programado*

<i>Ind.16</i>	<i>% de cumprimento das recomendações dos estudos de identificação de perigos e avaliação de riscos</i>
<i>Ind.17</i>	<i>% P&amp;IDs e demais documentos com atualização em atraso</i>
<i>Ind.18</i>	<i>% de mudanças auditadas que satisfizeram todos os procedimentos do gerenciamento de mudanças</i>
<i>Ind.19</i>	<i>% de ações geradas em auditorias que estão em atraso</i>
<i>Ind.20</i>	<i>nº de não-conformidades acusadas em auditorias que não foram previamente identificadas por inspeções internas</i>
<i>Ind.21</i>	<i>% de não conformidades repetentes em auditorias ou inspeções internas</i>
<i>Ind.22</i>	<i>nº de treinamentos, manutenções, inspeções, testes ou exercícios simulados pendentos por questões relacionadas a produção</i>
<i>Ind.23</i>	<i>% extensão da jornada = <math>\frac{\text{horas homem trabalhadas}}{\text{horas homem programadas}}</math></i>
<i>Ind.24</i>	<i>% de revisões em procedimentos, documentos ou treinamentos disparados devido a lições aprendidas</i>
<i>Ind.25</i>	<i>nº de elementos do sistema de segurança em condição de by-pass</i>
<i>Ind. 26</i>	<i>% de documentos de gerenciamento de mudanças não conformes</i>

Na Tabela 8.4 encontra-se a relação entre os indicadores Ind.12 a Ind.26 e os elementos por eles atendidos.

**Tabela 6.4 Atendimento dos indicadores básicos *leading* aos 16 elementos levantados.**

<b>Indicador</b>	<b>Elementos Atendidos</b>
<i>Ind.12</i>	E14
<i>Ind.13</i>	E1
<i>Ind.14</i>	E1
<i>Ind.15</i>	E2
<i>Ind.16</i>	E2, E16
<i>Ind.17</i>	E12,E16
<i>Ind.18</i>	E5, E7, E10
<i>Ind.19</i>	E10, E16
<i>Ind.20</i>	E8, E10, E11
<i>Ind.21</i>	E10, E11
<i>Ind.22</i>	E1, E8
<i>Ind.23</i>	E15
<i>Ind.24</i>	E12,E16
<i>Ind.25</i>	E6
<i>Ind.26</i>	E7,E11

Foram propostos, ao todo, 26 indicadores básicos que atendem a pelo menos um dos elementos fundamentais elaborados a partir dos estudos anteriormente citados. Observa-se, porém que, em Monteiro (2012), há ocorrência de indicadores de segurança altamente associados a atividade nuclear. Estes indicadores fazem referência, por exemplo, a eventos de perda de contenção de barreira radiológica ou exposições ocupacionais a essas substâncias. Sugere-se assim, por analogia, a elaboração de indicadores que sejam altamente associados a bioprocessos.

Embora apresentem semelhanças com outras indústrias, os bioprocessos obviamente guardam suas peculiaridades. Deste modo é preciso avaliar alguns fatores a serem cobertos pelos indicadores de segurança propostos. Dependendo do organismo utilizado, um aspecto crítico neste tipo de atividade é a proteção de trabalhadores e meio ambiente (CCPS, 2011b). Sendo assim, surge a necessidade de métricas capazes de traduzir o desempenho do sistema de segurança da organização neste contexto em particular.

De acordo com o CCPS (2011b), o documento CWA 15793 (2008) – *European Committee for Standardization Workshop Agreement* pode ser utilizado como documento de referência para a gestão da segurança em bioprocessos. O documento trata de um sistema de gestão de riscos biológicos para laboratório, sendo, por outro lado, aplicável a atividades industriais relacionadas a bioprocessos.

Este documento é, ainda, compatível com a OHSAS 18001 (2007). Está alinhado ainda com a NBR ISO 9001 (2000), sobre Sistema de Gestão da Qualidade, e NBR ISO 14001 (2004), sobre Sistema de Gestão Ambiental.

Sendo assim, alguns tópicos destacados no CWA 15793 (2008) não podem ser ignorados na elaboração de indicadores para bioprocessos:

- Identificação da necessidade de treinamento da equipe e desenvolvimento de treinamentos em biossegurança;
- Realização de avaliação de riscos e desenvolvimento de recomendações para procedimentos e mudanças;
- Auditorias;
- Investigação de acidentes;
- Distribuição de informação relativa a biossegurança aos integrantes da organização;
- Coordenação e monitoramento de descontaminação, desinfecção e destinação de material biologicamente contaminado;
- Coordenação do recebimento e transporte de material biologicamente contaminado no interior da instalação;
- Estabelecimento de registros e sistema de estocagem seguros;
- Resposta a emergências;
- Contato com equipes de suporte, limpeza e contratados relativos a instalações de biossegurança.

Muitos destes itens estão cobertos pelos 16 Elementos Fundamentais nos quais se baseiam os indicadores básicos propostos. No entanto, de modo a atender particularidades das atividades envolvendo bioprocessos, foram aqui elaborados indicadores direcionados.

## 6.6 Indicadores Direcionados

Os níveis de biossegurança necessários a operação de uma unidade de bioprocessos está intimamente relacionado ao grupo de risco (GR) do organismo utilizado. De acordo com o CCPS (2011b), organismos patogênicos podem ser classificados em quatro grupos de risco (GR), conforme a Tabela 8.5.

**Tabela 6.5 Grupos de Risco para micro-organismos. Fonte: adaptado de CCPS, 2011b**

GR1	Risco baixo ou ausente a indivíduos e comunidade	Micro-organismos improváveis de causar doenças em animais ou humanos. São organismos disponíveis no ambiente ou serem humanos e, geralmente, não causam mal a pessoas, salvo em casos de baixa resistência
GR2	Risco moderado a indivíduos e baixo risco a comunidade	Patogênico com potencial de causar doenças, mas improvável de representar risco a trabalhadores, comunidade, pecuária ou meio ambiente. Exposição do trabalhador pode causar infecção, mas drogas e medidas preventivas estão disponíveis, mantendo limitado o risco de propagação.
GR3	Risco alto a indivíduos e baixo risco a comunidade	Patogênico com potencial de causar graves doenças, mas geralmente não se propaga de um indivíduo para outro. Drogas e medidas preventivas estão disponíveis.
GR4	Risco alto a indivíduos e comunidade	Patogênico que geralmente causa graves doenças que podem ser transmitidas de um indivíduo para outro, direta ou indiretamente. Drogas e medidas preventivas ainda não estão disponíveis.

Qualquer evento onde há exposição ocupacional indesejada a material biologicamente ativo deve levar em consideração o grupo de risco ao qual o trabalhador foi exposto. Sendo assim, um indicador e quatro sub-indicadores do tipo *lagging* que podem ser acompanhados em atividades de bioprocessos são:

*Ind.27 % dos eventos ocorridos onde houve exposição ocupacional indesejada a material biologicamente ativo ou potencialmente ativo (independente de classificação Tier 1 ou Tier 2)*

*Ind.27-1 Ind.27 para organismos GR1*

*Ind.27-2 Ind.27 para organismos GR2*

*Ind.27-3 Ind.27 para organismos GR3*

*Ind.27-4 Ind.27 para organismos GR4*

Importante ressaltar que a unidade pode operar com um ou mais tipos de agentes, portanto, o indicador precisa ser adequado à realidade de cada instalação.

Outro importante fator neste tipo de atividade é a contaminação do produto final. O carregamento de substâncias contaminantes, incluindo organismos viáveis, para o produto final pode resultar em muito mais que uma simples perda de especificação, podendo representar um risco potencial para pessoas e meio ambiente (CCPS, 2011b).

Sendo assim, níveis de contaminantes em qualquer elemento que compõe o produto final devem estar dentro dos limites aceitáveis, definidos, por exemplo, por órgãos reguladores. Devem, ainda, ter essa condição atingida de maneira que possa ser validada (CCPS, 2011b). Esta validação pode ser obtida por métodos de análise do produto final.

Torna-se importante, portanto, acompanhar a quantidade de análises que indicaram presença de contaminantes que representassem risco a seres vivos e meio ambiente, independente do total de análises que levaram a uma perda de especificação do produto final.

*Ind.28 % das análises sobre produtos e co-produtos que indicaram presença contaminantes com potencial risco a seres vivos e meio ambiente*

O tratamento de resíduos e efluentes, por sua vez, é uma questão tão importante no processo quanto o produto final. Isso se deve ao fato de que os resíduos perigosos

não podem simplesmente ser liberados para o meio (CCPS, 2011b). Adicionalmente ao risco químico e físico presente na maioria dos efluentes industriais, o risco biológico em efluentes da indústria de bioprocessos pode ser potencialmente alto.

Dessa maneira, etapa crucial na indústria de bioprocessos é a inativação do material contaminado que deixa o processo como resíduo ou efluente. É importante notar que, para sistemas de larga escala, o termo inativação não pode ser considerado sinônimo de esterilização (CCPS, 2011b). Isso ocorre pois, geralmente, não é possível garantir a esterilidade do efluente ou resíduo. O sistema de inativação é projetado, portanto, para atingir nível aceitável de organismos viáveis (CCPS, 2011b).

Torna-se assim de grande valia a identificação de falhas em quaisquer equipamentos associados especificamente ao tratamento de resíduos e efluentes, sejam eles: sistemas de agitação, pulverização, aquecimento, tanques, contentores de espuma, autoclaves, etc. A identificação dessas falhas, antecipadamente a ocorrência de algum evento, é um indicador do tipo *near miss*.

Este tipo de indicador fornece informações valiosas para a melhoria da performance em segurança de processos. A identificação de falhas pode ocorrer durante manutenção/teste/inspeção, durante auditorias ou em ambas. De modo a fornecer ainda mais informações sobre a performance em segurança, torna-se interessante acompanhar as falhas que foram identificadas em auditorias mas que, por alguma razão, não foram detectadas durante manutenção, teste ou inspeção interna:

*Ind.29      n<sup>o</sup> de falhas identificadas no sistema de tratamento de resíduos e efluentes durante manutenção, teste ou inspeção*

*Ind.30      n<sup>o</sup> de falhas identificadas no sistema de tratamento de resíduos e efluentes durante auditorias que não foram detectadas durante manutenção, teste ou inspeção*

Falhas em barreiras biológicas devem ser acompanhadas no processo como um todo, e não apenas em relação aos produtos, resíduos e efluentes. Isto resulta nos seguintes indicadores, também do tipo *near miss*.

*Ind.31*      *nº de falhas ou degradação de barreira biológica identificadas durante manutenção, teste ou inspeção*

*Ind.32*      *nº de falhas ou degradação de barreira biológica identificadas durante auditorias que não foram detectadas durante manutenção, teste ou inspeção*

O *Ind.31* engloba também as falhas que alimentam o *Ind.29*. No entanto, pela importância atribuída ao tratamento de efluentes, pode ser de interesse da instalação acompanhar essas falhas separadamente. Percebe-se assim, que um mesmo dado pode alimentar diferentes indicadores, com objetivo de prover diferentes informações.

Tão importante quanto à identificação de falhas é a identificação de não conformidades, ou seja, do não atendimento a determinado requisito. Ressalta-se que os termos “falha” e “não conformidade” diferem no seguinte sentido: uma falha torna o objeto impróprio para uso, enquanto uma não conformidade apenas indica que ele está fora de determinado padrão, não se classificando assim como um indicador do tipo *near miss*, mas do tipo *leading*.

*Ind.33*      *nº de não conformidades relacionadas a risco biológico acusadas em auditorias que não foram previamente identificadas por manutenção, teste ou inspeção interna*

*Ind.34*      *% de não conformidades relacionadas a risco biológico repetentes em auditorias ou inspeções internas*

Sendo assim, o conjunto de indicadores aqui propostos é composto, ao todo, por 34 métricas. Estas foram divididas em dois segmentos: indicadores básicos (26 métricas) e indicadores direcionados (8 métricas). Para cada segmento há ainda a classificação em indicadores do tipo *lagging*, *near miss* e *leading*.

## 7 CONCLUSÃO

Os acidentes de processo são os eventos indesejados que podem afetar diversas esferas, como: perpetuidade do negócio, reputação e imagem, saúde financeira, meio ambiente, vidas humanas, entre outros. As causas que justificam a ocorrência de acidentes e incidentes são as mais diversas, desde perigos naturais a erros de projeto. Suas consequências são ainda mais diversas, podendo resultar de pequenos vazamentos a graves explosões.

Garantir a segurança, portanto, envolve desde o aprendizado com acidentes passados ao estabelecimento de processos para avaliar a performance da segurança na organização em questão. Nesse contexto, os indicadores de segurança são ferramentas auxiliares à gestão da segurança que fornecem uma série de dados relevantes, que podem contribuir para ações preventivas e corretivas.

Neste estudo foram propostos, para atividades relacionadas à bioprocessos, 34 indicadores. Estes foram segmentados em: Indicadores Básicos, composto por 26 métricas; e Indicadores Direcionados, composto por 8 métricas. Os Indicadores Básicos foram propostos com base em 16 Elementos Fundamentais resultantes da análise de métricas já praticadas em diversas indústrias (nuclear, *offshore* e petroquímica). Os Indicadores Direcionados, por sua vez, contemplam particularidades relacionadas a plantas de bioprocessos.

Todas as 34 métricas desenvolvidas contam com restrições e premissas, necessárias à efetividade da implantação destes indicadores. A utilização dos indicadores propostos pode ser de grande proveito à Gestão da Segurança de Processos. No entanto, há ainda a necessidade do desenvolvimento de indicadores específicos, de modo a atender particularidades de cada unidade fabril.

Recomenda-se um estudo voltado a integração dos indicadores de segurança de processos com indicadores de segurança ocupacional. Uma abordagem integrada pode ser uma melhor estratégia para a prevenção de acidentes. Os indicadores propostos devem ainda ser aplicados em diversas instalações reais, para que a adequação das métricas possa ser validada em cada uma delas.

A relevância, disponibilidade e frequência de dados para cada unidade poderá definir a aplicabilidade de cada indicador naquela instalação. Quanto mais semelhantes os processos, tipo de coleta de dados e métricas adotadas, mais se pode esperar sobre a existência de comparabilidade entre os indicadores para diferentes unidades industriais.



## REFERÊNCIAS

ABDI; CGEE. **Biotecnologia, Iniciativa Nacional de Inovação, Panorama da Biotecnologia no Mundo e no Brasil**. Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial. [S.l.]. 2008.

AMBRÓSIO, C. W.; LEITE, M. S. **Contratação por desempenho em serviços de manutenção: o caso da CST Arcelor Brasil**. Revista Produção On-line, v.8, n.3. Florianópolis, p. 1-17. 2008.

AMORIM, E. L. C. D. **Apostila de Ferramentas de Análise de Risco**. Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Maceió, AL. [s.d.].

API. **API Recommended Practice 754: Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries**. American Petroleum Institute. [S.l.]. 2010.

BALBI, A. L., *et al.* **Análise da Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental da Obtenção de Sal e Água a Partir do Processo de Dessalinização da Água do Mar Para um Complexo Petroquímico**. Projeto de Final de Curso, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ. 2014.

BARBOSA, M. Q. **De Volta ao Local do Crime**. Website ISTOÉ. Disponível em: [www.istoe.com.br/reportagens/174090\\_DE+VOLTA+AO+LOCAL+DO+CRIME](http://www.istoe.com.br/reportagens/174090_DE+VOLTA+AO+LOCAL+DO+CRIME) (Acessado em 06/07/14). 2011.

BARRERA, P. **Gestão de riscos em saúde, segurança e higiene – Ergonomia no espaço do trabalho**. 11º Congresso de Atuação Responsável. [S.l.]. [s.d.].

BP. **Containing the Leak**. Website BP. Disponível em: [www.bp.com/en/global/corporate/gulf-of-mexico-restoration/deepwater-horizon-accident-and-response/containing-the-leak.html](http://www.bp.com/en/global/corporate/gulf-of-mexico-restoration/deepwater-horizon-accident-and-response/containing-the-leak.html) (Acessado em 06/07/2014) Londres. 2014.

BRASKEM. **Entrevista com equipe de Segurança de Processos (SEPRO) da Unidade de Insumos Básicos de Duque de Caxias (UNIB4)**. Braskem. Rio de Janeiro. 2014.

BRASKEM. **O Setor Petroquímico**. Website Braskem. Disponível em: [www.braskem-ri.com.br](http://www.braskem-ri.com.br) (Acessado em 22/05/14). 2014a.

BRASKEM. **PE Verde**. Website Braskem. Disponível em: [www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br) (Acessado em 22/05/14). 2014b.

CABETE, R. P. **Proposta de Métricas de Indicadores de Segurança de Processos para Instalações de Produção de Óleo e Gás Offshore**. Dissertação de Mestrado. Escola de Química/UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

CALLADO, A. L. C., *et al.* **Análise dos indicadores e ações de organizações agroindustriais segundo as perspectivas do balanced scorecard**. Revista Universo Contábil, v.3, n.3. Blumenau, p. 38-53. 2007.

CARVALHO, C. P. D.; GOMES, R. S. **Análise Crítica dos Casos Exxon-Valdez (1989) - PETROBRAS - O Que Alterou em Termos de Governança Corporativa e Sustentabilidade Organizacional das Empresas?** V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ. 2009.

CARVALHO, J. A. B. D. **Uma proposta de agrupamento de indicadores para avaliação da efetividade do gerenciamento da segurança de usinas nucleares**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2009.

CASA. **SMS for Aviation- A Practical Guide: Safety Management System Basics**. Civil Aviation Safety Authority. Austrália. 2012.

CCPS. **Process Safety Leading and Lagging Metrics**. New York: Center for Chemical Process Safety, 2011a.

CCPS. **Guidelines for Process Safety in Bioprocess Manufacturing Facilities**. New York: Wiley, 2011b.

CEFIC. **The European Chemical Industry Facts and Figures 2013**. The European Chemical Industry Council. Europa. 2013.

CETESB. **Análise de Risco**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: [www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/12-grandes-acidentes](http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/12-grandes-acidentes) (acessado em 06/07/14). São Paulo. 2014.

CLIFFE, K. **"Downstream Processing," in Biotechnology for Engineers**. Chichester, England: A.Scragg, p. 302-321, 1988.

COELHO, M. Q. **Indicadores de performance para projetos sociais: a perspectiva dos stakeholders**. Alcance, Biguaçu, v.11, n.3, p. 423-444. 2004.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Chemical process safety: fundamentals with applications**. Second Edition. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002.

CWA15793. **Laboratory biorisk management**. European Committee for Standardization Workshop Agreement, CEN Workshop 31 - Laboratory biosafety and biosecurity. Europa. 2008.

DINIZ, A. **Desenvolvimento de Programa de Segurança de Processos: Um Caso de Sucesso entre a Braskem e a DNV**. Camaçari, BA. 2010.

DINIZ, L. J. **Análise de Riscos em Projetos: Uma Abordagem Qualitativa ou Quantitativa?** SlideShare. Disponível em: [pt.slideshare.net/adorepump/anlise-de-riscos-em-projetos-uma-abordagem-qualitativa-ou-quantitativa-presentation](http://pt.slideshare.net/adorepump/anlise-de-riscos-em-projetos-uma-abordagem-qualitativa-ou-quantitativa-presentation) (acessado em 23/07/14). Minas Gerais. 2004.

DROGARIS, G. **Major accidents reporting system: lessons learned from accidents notified.** Community Documentation Centre on Industrial Risk. Luxemburgo. 1991.

DUTTA, R. **Fundamentals of Biochemical Engineering.** New York: Ane Books India (ISBN 978-81-8052-202-4), 2008.

EXAME. **BP sofre maior perda em 20 anos após vazamento no Golfo.** Website Revista Exame. Disponível em: [www.exame.abril.com.br/negocios/noticias/bp-sofre-maior-perda-em-20-anos-apos-vazamento-no-golfo](http://www.exame.abril.com.br/negocios/noticias/bp-sofre-maior-perda-em-20-anos-apos-vazamento-no-golfo) (Acessado em 06/07/14). 2011.

EXAME. **Petrobras pagará R\$ 610 mi por vazamento no Paraná.** Website Revista Exame. Disponível em: [exame.abril.com.br/negocios/noticias/petrobras-pagara-r-610-mi-por-vazamento-no-parana](http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/petrobras-pagara-r-610-mi-por-vazamento-no-parana) (Acessado em 14/07/14). 2013.

FLICKINGER, M. C. (Ed.). **Downstream Industrial Biotechnology: Recovery and Purification.** North Carolina: Wiley, 2013.

FREITAS, C. M., *et al.* **Acidentes Químicos Ampliados: Um Desafio para a Saúde Pública.** Centro de Estudo da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. Escola Nacional de Saúde Pública. FIOCRUZ. Revista Saúde Pública v.29. Rio de Janeiro, RJ. 1995. (503-514).

GARVEY, P. R.; LANSLOWNE, Z. F. **Risk Matrix: An Approach for Identifying, Assessing, and Ranking Program Risks.** Air Force Journal of Logistics, v. XXII, n. 1. [S.l.]. 1998.

GAZETA. **Acidentes: INSS cobra de empresas.** Website Gazeta Online. Disponível em: [gazetaonline.globo.com/\\_conteudo/2012/04/noticias/a\\_gazeta/economia/1208154-acidentes-inss-cobra-de-empresas.html](http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2012/04/noticias/a_gazeta/economia/1208154-acidentes-inss-cobra-de-empresas.html) (Acessado em 14/07/14). 2012.

HADHAZY, A. **20 Years After the Exxon Valdez: Preventing, and Preparing for, the Next Oil Spill Disaster.** Website Revista Scientific American. Disponível em: [www.scientificamerican.com/article/exxon-valdez-20-years-later-oil-spill-prevention](http://www.scientificamerican.com/article/exxon-valdez-20-years-later-oil-spill-prevention) (Acessado em 20/06/14). 2009.

HEINRICH, H. W. **Relation of Accident Statistics to Industrial Accident Prevention.** [S.l.], p. 170-174. [s.d.].

HELOU FILHO, E. A.; OTANI, N. **A utilização de indicadores na administração pública: a lei nº 12.120/2002 do estado de Santa Catarina.** Revista de Ciências da Administração, v.9, n.17. Florianópolis, p. 1-20. 2007.

HSG254. **Developing process safety indicators**. Health and Safety Executive (HSE). Richmond. 2006.

ILO-OSH. **Diretrizes Sobre o Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho**. Organização Internacional do Trabalho. São Paulo. 2001.

INSAG-13. **Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants**. International Nuclear Safety Advisory Group. Austria. 1999.

J & H MARSH & MCLENNAN INC. **Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries: A Thirty-Year Review**. [S.l.]. 1998.

KAPLAN, S.; GARRICK, B. J. **On The Quantitative Definition of Risk**. Society for Risk Analysis , Vol. I, No. I. Irvine, CA, p. 11-27. 1981.

KLETZ, T. **What Went Wrong? - Case Histories of Process Plant Disasters**. Houston, TX: Gulf Publishing Company, 1999.

LEEUWEN, L. V.; TULDER, R. V. **Casestudy: An Oil Stained Legacy - Greenpeace do Brasil vs. Petrobras S.A.** RSM Erasmus University. 2005.

MARSH. **The 100 Largest Losses 1972-2011. Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon Industry**. 22. ed. Reino Unido: Marsh Ltd, 2012.

MELO, C. L. *et al.* **Contaminação do Lençol Freático pelo Vazamento de Óleo na Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, Município de Araucária, Paraná**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8, p.13–19. 2003.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica, Financeira, Social e Ambiental do Sistema de Transporte Ferroviário de Passageiros de Interesse Regional, no Trecho: Caxias do Sul (RS) – Bento Gonçalves (RS)**. Ministério dos Transportes, Secretaria de Política Nacional de Transportes, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans). Santa Catarina. 2012.

MONTEIRO, G. P. **Uma Proposta de Indicadores de Segurança com Foco em Fatores Humanos e Organizacionais como Ferramenta de Prevenção de Acidentes**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

NATURE. **Researchers Debate Oil-Spill Remedy**. Website Nature. Disponível em: [www.nature.com/news/researchers-debate-oil-spill-remedy-1.12267](http://www.nature.com/news/researchers-debate-oil-spill-remedy-1.12267) (Acessado em 14/07/14). 2013.

NBR 14280. **Cadastro de acidente do trabalho - Procedimento e classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, RJ. 2001.

NBR-ISO-14001. **Sistema de Gestão Ambiental, Especificação e Diretrizes para Uso**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

NBR-ISO-9001. **Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2000.

NEA. **State-Of-The-Art Report on Systematic Approaches to Safety Management**. Nuclear Energy Agency/OECD. França. 2006.

NEVES, R. D. C. **Crises Empresariais com a Opinião Pública**. Mauad Editora. Rio de Janeiro. 2002.

OGP. **Process Safety - Recommended Practice on Key Performance Indicators**. International Association of Oil And Gas Producers. Relatório nº 456. 2011.

OHLWEILER, D. R. **A Inspeção Baseada em Risco como uma Ferramenta no Gerenciamento dos Riscos de Processo**. [S.l.]. [s.d.].

OHSAS 18001. **Occupational Health and Safety Management Systems**. United Kingdom. 2007.

OIT-174. **Convenção Sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores**. Conferência Geral da Organização Internacional do Trabalho. Genebra, Suíça. 1993.

OLIVEIRA, L. F. **Implicações do Acidente da Refinaria de Texas City para a Segurança de Processo**. Apresentação para a alta liderança da BRASKEM. Camaçari, BA. 2007.

ORTIZ, F. **Baía de Guanabara: vazamento da Petrobras completa 14 anos**. Website O Eco. Disponível em: [www.oeco.org.br/reportagens/28021-baia-de-guanabara-vazamento-da-petrobras-completa-14-anos](http://www.oeco.org.br/reportagens/28021-baia-de-guanabara-vazamento-da-petrobras-completa-14-anos) (Acessado em 14/07/14). 2014.

OSHA. **Formulas for Calculating Rates**. Web Site New Mexico Mutual. Disponível em: [www.nmmcc.com/wp-content/uploads/FORMULAS\\_for\\_CALCULATING\\_RATES1.pdf](http://www.nmmcc.com/wp-content/uploads/FORMULAS_for_CALCULATING_RATES1.pdf) (Acessado em 23/07/14). [s.d.].

PASSOS, F. U.; CARVALHO, E. **Segurança de Processos no Polo de Camaçari/Bahia - Uma Investigação dos Programas de Empresas Químicas e Petroquímicas**. UNIFACS - Universidade Salvador. Salvador, BA. 2012.

PC. **Segurança e Higiene no Trabalho. Volume XX: Indicadores de Segurança**. Guia Técnico O Portal da Construção. [S.l.]. [s.d.].

PEREIRA JÚNIOR, N., *et al.* **Tecnologia de bioprocessos - Séries em Biotecnologia v.1**. Escola de Química/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2008. (ISBN: 978-85-903967-2-7).

PERES, C. R. C.; LIMA, G. B. A. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. *Gestão & Produção*, v.15, n.1. São Carlos, p. 149-158. 2008.

PETRO&QUÍMICA. **Por que acidentes (ainda) acontecem?** Website Revista Petro&Química. Edição 317. Disponível em: [www.petroequimica.com.br/edicoes/ed\\_317/317.html](http://www.petroequimica.com.br/edicoes/ed_317/317.html) (Acessado em 07/07/14). 2009.

PIRES, M. M. **Gestão da Integridade de Barreiras: Fator Chave na Prevenção de Acidentes.** Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

REASON, J. **Managing the Risks of Organisational Accidents.** Ashgate, Aldershot, UK. 1997.

REASON, J. **The human contribution: unsafe acts, accidents and heroic recoveries.** Ashgate: Ashgate Publishing, p. 101, 2008.

RECEITA FEDERAL. **FAP - Fator Acidentário de Prevenção.** Website Receita Federal. Disponível em: [www.receita.fazenda.gov.br/previdencia/fap.htm#O](http://www.receita.fazenda.gov.br/previdencia/fap.htm#O) (Acessado em 19/07/14). Brasília. 2014.

REHN, H. J.; REED, G. **Biotechnology.** Weinheim, Germany: VCH-Verlagsgesellschaft mbH, v. 1-12, 1993.

RIGHI, A. W. **Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). [S.l.]. [s.d.].

ROVAGLIO, M.; SCHEELE, T. **Immersive Virtual Reality Plant:A Comprehensive Plant-Crew Training Solution Improves Process Reliability and Safety.** Invensys Systems. [S.l.]. 2010.

SILVA, C. S. D. **Process Safety Key Performance Indicators Panel.** Braskem. Triunfo, Rio Grande do Sul. [s.d.].

TRAPP, A. C. G.; CORRAR, L. J. **Avaliação e Gerenciamento do Risco Operacional no Brasil: Análise de Caso de uma Instituição Financeira de Grande Porte.** Revista Contabilidade & Finanças - USP, n. 37. São Paulo, p. 24 – 36. 2005.