

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**SEGURANÇA DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA 4.0**

**Julia Aparecida Versoni**

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Química da  
Universidade Federal de São Carlos

Orientadora: Profa. **Dra. Alice Medeiros de Lima**

São Carlos – SP

**2020**

## **BANCA EXAMINADORA**

Trabalho de Graduação apresentado no dia 14 de dezembro de 2020 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora: Profa. Dra. Alice Medeiros de Lima, DEQ/UFSCar

Convidado: Prof. Dr. Thiago Faggion de Pádua, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof. Dr. José Maria Corrêa Bueno, DEQ/UFSCar

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Luiz e Maria Isabel, por terem me dado a oportunidade de estar em uma universidade de excelência, além de todo o amor, carinho e apoio ao longo dos anos. Agradeço também aos meus irmãos, Andréia e Luís Fernando, por terem me incentivado e me apoiado nessa jornada.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial aos integrantes do “QG” e “RI”, por todos os momentos de felicidade, tristeza, superação, conquistas e apoio ao longo dos últimos anos. Agradeço a todas as pessoas com quem convivi na EQ Júnior e Núcleo São Carlos durante meu tempo no Movimento Empresa Júnior.

Agradeço a minha professora e orientadora Alice, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, além de todo apoio e compreensão durante o percurso.

Por fim, agradeço a todos os professores e funcionários da universidade que de alguma forma apoiaram meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

## RESUMO

O conceito de "Indústria 4.0" ou "Quarta Revolução Industrial" é recente e vem discutindo o uso de diferentes tecnologias para o desenvolvimento de fábricas inteligentes. Já os conceitos associados à Segurança de Processos existem há longa data, de modo que o advento da Indústria 4.0 traz oportunidades de melhoria e aprimoramento para a segurança de processos de forma geral. O trabalho foi desenvolvido na forma de revisão de literatura a respeito dos estudos realizados sobre a Segurança de Processos na Indústria 4.0, bem como principais conceitos, avanços e desafios a serem superados. A partir da revisão realizada é proposto um framework de atuação para a Segurança de Processos na Indústria 4.0, que apresenta os oito principais pilares de atuação, conjunto de tecnologias e metodologias estruturantes e, grandes desafios a serem superados. Por fim, o trabalho consolida as principais temáticas vinculadas ao tema, podendo ser utilizado futuramente como base para estudos aprofundados sobre aplicações práticas e interconexão entre elas.

**Palavras-chave:** Segurança de Processos, Indústria 4.0, Revisão de Literatura, Framework.

## ABSTRACT

The concept of "Industry 4.0" or "Fourth Industrial Revolution" is recent and has been discussing the use of different technologies for the development of smart factories. The concepts associated with Process Safety have existed for a long time, therefore, the advent of Industry 4.0 brings opportunities for improvement in general process safety. The study was developed in the form of a literature review regarding recent publications on Process Safety in Industry 4.0, as well as main concepts, advances and challenges to be overcome. From the review carried out, a framework for Process Safety in Industry 4.0 was proposed, which presents the eight main pillars of action, sets of technologies and structuring methodologies, and major challenges to be overcome. Finally, the work consolidates the main areas of study related to Process Safety in Industry 4.0 and can be used in the future as a reference for in-depth studies on practical applications and interconnection between them.

**Keywords:** Process Safety, Industry 4.0, Literature Review, Framework.

# SUMÁRIO

<b>BANCA EXAMINADORA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>SUMÁRIO</b> .....	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>NOMENCLATURA</b> .....	viii
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	2
2.1 – Segurança de Processos.....	2
2.1.1 – Contexto Histórico.....	2
2.1.2 – Segurança de Processos Baseada em Riscos (RBPS).....	3
2.1.2.1 – Riscos.....	4
2.1.2.2 – Primeiro Pilar: Comprometimento à Segurança de Processos.....	5
2.1.2.3 – Segundo Pilar: Compreensão de Perigos e Riscos.....	9
2.1.2.4 – Terceiro Pilar: Gerenciamento de Riscos.....	12
2.1.2.5 – Quarto Pilar: Aprender a partir da Experiência.....	19
2.2 – Indústria 4.0.....	21
2.2.1 – Princípios de Design.....	22
2.2.2 – Elementos fundamentais.....	22
2.2.2.1 – Sistemas Cíber Físicos (CPS).....	23
2.2.2.2 – Internet das Coisas (IoT).....	24
2.2.2.3 – Internet dos Serviços (IoS).....	24
2.2.3 – Elementos estruturantes.....	25
2.2.4 – Elementos complementares.....	27
2.2.5 – Fábricas Inteligentes.....	28
<b>3 – METODOLOGIA</b> .....	29
3.1 – Revisão de Literatura.....	29
3.2 – Framework.....	29
<b>4 – DISCUSSÃO E RESULTADOS</b> .....	30
4.1 – Estudos associados aos principais conceitos da Segurança de Processos na Indústria 4.0.....	30
4.1.1 – Uso pontual de tecnologias associadas a Indústria 4.0.....	30

4.1.2 – Uso da ISO 15926 para interoperabilidade.....	31
4.1.3 – Avanços em análises de perigo de processos.....	32
4.1.4 – Uso de gêmeo digital.....	34
4.1.4.1 – Tecnologias disponíveis.....	34
4.2 – Principais Desafios.....	35
4.2.1 – Panorama Brasil.....	37
4.3 – Framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0.....	39
<b>5 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do sistema de gerenciamento de segurança de processos.....	3
Figura 2 – Representação da arquitetura de um sistema ciber físico.....	23
Figura 3 – Representação das camadas estruturantes de uma fábrica inteligente.....	28
Figura 4 – Framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0.....	39

## NOMENCLATURA

### Abreviações

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Indústria
AI/IA	Inteligência Artificial
BLHAZID	Metodologia combinada de identificação de perigo
CCPS	Centro de Segurança de Processos Químicos
CPS	Sistema Cíber Físico
EPC	Event-driven process chain
ERP	Sistema de gestão integrada
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
FMEA	Análise de modo e efeito de falha
FMECA	Análise de modo, efeito e criticidade de falha
HAZOP	Estudo de perigos e operabilidade
HIRA	Identificação de Perigos e Análise de Riscos
IERC	European Research Cluster on The Internet of Things
IoS	Internet dos Serviços
IoT	Internet das Coisas
IT/TI	Tecnologia da Informação
LOPA	Análise de Camadas de Proteção
M2H	Comunicação máquina a humano
M2M	Comunicação máquina a máquina
MES	Acompanhamento e controle da produção
OT/TO	Tecnologia de Operação
OTS	Simulador de treinamento de operadores
PIB	Produto Interno Bruto
PLM	Gestão do ciclo de vida do produto
RBPS	Segurança de Processos Baseada em Riscos

## 1 Introdução

O termo “Indústria 4.0” foi citado pela primeira vez na Feira de Hannover, realizada na Alemanha em outubro de 2012, onde o grupo de trabalho apresentou um conjunto de recomendações ao governo alemão para sua implementação. Desde então, a Indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, vem sendo muito discutida, abordando o uso de diferentes tecnologias, como sistemas ciber físicos (CPS), manufatura ativa, inteligência artificial e internet das coisas, de maneira integrada para uma visão de fábricas inteligentes.

Já o estudo e implementação da segurança de processos é realizado há muitos anos, sendo que segundo CCPS (2016), a segurança de processos trata da prevenção, preparação, mitigação, resposta a, ou restauração de liberações catastróficas de produtos químicos ou energia. Dessa forma, ela aborda temas como análise e gerenciamento de riscos, integridade de equipamentos e a cultura de segurança de processos.

A segurança de processos muitas vezes acaba sendo ofuscada pela segurança do trabalho, que tem foco na segurança pessoal, atuando na prevenção de acidentes de trabalho como quedas, cortes, torções e lesões por esforço repetitivo. A frequência de acidentes e ferimentos relacionados a segurança do trabalho em indústrias de processo diminuiu consideravelmente nas últimas décadas (PITBLADO; NELSON, 2013). Entretanto, esse mesmo movimento não foi observado no contexto da segurança de processos, o que torna o movimento para Indústria 4.0 uma grande oportunidade de aprimoramento.

Por conta das discussões ainda recentes sobre Indústria 4.0, não existem guias e práticas definitivas sobre como a segurança de processos será desempenhada nesse novo contexto. Assim, o trabalho será desenvolvido na forma de revisão de literatura a respeito dos estudos já realizados sobre a segurança de processos na Indústria 4.0, bem como a respeito dos principais conceitos associados aos temas individualmente.

O trabalho procura explorar quais os principais avanços já realizados, bem como os principais desafios a serem superados, de forma geral e em especial para o contexto brasileiro, a fim de que as organizações se adequem à quarta revolução industrial garantindo a segurança de seus processos.

Por fim, o trabalho propõe um framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0, que apresenta de forma consolidada os principais pilares de transformação e tecnologias a serem avaliados, visando superar os desafios existentes para que a segurança de processos esteja presente nas fábricas inteligentes do futuro.

## **2 Revisão Bibliográfica**

O presente trabalho aborda a Segurança de Processos no contexto da Indústria 4.0. Assim, se faz necessário compreender os principais conceitos que balizam as discussões para o tema.

### **2.1 Segurança de Processos**

Segundo CCPS (2016), a segurança de processos trata da prevenção, preparação, mitigação, resposta a, ou restauração de liberações catastróficas de produtos químicos ou energia. Tais liberações podem se tratar de incêndios, explosões, vazamentos de produtos químicos, que ocorrem em plantas de processamento químico, petroquímico e demais indústrias.

Acidentes relacionados à Segurança de Processos podem ter grandes consequências, como ferimentos múltiplos ou até mesmo falecimento, prejuízo financeiro, destruição de propriedade e danos ao meio ambiente.

É importante ressaltar que a Segurança de Processos difere da segurança do trabalho. A última, mesmo que de grande importância, tem foco na segurança pessoal, atuando na prevenção de acidentes de trabalho como quedas, cortes, torções e lesões por esforço repetitivo.

A segurança de processos não é exclusiva à operação de plantas. Ela também tem grande relevância nas fases de pesquisa, síntese e desenvolvimento de piloto, uma vez que pode influenciar a escolha de equipamentos, operações unitárias e layout (CCPS, 2016).

#### **2.1.1 Contexto Histórico**

Há muito tempo indústrias se preocupam com a segurança de seus processos. Entretanto, foi a partir da metade do século 20 que técnicas formais de revisão e segurança começaram a ser adotadas, como HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade) e FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha). Antes disso, muito se contava com a experiência e habilidade dos profissionais atuando na segurança de processos (CCPS, 2016).

Após os acidentes de Seveso (liberação de dioxina na Itália) e Bhopal (liberação de isocianato de metila na Índia, causando mais de 3000 mortes), foi criado o Centro de Segurança de Processos Químicos (CCPS na sigla em inglês), com a missão de aprimorar a segurança de processos industriais.

O acidente de Bhopal evidenciou a necessidade de um gerenciamento de riscos e perigos, uma vez que apenas o controle de aspectos técnicos e operacionais do processo não foram suficientes para evitar a catástrofe. Assim, em 1989, o CCPS introduziu um conjunto de 12 elementos para direcionar a segurança de processos. Ao longo dos anos, e influenciado por diretrizes criadas por demais órgãos internacionais de segurança e saúde, os elementos inicialmente publicados

evoluíram para um framework de Segurança de Processos Baseada em Riscos (RBPS na sigla em inglês). O framework visa assegurar um gerenciamento de excelência da segurança de processos, bem como a melhoria contínua das indústrias (CCPS, 2016).

### 2.1.2 Segurança de Processos Baseada em Riscos (RBPS)

O framework de Segurança de Processos Baseada em Riscos oferece diretrizes que auxiliam indústrias a criarem sistemas de gerenciamento de segurança de processos que sejam mais efetivos (CCPS, 2007).

No contexto em questão, os sistemas de gerenciamento devem ser focados na prevenção, preparação, mitigação, resposta a, ou restauração de liberações de produtos químicos ou energia em suas plantas (CCPS, 2016).

Assim, o sistema de gerenciamento com base no RBPS conta com vinte elementos direcionais, organizados em quatro pilares base: Comprometimento à Segurança de Processos, Compreensão de Perigos e Riscos, Gerenciamento de Riscos e Aprender a partir da Experiência. Todos os pilares e seus elementos serão discutidos ao longo do capítulo. Uma representação do sistema pode ser encontrada na Figura 1.

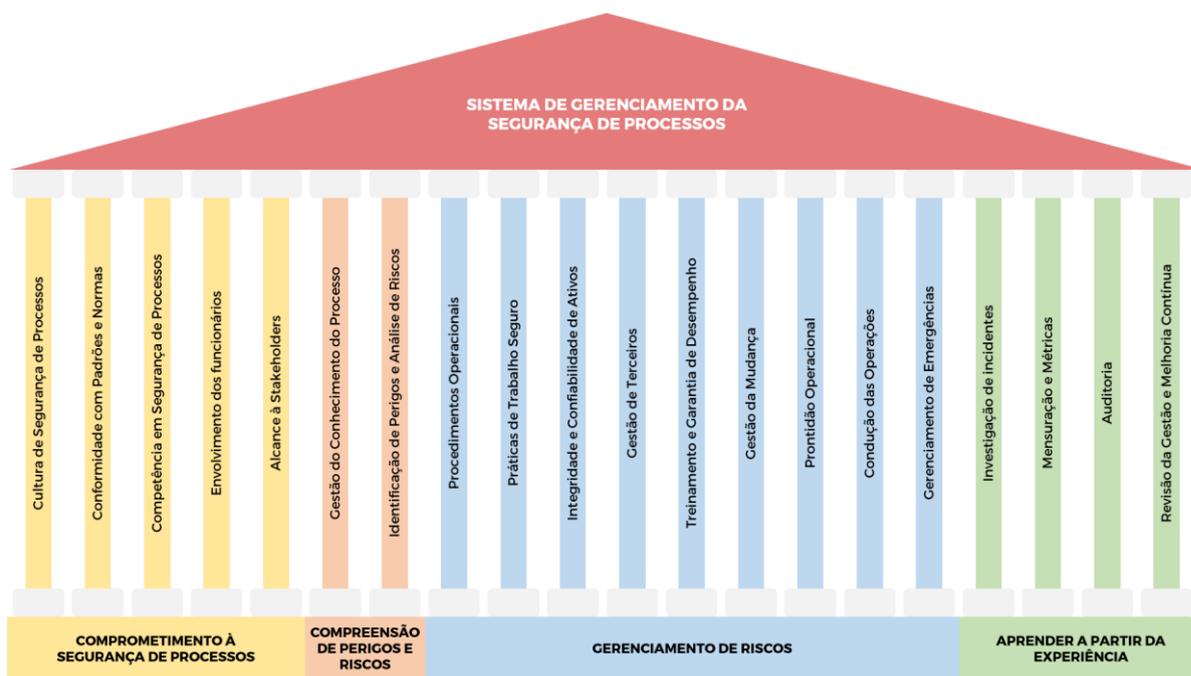


Figura 1 – Representação do sistema de gerenciamento de segurança de processos

Fonte: Adaptado de CCPS, 2014

De acordo com CCPS (2007), os pilares do RBPS podem ser implementados com sucesso por meio de duas principais estratégias, sendo elas:

1. Desenhar, corrigir ou melhorar elementos do sistema de gerenciamento de segurança de processos;
2. Focar na eficácia da segurança de processos com base na performance e eficiência.

A primeira estratégia trata da avaliação de todos os vinte elementos RBPS no contexto da organização, levando em consideração os riscos associados à operação do processo, os recursos necessários e a influência da cultura de segurança. Já a segunda estratégia tem foco em priorizar e destinar recursos às ações de segurança de processos, com base em métricas de avaliação de performance e eficiência.

Além disso, a aplicação das diretrizes do RBPS dentro de uma organização deve ser realizada de acordo com as etapas presentes no processo e nível de aprofundamento necessário para cada uma delas. Assim, é necessário pontuar que alguns aspectos técnicos podem ou não estar englobados no escopo do RBPS (CCPS, 2007). Esses aspectos estão elencados abaixo.

- *Ciclo de Vida Completo*: os elementos do RBPS devem ser aplicados a todo o ciclo de vida do processo, entretanto, é possível que em determinadas etapas tais elementos não estejam ativos ou as informações disponíveis não possibilitem um grande aprofundamento.
- *Instalações Fixas*: o sistema de gerenciamento foi pensado para plantas e operações fixas, ou seja, não estão contempladas etapas relacionadas a transporte.
- *Processos*: o sistema RBPS foi construído para ser aplicado a situações relacionadas a segurança de processos, portanto, não estão englobadas atividades relacionadas a segurança do produto final e riscos ao consumidor.
- *Áreas técnicas relacionadas*: o sistema RBPS foi escrito com foco exclusivo em segurança de processos, de modo que não são foram levadas em conta áreas como saúde ocupacional, proteção ambiental, distribuição do produto, qualidade, entre outras.

### 2.1.2.1 Riscos

A fim de garantir uma melhor compreensão a respeito dos elementos relacionados a Segurança de Processos Baseada em Riscos, é necessário explorar o conceito de risco adotado. O CCPS utiliza um conceito de risco constituído por três elementos, sendo que para cada um deles é possível encontrar uma pergunta direcionadora. Os elementos são:

1. *Perigo* - O que pode dar errado?
2. *Magnitude* - Quão ruim pode ser?
3. *Probabilidade* - Com que frequência pode acontecer?

De maneira geral, os três elementos são levados em consideração quando uma avaliação de riscos está sendo feita, seja ela quantitativa ou qualitativa. Entretanto, no contexto das diretrizes do RBPS, o termo "baseado em risco" pode ser utilizado mesmo quando nem todos os elementos do risco são avaliados para um processo ou atividade (CCPS, 2007).

Além disso, entender o conceito de risco é fundamental para que uma organização estruture seu sistema de gerenciamento de segurança de processos. Nem todas as etapas de um processo terão o mesmo risco, de modo que o rigor de implementação dos elementos do RBPS pode variar (CCPS, 2016).

### **2.1.2.2 Primeiro Pilar: Comprometimento à Segurança de Processos**

Após a apresentação de forma sintética da Segurança de Processos Baseada em Riscos, é necessário adentrar nos pilares e elementos que a constituem. O primeiro pilar é o de Comprometimento à Segurança de Processos.

A principal ideia do pilar é de que as organizações precisam de lideranças fortes, que estão comprometidas com o sistema de gerenciamento da segurança de processos. É necessário que toda a gerência da organização entenda a diferença de Segurança de Processos e Segurança do Trabalho (abordado anteriormente no tópico 2.1), e desenvolva seus programas de segurança de forma a atender e contemplar ambos os temas.

O comprometimento das lideranças é essencial para a segurança de processos, porém, para que os sistemas de gerenciamento tenham sucesso, é necessário que esse comprometimento seja expandido para todos os trabalhadores da organização. Uma vez que a segurança de processos é vista como um dos principais valores da companhia, as pessoas passam a realizar as coisas certas, da maneira certa, no momento certo, mesmo que não sejam cobradas ou ordenadas para tal (CCPS, 2007).

Além disso, uma vez que o comprometimento com a segurança esteja enraizado na cultura organizacional, ele também será base e motivação para que se possa alcançar a excelência nos aspectos técnicos da segurança de processo (CCPS, 2007).

O pilar conta com cinco elementos constituintes, os quais devem ser trabalhados para a implementação e execução de um sistema de gerenciamento de segurança de processos. Assim, de acordo com as diretrizes do CCPS, os elementos a serem trabalhados estão apontados abaixo.

- *Cultura de Segurança de Processos*

Segundo Jones (2001), podemos entender a cultura de segurança de processos como "uma combinação de valores e comportamentos de um grupo, que determinam a maneira como a segurança de processos é gerenciada".

O desenvolvimento de uma cultura acontece quando os indivíduos do grupo se identificam com determinados valores e comportamentos que tragam benefícios para todos. No con-

texto em discussão, esses valores e comportamentos são base para atingir o objetivo de maior segurança dos processos em operação (SCHEIN, 2017).

Uma vez que a cultura já está enraizada e é refletida nos comportamentos e ações dos membros da organização, todas as novas pessoas e recém-chegados também deverão adotar a cultura para que sejam aceitos e vistos como parte do grupo (CCPS, 2007).

Ter uma cultura de segurança de processos bem consolidada é de extrema importância, principalmente para operações que apresentam um risco elevado. A cultura influenciará o comportamento de cada indivíduo, de forma que todos entendam o porquê seguir os procedimentos de segurança é a coisa certa a ser feita (CCPS, 2007).

Segundo CCPS (2007), no que diz respeito a cultura de segurança de processos, existem três princípios fundamentais que devem ser avaliados quando se desenvolve, avalia ou evolui o sistema de gerenciamento dessa cultura. Os princípios são: manter uma prática confiável, desenvolver e implementar uma cultura sólida e, monitorar e guiar a cultura.

Manter uma prática confiável implica na necessidade de garantir uma implementação consistente ao longo do tempo, a partir do estabelecimento da segurança de processos como um valor da organização, lideranças fortes, alto padrão de desempenho e documentação do processo.

O desenvolvimento e implementação de uma cultura sólida está relacionado a garantir que as atitudes e comportamentos esperados realmente são os necessários para lidar com os desafios enfrentados pela organização (SCHEIN, 2017). Além disso, é necessário manter um senso de vulnerabilidade, a fim de que as pessoas tenham consciência dos perigos e suas consequências. A organização deve sempre prezar por uma comunicação aberta, empoderamento dos funcionários e um ambiente de aprendizado e questionamentos.

Por fim, as ações para monitorar e guiar uma cultura devem estar focadas em acompanhar o desempenho da organização. É necessário que indicadores possuam métricas claras e que seja feito o monitoramento constante dos processos em operação, sistemas de gestão e demais condições que impactam a segurança dos processos (WEICK; SUTCLIFFE, 2001).

- *Conformidade com Padrões e Normas*

Um sistema de padrões e normas, segundo (CCPS, 2007), é aquele capaz de "identificar, desenvolver, adquirir, avaliar, disseminar e providenciar acesso a padrões aplicáveis, códigos, regulações e leis que afetam a segurança de processos".

De maneira geral, esse sistema garante um processo formal por meio do qual a organização tem visibilidade das obrigações associadas a segurança de processos. O sistema é de grande importância, uma vez que ele traz embasamento para operação de plantas seguras e também o cumprimento das responsabilidades legais (CCPS, 2007).

Para isso, existem três princípios que devem ser observados, sendo eles: manter uma prática confiável de conformidade, conduzir atividades de trabalho de conformidade e, acompanhar as decisões, ações e uso dos resultados de conformidade.

De maneira análoga à manutenção de uma prática confiável no âmbito da cultura de segurança de processos, no que diz respeito a conformidade é necessário garantir a implementação do sistema de padrões e normas, identificar quando ele é necessário, utilizar pessoal capacitado para execução das práticas e garantir que ele continue efetivo.

O princípio de condução de atividades de trabalho de conformidade, está relacionado a informar as gerências e demais funcionários sobre as obrigações da companhia e status de conformidade. Além disso, é necessário revisar a aplicabilidade do sistema de padrões e normas sempre que mudanças surjam ou novas informações estejam disponíveis.

O último princípio trata dos desdobramentos a serem realizados a partir dos resultados de conformidade. Uma vez realizada a avaliação de conformidade aos padrões e normas, deve-se definir quais os próximos passos a serem realizados com base no resultado obtido. Caso a avaliação tenha um retorno positivo, ou seja, a organização está em conformidade aos padrões e normas, poucas ações de desdobramento são necessárias, sendo voltadas apenas para a divulgação dos resultados para entidades externas. No caso de resultado negativo, é necessário informar a gerência e apoiar a realização de atividades de regularização da conformidade.

- *Competência em Segurança de Processos*

De maneira geral, competência pode ser associada a capacidade de uma pessoa para realizar determinadas atividades de maneira correta. Para que isso seja possível, é necessário que a pessoa possua certos conhecimentos e habilidades, que guiarão sua atuação.

Analogamente, o elemento competência em segurança de processos tem como principal objetivo compreender e interpretar os conhecimentos necessários para que a organização possa tomar decisões corretas e assertivas no que diz respeito a segurança de processos. Além disso, a atuação nesse elemento aumenta as chances de que os funcionários estejam aptos a atuar de maneira assertiva em situações anormais (CCPS, 2015).

Segundo CCPS (2016), o desenvolvimento e manutenção desse elemento revolve ao redor da melhoria contínua do conhecimento, garantir que as pessoas tenham acesso às informações que necessitam e que os aprendizados sejam aplicados de maneira consistente.

Os princípios para o desenvolvimento, avaliação, ou melhoria dos sistema de gerenciamento da competência em segurança de processos são: manter uma prática confiável, executar atividades que ajudem a manter e aprimorar a competência, avaliar e divulgar resultados e, ajustar planos (CCPS, 2007).

A garantia de uma prática confiável pode ser associada ao estabelecimento de objetivos e construção de planos para alcançá-los. Para isso é necessário que sejam claros quais

os benefícios esperados, investimentos necessários, e que a organização acredite que a tomada de decisões deva ser embasada em conhecimentos suportados por fatos.

As atividades para a manutenção e aprimoramento da competência variam de acordo com a maturidade e objetivos da organização. Alguns exemplos seriam a documentação do conhecimento, atualização de informações, garantia de acesso às informações, entre outros.

A avaliação dos resultados obtidos com os esforços realizados para aprimoramento da competência deve ser realizada de maneira periódica, a fim de que possam ser realizados ajustes nos planos em operação, bem como traçar novos de acordo com os desafios a serem enfrentados.

- *Envolvimento dos funcionários*

O envolvimento e participação dos funcionários possui interface com o elemento de cultura que já foi abordado anteriormente. É de extrema importância que todos os funcionários, independentemente de seu nível hierárquico, tenham papéis e responsabilidades a fim de garantir e aprimorar a segurança das operações da organização (CCPS, 2007).

Dessa forma, é possível criar um sistema que permita a participação ativa de todos os funcionários no desenvolvimento, implementação e melhoria do sistema de gerenciamento RBPS. Além disso, o envolvimento dos funcionários também cria um vínculo com as lideranças, de modo que as lideranças possam levar em conta as sugestões dos funcionários no processo de tomada de decisão.

Segundo CCPS (2007), quatro princípios devem ser levados em consideração no desenvolvimento e implementação do sistema de gerenciamento do envolvimento dos funcionários: manter uma prática confiável, conduzir atividades de trabalho, monitorar a eficácia do sistema e, promover o programa de envolvimento de funcionários de maneira ativa.

Nesse contexto, uma prática confiável está associada a garantir a implementação consistente do programa de envolvimento. Além disso, é necessário que todos os funcionários tenham um conhecimento básico a respeito do programa e saibam quais suas responsabilidades individuais.

A condução das atividades do programa deve contar com a participação ativa dos funcionários, por meio da expressão de opiniões e sugestões sobre o sistema de gerenciamento RBPS. Além disso, é necessário garantir que os funcionários que participam ativamente consigam ver um retorno positivo ao tempo e esforço que investiram no programa. Após a implementação do programa, será necessário garantir que ele permaneça efetivo, portanto, ações de monitoramento, manutenção e correção devem ser realizadas periodicamente.

O último princípio aborda a promoção do programa de maneira ativa. As ações a serem realizadas podem variar de acordo com a maturidade da organização e do programa. No início da operação do programa podem ser necessárias ações de estímulo à participação.

Também é de grande importância divulgar os benefícios gerados com o programa, a fim de evidenciar o retorno do esforço realizado por funcionários e lideranças.

- *Alcance à Stakeholders*

Segundo CCPS (2007), o processo de alcance à stakeholder deve atuar na busca de indivíduos ou organizações que possam ser/acreditam ser afetadas por meio das operações da organização. Além disso, o processo deve estabelecer relações com a comunidade, demais empresas e autoridades governamentais. Por fim, é necessário providenciar informações precisas sobre os produtos, processos, plantas, perigos e riscos existentes na operação da empresa.

Esse processo é de grande importância, uma vez que o compartilhamento proativo de informações com a comunidade e governo ajudam a construir uma relação de confiança e comprometimento.

Ainda segundo (CCPS, 2007), o principal objetivo desse elemento é garantir que a organização tenha boas relações com stakeholders e estabeleça conexões com demais indústrias, governos e grupos de interesse. Para isso, quatro princípios devem ser observados, sendo eles: manter uma prática confiável, identificar necessidades de comunicação, conduzir ações de comunicação e, garantir a realização de ações e compromissos assumidos.

A manutenção de uma prática confiável está associada a garantia de uma implementação consistente, com pessoal alocado para monitorar as comunicações realizadas e atender a dúvidas, problemas e emergências. Para isso, é necessário que as pessoas envolvidas estejam capacitadas para a realização das atividades, e também que sejam feitas ações periódicas de monitoramento e manutenção que garantam a eficiência do processo.

A identificação de necessidades de comunicação deve passar primeiramente pela identificação dos stakeholder de maior relevância/impacto. A partir disso, é possível definir quais informações podem e devem ser transmitidas.

Por fim, é necessário garantir a realização de ações e compromissos assumidos. O cumprimento e entrega em promessas realizadas para quaisquer stakeholders reforça a relação de confiança entre as partes. Além disso, todos os feedbacks recebidos a respeito de preocupações dos stakeholders devem ser transmitidos a gerência, a fim de que seja possível alinhar a melhor linha de resposta e para que essas preocupações sejam levadas em conta no dia a dia da operação.

### **2.1.2.3 Segundo Pilar: Compreensão de Perigos e Riscos**

O segundo pilar da segurança de processos baseada em riscos trata da compreensão de perigos e riscos. Indústrias que utilizam informações a respeito de perigos e riscos no planejamento e execução de suas operações tem mais chances de serem bem sucedidas no longo

prazo, isso porque elas se mostram melhores na alocação efetiva de recursos limitados (CCPS, 2016).

Segundo CCPS (2007), para que organizações compreendam seus perigos e riscos, é necessário que foquem tanto na manutenção do conhecimento de segurança de processos, quanto na identificação de perigos e análise de riscos.

O pilar conta com dois elementos constituintes, os quais devem ser trabalhados para a implementação e execução de um sistema de gerenciamento de segurança de processos. Assim, de acordo com as diretrizes do CCPS, os elementos a serem trabalhados estão apontados abaixo.

- *Gestão do Conhecimento do Processo*

Segundo CCPS (2007), o objetivo principal do elemento é o de "manter informações precisas, completas e compreensíveis, que podem ser acessadas sob demanda".

As informações mencionadas acima tratam de documentos como: informações técnicas e especificações; cálculos e desenhos de engenharia; especificações para design, fabricação e instalação de equipamentos dos processos e; FISPQs, entre outros.

Vale ressaltar que apenas a compilação de documentos e informações não é suficiente. Assim, o elemento de "Competência em Segurança de Processos" é complementar a esse, por atuar para que as pessoas compreendam as informações coletadas.

Para que a diferença das informações coletadas nos dois elementos seja mais clara, as informações de gestão do conhecimento do processo costumam responder os "O que", enquanto as informações do elemento de competência se preocupam com os "Por que?".

Geralmente, a governança do elemento de gestão do conhecimento de processos irá mapear quais informações devem ser coletadas para todos as plantas/localidades, bem como quais devem ser coletadas com base nos perigos e riscos analisados. Para isso, quatro princípios devem ser seguidos, sendo eles: manter uma prática confiável, catalogar o conhecimento do processo de forma a facilitar sua recuperação, proteger e atualizar conhecimento do processo e, utilizar o conhecimento do processo.

A manutenção de uma prática confiável pode ser associada a uma implementação consistente com escopo definido, documentação extensiva de reatividade química e perigos de incompatibilidade, e também a alocação de responsabilidades para pessoal capacitado.

A catalogação do conhecimento do processo de forma a facilitar sua recuperação é de grande importância, uma vez que diversas informações podem ser perdidas por falta de organização. Assim é importante criar uma estrutura para disponibilização da informação e estratégia para proteção de documentos, a fim de que eles não sejam perdidos por negligência ou descuido. Também é importante que informações sobre cálculos, design e especificações possuam um armazenamento central, e que a documentação seja realizada de uma forma amigável e padronizada para os usuários.

A proteção e atualização do conhecimento do processo leva em conta diferentes ações. É necessário controlar ou limitar o acesso a documentos desatualizados, garantindo que seja possível identificar facilmente quais documentos contém informações atualizadas. Também é necessário garantir a precisão das informações, sendo necessário atualizar a documentação conforme são realizadas mudanças na operação.

Por fim, devem ser tomadas medidas para garantir a utilização do conhecimento do processo. Boas práticas estão vinculadas a garantir que novos funcionários saibam quais as informações disponíveis e como acessá-las, e também garantindo que as informações continuam sendo úteis ou se foram identificados novos gaps de conhecimento.

- *Identificação de Perigos e Análise de Riscos*

De acordo com CCPS (2007), a identificação de perigos e análise de riscos (HIRA, na sigla em inglês), "é um termo que engloba todas as atividades envolvidas na identificação de perigos e avaliação de riscos nas plantas, ao longo do seu ciclo de vida, para garantir que riscos aos funcionários, ao público, ou ao ambiente, sejam consistentemente controlados dentro das margens de tolerância da organização".

Os estudos realizados geralmente abordam as três questões de risco que foram apresentadas no item 2.1.2.1. Quando respondendo a essas questões, o aprofundamento da análise deve ser feito apenas ao ponto necessário para a tomada de decisão, uma vez que uma análise superficial pode levar a decisões ruins e uma análise com aprofundamento além do necessário desperdiça recursos (CCPS, 2007).

Existem diferentes ferramentas e metodologias que podem ser utilizadas para as avaliações e análises. Alguns exemplos são: HAZOP - Estudo de Perigos e Operabilidade, Checklists de análise, FMEA - Análise de modo e efeito de falha, FMECA - Análise de modo, efeito e criticidade de falha, LOPA - Análise de Camadas de Proteção.

Para o desenvolvimento, avaliação ou aprimoração do sistema de gerenciamento para identificação de perigos e análise de riscos, é necessário atuar em quatro princípios: manter uma prática confiável, identificar perigos e avaliar riscos, tomar decisões baseadas em risco e, seguir os resultados das avaliações.

A fim de manter uma prática confiável, primeiramente é preciso que o programa de identificação de perigos e análise de riscos seja documentado. A partir disso, é necessário integrar as atividades HIRA no ciclo de vida dos processos, identificando em que pontos devem ser realizadas as análises. Também é necessário definir o escopo de abrangência, tanto no que diz respeito a processos e materiais, quanto delimitações do espaço físico. Além disso, as atividades HIRA devem ser conduzidas por profissionais capacitados, que sabem qual é a diretriz de tolerância de riscos a ser seguida e base para tomada de decisões. Devem ser realizado monitoramento periódico do sistema HIRA, a fim de garantir sua eficiência.

A identificação de perigos e avaliação de riscos deve ser realizada com base em informações precisas sobre o conhecimento do processo. Além disso, é necessário selecionar qual metodologia será utilizado para a realização das análises e avaliações. O nível de complexidade das metodologias utilizadas variam de acordo com o nível de perigo envolvido. Por fim, é necessário que os avaliadores tenham a perícia e capacitação necessária, e que seja entregue um relatório extensivo da avaliação de riscos.

Após a realização das análises, é necessário que a tomada de decisão seja feita com base nos riscos mapeados. Para isso, é necessário aplicar os critérios de tolerância de risco para todos os identificados, e então selecionar quais as medidas de controle apropriadas.

O último princípio está relacionado à aderência aos resultados das análises. Assim, o primeiro passo a ser tomado é notificar os resultados obtidos à gerência, a fim de que as recomendações apresentadas sejam revisadas. Também é necessário documentar os riscos residuais e acompanhar o andamento das ações desdobradas das recomendações. Os resultados devem ser comunicados ao público interno e externo da organização, de acordo com as necessidades específicas de cada um.

#### **2.1.2.4 Terceiro Pilar: Gerenciamento de Riscos**

O terceiro pilar da segurança de processos baseada em riscos trata do gerenciamento de riscos. Segundo CCPS (2016), o pilar tem foco na operação prudente de processos que apresentam risco, no gerenciamento de mudanças que ocorrem em tais processos, na integridade dos equipamentos e a preparação para resposta a incidentes.

O pilar conta com nove elementos constituintes, os quais devem ser trabalhados para a implementação e execução de um sistema de gerenciamento de segurança de processos. Assim, de acordo com as diretrizes do CCPS, os elementos a serem trabalhados são:

- *Procedimentos Operacionais*

Um procedimento operacional pode ser entendido como um conjunto de instruções, as quais apontam e detalham os passos a serem seguidos para a execução de uma tarefa. Além disso, descrições dos processos, perigos, ferramentas e equipamentos de proteção costumam ser encontradas em procedimentos operacionais de qualidade (CCPS, 2007).

É importante ressaltar que o escopo desse elemento é restrito a atividades que requerem único, operação e desligamento seguros. Segundo CCPS (2007), para o desenvolvimento, avaliação e aprimoração de um sistema de gerenciamento dos procedimentos operacionais, é necessário observar cinco princípios: manter uma prática confiável, identificar quais procedimentos operacionais são necessários, desenvolver os procedimentos, usar os procedimentos para melhorar o desempenho humano e garantir que os procedimentos sejam mantidos.

A manutenção de uma prática confiável deve ocorrer a partir do controle dos formatos e conteúdos apresentados nos procedimentos. A existência de diferentes formatos proporciona certa flexibilidade para identificar qual o mais adequado, porém, formatos em excessos podem confundir os operadores. Além disso, é necessário manter um bom controle dos procedimentos, a fim de garantir que apenas os procedimentos em sua versão mais atual possam ser acessados.

Para a identificação dos procedimentos necessários, é interessante conduzir em um primeiro momento uma análise de quais tarefas e atividades devem ser realizadas. A partir disso, é possível definir quais os procedimentos e níveis de detalhamento necessários. Nesse caso, é importante que o nível de detalhamento seja definido com base no risco associado a atividade e aos conhecimentos e habilidades da pessoa que irá executá-la.

Tendo realizado a identificação dos procedimentos necessários, eles devem então ser elaborados. É importante que todas as informações presentes no procedimento sejam validadas e apresentadas em um formato utilizável e compreensível. Os procedimentos devem apresentar qual a resposta esperada do sistema, os limites seguros de operação, como determinar se os passos foram executados corretamente e possíveis consequências relacionadas a erros e omissões.

Os procedimentos desenvolvidos devem ser utilizados para aprimorar o desempenho das pessoas. Uma boa prática é utilizar os procedimentos durante os treinamentos realizados e garantir que eles estejam sempre disponíveis para uso dos funcionários. Por fim, é necessário realizar revisões periódicas de todos os procedimentos, e também corrigi-los rapidamente sempre que erros forem identificados.

- *Práticas de Trabalho Seguro*

De acordo com CCPS (2007), as práticas de trabalho seguro "ajudam a controlar perigos e a gerenciar riscos associados a atividades não rotineiras". Tais atividades são aquelas que não estão totalmente descritas nos procedimentos operacionais, assim, elas aumentam os riscos e as chances de acidentes.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de gerenciamento das práticas de trabalho seguro, é importante avaliar dois princípios: manter uma prática confiável e controlar as atividades não rotineiras de maneira efetiva.

Nesse contexto, para a manutenção de uma prática confiável, é importante que seja definido o escopo do elemento, identificada a governança de procedimentos e permissões relacionadas a atividades não rotineiras, e definição de papéis e responsabilidades.

O segundo princípio está relacionado ao controle efetivo das atividades não rotineiras. Para isso, é necessário desenvolver os procedimentos necessários, bem como capacitar e treinar os funcionários e terceiros.

- *Integridade e Confiabilidade de Ativos*

De acordo com CCPS (2007), a integridade e confiabilidade de ativos "ajudam a garantir que o equipamento esteja projetado corretamente, instalado de acordo com as especificações e permaneça em condições de uso até o momento em que será substituído". Esse elemento trata da implementação sistemática de atividades, tais como inspeções e testes, que garantam que o equipamento estará em condições de atuar nas atividades para quais foi designado.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de gerenciamento da integridade e confiabilidade de ativos, é importante avaliar seis princípios: manter uma prática confiável, indentificar equipamentos e sistemas que estão no escopo do elemento, desenvolver e manter conhecimento, garantir condições de uso para o propósito especificado, atuar em falhas e deficiências dos equipamentos e analisar os dados.

A fim de garantir uma prática confiável é importante que a organização adote um programa formal de integridade, que possua sua política descrita e um guia para sua implementação. Para isso, é importante definir o escopo de atuação, basear as atividades de inspeção, testes e manutenção preventiva em padrões pré-estabelecidos, bem como envolver pessoal capacitado para o desenvolvimento da política.

Após a definição da política e seu escopo, é necessário identificar quais equipamentos e sistemas da organização se enquadram nele. Em seguida, deve ser desenvolvido um plano de inspeção, testes e manutenção preventiva, indentificando quais atividades devem ser realizadas para cada equipamento/sistema. O plano de atividades costuma seguir recomendações de fabricantes e de padrões pré-estabelecidos.

O princípio de desenvolver e manter conhecimento está relacionado ao desenvolvimento de procedimentos para inspeção, testes, reparos e outras atividades críticas de manutenção. Dessa forma, é necessário capacitar os funcionários e terceiros para a execução dessas atividades e fornecer as ferramentas necessárias.

A fim de garantir condições de uso para o propósito especificado, é necessário conduzir os testes e inspeções iniciais como parte do comissionamento da planta. Além disso, os testes e inspeções também devem ser realizados com a planta em operação. É importante planejar, controlar e executar todas as atividades de manutenção, sempre garantindo a qualidade nos reparos e demais materiais e atividades de manutenção.

Sempre que venham a ocorrer falhas e deficiências nos equipamentos, é necessário que as ações remediativas sejam tomadas com prontidão. A identificação das falhas e deficiências pode ser feita a partir dos relatórios de teste e inspeção. Também é importante analisar os resultados obtidos a fim de identificar problemas maiores que estejam prejudicando a integridade de outros equipamentos.

Por fim, é importante coletar e analisar os dados dos equipamentos, alterando a frequência de inspeções conforme necessário e planejando substituições.

- *Gestão de Terceiros*

Segundo CCPS (2007), é necessário implementar práticas que garantam que funcionários terceirizados consigam executar suas atividades de maneira segura e que não aumentem os riscos operacionais existentes na planta. Sem a implementação de tais práticas, terceiros podem não estar familiarizados com os perigos da planta e acabarem por sofrer algum tipo de exposição indesejada. Em contrapartida, a equipe terceirizada também pode gerar novos perigos com a realização de suas atividades, como por exemplo o uso de algum produto químico nocivo.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de gestão de terceiros, é importante avaliar três princípios: manter uma prática confiável, conduzir as atividades relacionadas ao elemento e monitorar a eficiência do sistema de gestão de terceiros.

A manutenção de uma prática confiável está relacionada a garantir uma implementação consistente do sistema de gestão de terceiros. É importante que o escopo de aplicação das práticas seja claro, e que se mantenham informações a respeito da performance dos terceiros no que diz respeito a segurança, a fim de verificar a eficiência das práticas adotadas.

As atividades relacionadas a esse elemento contemplam a seleção apropriada de terceiros, definição de expectativas, papéis e responsabilidades para a implementação do programa de segurança, e treinamento da equipe terceirizada.

A fim de monitorar a eficiência do sistema de gestão de terceiros, é importante auditar o processo de seleção de terceiros, avaliando a documentação de triagem e seleção. Além disso, como mencionado anteriormente, é necessário monitorar e avaliar a performance dos terceiros.

- *Treinamento e Garantia de Desempenho*

Um dos elementos definidos por CCPS (2007) é o de treinamento e garantia de desempenho. O elemento tem como objetivo trabalhar os atributos de um bom sistema de treinamento e os passos necessários para a implementação de um sistema de treinamentos robusto, uma vez que funcionários que não tenham sido capacitados de maneira adequada não realizarão um trabalho consistente.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de treinamento e garantia de desempenho, é importante avaliar quatro princípios: manter uma prática confiável, identificar quais os treinamentos necessários, prover treinamentos efetivos e monitorar a performance dos funcionários.

A manutenção de uma prática confiável está associada a definição de papéis e responsabilidades para todas as atividades relacionadas ao sistema de treinamentos. Também é importante validar a eficácia do sistema, manter um controle do material de treinamento e fazer as atualizações conforme necessário.

A necessidade por um treinamento é evidenciada quando existe uma defasagem entre os conhecimentos e habilidades que um funcionário detém e aquelas necessárias para a realização bem sucedida da atividade. Portanto, é necessário avaliar quais atividades deverão ser desenvolvidas e mapear os requisitos mínimos que garantam o sucesso da execução. A partir disso, é possível então determinar quais os treinamentos necessários.

Para prover treinamentos efetivos, é necessário desenvolver o material a ser utilizado no treinamento e avaliar qual o melhor momento para que ele seja realizado. É importante tornar o treinamento o mais acessível possível, visando minimizar longos períodos de treinamento fora do horário de trabalho/em hora extra. O monitoramento da performance dos funcionários poderá ser realizado a partir de qualificações iniciais e posteriormente com testes periódicos.

- *Gestão da Mudança*

Segundo CCPS (2007), a gestão da mudança "ajuda a garantir que mudanças a um processo não introduzam inadvertidamente novos perigos ou aumentem o risco de perigos existentes". Caso uma modificação seja realizada em um processo perigoso sem a devida revisão, é possível que o risco de um acidente de segurança de processos aumente consideravelmente.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de gestão da mudança, é importante avaliar cinco princípios: manter uma prática confiável, identificar potenciais situações de mudança, avaliar possíveis impactos, autorizar ou não a mudança e completar as atividades de acompanhamento.

Uma prática confiável para um sistema de gestão da mudança necessita de uma implementação consistente, envolvimento de pessoal capacitado e monitoramento da eficácia do sistema.

A partir da definição do escopo do sistema de gestão da mudança, é necessário gerenciar todas as fontes de mudança. Para isso, é possível monitorar todos os caminhos de realização das atividades, identificando potenciais situações de mudança.

Tendo identificado uma potencial situação de mudança, é importante providenciar as informações necessárias para que seja feita a avaliação da mudança em questão. Também é necessário garantir que os avaliadores possuam as ferramentas e perícia adequadas para a realização da avaliação.

Uma vez que a mudança tenha sido revisada e seus riscos avaliados, a gerência poderá decidir por aprovar sua implementação, solicitar correções ou recusar a solicitação. Além disso, uma vez que a solicitação de mudança seja aprovada, é importante atualizar toda documentação afetada pela mudança, comunicar as modificações aos funcionários e aplicar medidas de controle de riscos.

- *Prontidão Operacional*

De acordo com as diretrizes estabelecidas por CCPS (2007), o elemento de prontidão operacional garante que processos de desligamento sejam verificados, a fim de que estejam em condições para um reinício seguro. A experiência adquirida ao longo dos anos mostra que a frequência de incidentes é maior em momentos de transição dos processos, já que muitas vezes as condições de operação não estão exatamente como foram definidas para uma operação segura. Portanto, é de grande importância que o processo seja confirmado como seguro para reinícios.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de prontidão operacional, é importante avaliar quatro princípios: manter uma prática confiável, conduzir avaliações de prontidão operacional de acordo com a necessidade, tomar decisões de reinício a partir dos resultados das avaliações de prontidão e seguir com as decisões e uso dos resultados das avaliações.

A manutenção de uma prática confiável exige uma implementação consistente, eficaz e com pessoal capacitado. Também é necessário determinar o escopo das avaliações de prontidão e quais situações devem ser consideradas.

Para a condução das avaliações de prontidão, é importante que o time avaliador tenha os materiais e informações necessárias sobre o processo em questão. Deve ser preparado um processo de avaliação, que após ser executado e documentado, que garanta com confiança suficiente que o processo é seguro para ser reiniciado.

Após a realização da avaliação, os resultados devem ser analisados e as decisões e ações tomadas a partir deles devem ser comunicadas. A partir disso, é possível implementar medidas de controle de riscos e atualizar os materiais e documentações de segurança do processo.

- *Condução das Operações*

Segundo CCPS (2007), "a condução das operações é a execução de tarefas operacionais e gerenciais de uma maneira deliberada e estruturada". Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de condução das operações, é importante avaliar cinco princípios: manter uma prática confiável, controlar atividades da operação, controlar o status de sistemas e equipamentos, desenvolver as habilidades/comportamentos necessários e monitorar a performance organizacional.

A fim de garantir uma prática confiável é importante que sejam definidos papéis e responsabilidades para a execução das atividades e procedimentos, bem como estabelecer quais os padrões e objetivos esperados de performance.

Para que seja realizado o controle das atividades da operação é necessário que o sistema de gerenciamento estabeleça expectativas claras para cada atividade. Além disso, é importante que os funcionários sejam qualificados e que os recursos disponíveis para a operação sejam adequados. Os procedimentos e práticas de trabalho devem ser seguidos, e os limites de

operação devem ser seguidos. Ademais, é importante que comunicações entre funcionários, grupos de trabalho e trocas de turno sejam formalizadas.

Para o controle de status de sistemas e equipamentos é necessário formalizar os protocolos de acesso e responsabilidade sobre o ativo em questão. É importante que o equipamento/sistema seja mantido em boas condições de limpeza, rotulagem, iluminação, instrumentação e ferramentas.

No que diz respeito ao desenvolvimento de habilidades e comportamentos, alguns exemplos de características desejáveis são: observação e atenção a detalhes, atitude questionadora e de aprendizado, reconhecimento de perigos, entre outros. É importante também que a organização estabeleça padrões de conduta para todos os funcionários.

O monitoramento da performance organizacional deve garantir a prestação de contas, a melhoria contínua, capacidade física e mental dos funcionários, condução de inspeções de campo e correção de desvios de forma imediata.

- *Gerenciamento de Emergências*

Segundo CCPS (2007), o sistema de gerenciamento de emergências deve incluir:

1. Planejamento para possíveis emergências;
2. Garantia de recursos para a execução do plano;
3. Prática e melhoria contínua do plano;
4. Treinamento ou fornecimento de informação aos funcionários, terceiros, vizinhos e autoridades locais a respeito do que deve ser feito, como eles serão notificados e como podem reportar uma emergência;
5. Comunicação efetiva com stakeholders em caso de incidente.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de gerenciamento de emergências, é importante avaliar três princípios: manter uma prática confiável, se preparar para emergências e testar periodicamente os planos e nível de preparação.

A fim de garantir uma prática confiável, é importante desenvolver um programa que apresente de maneira compreensível todas as atividades que são suporte ao plano de resposta a emergências. Além disso, é necessário definir os papéis e responsabilidades, bem como o escopo do programa.

As preparações para uma emergência tem início na identificação de cenários de acidentes com base nos perigos mapeados. A partir disso, devem ser selecionados quais cenários serão contemplados no plano de resposta a emergências. Em seguida, devem ser traçados os planos de ação de respostas defensivas e ofensivas. Além disso, é necessário garantir os recursos e equipamentos necessários para a execução do plano. Tendo os planos criados,

devem ser realizados os treinamentos e comunicações necessários. Os planos devem ser revisados periodicamente a fim de garantir sua acurácia e utilidade.

Os testes dos planos podem ser realizados por meio de exercícios de evacuação, resposta a emergências e prática de comunicação de crise.

### 2.1.2.5 Quarto Pilar: Aprender a partir da Experiência

O quarto pilar da segurança de processos baseada em riscos trata do aprendizado a partir da experiência. Segundo CCPS (2016), o pilar envolve o monitoramento e atuação em fontes de informação internas e externas a companhia, a fim de transformar os erros nos processos em oportunidades de aprimoramento dos esforços dedicados a segurança de processos.

O pilar conta com quatro elementos constituintes, os quais devem ser trabalhados para a implementação e execução de um sistema de gerenciamento de segurança de processos. Assim, de acordo com as diretrizes do CCPS, os elementos a serem trabalhados são:

- *Investigação de incidentes*

Segundo CCPS (2007), "a investigação de incidentes é um processo para reportar, rastrear e investigar incidentes". Esse processo inclui tanto um processo de investigação formal do incidente quanto uma investigação a partir dos dados a fim de identificar incidentes recorrentes. A investigação de incidentes também gera uma oportunidade de comunicar as lições aprendidas para os funcionários e demais stakeholders.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de investigação de incidentes, é importante avaliar cinco princípios: manter uma prática confiável, identificar potenciais incidentes para investigação, utilizar técnicas adequadas para a investigação dos incidentes, documentar os resultados da investigação, avaliar a tendência de dados para identificar incidentes repetidos que devem ser avaliados.

A manutenção de uma prática confiável está associada a uma implementação consistente do programa em toda a organização, definição de um escopo para o elemento e monitorar a eficácia das práticas de investigação de incidentes.

A fim de garantir a identificação de potenciais riscos é necessário monitorar todas as potenciais fontes de incidentes, garantir que todos os incidentes sejam reportados e iniciar as investigações com prontidão.

É importante coletar os dados apropriados durante a investigação, fazendo uso de métodos de coleta e análise de dados. A equipe de investigação deve ter as ferramentas e perícia necessária para condução da investigação, bem como devem desenvolver recomendações efetivas a partir dos resultados obtidos. Além disso, é necessário que sejam desenvolvidos relatórios a respeito da investigação do incidente, evidenciando as causas e recomendações.

Após a consolidação do relatório, é necessário executar as recomendações apontadas e comunicar ao público interno e externo os resultados obtidos. Por fim, é importante avaliar a tendência dos dados do incidente, a fim de identificar incidentes repetidos que devem ser investigados.

- *Mensuração e Métricas*

De acordo com as diretrizes de CCPS (2007), o elemento de mensuração e métricas tem como objetivo definir um processo para o estabelecimento e manutenção de indicadores de segurança de processos, a fim de apoiar o monitoramento da eficácia do sistema de gerenciamento RBPS e a melhoria contínua. O monitoramento da performance do sistema de gerenciamento permite que problemas sejam identificados e que medidas corretivas sejam tomadas antes que um incidente sério ocorra.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de mensuração e métricas, é importante avaliar três princípios: manter uma prática confiável, conduzir a obtenção de métricas e usar as métricas para definir ações corretivas.

A manutenção de uma prática confiável está associada a uma implementação consistente e eficaz. Para isso, é necessário garantir que o escopo do sistema de métricas é apropriado e que exista uma programação para a coleta das métricas de cada elemento.

As organizações devem definir o número, escopo e taxa de atualização das métricas. A partir disso, é necessário coletar, atualizar e comunicar as métricas em um formato adequado. Por fim, as métricas devem ser utilizadas como base para definição de ações corretivas, visando aprimorar os elementos do sistema RBPS.

- *Auditoria*

Segundo CCPS (2007), o elemento de auditoria aborda "métodos formais para a realização de auditorias periódicas do sistema de gerenciamento RBPS, as quais deveriam reduzir os riscos a partir da identificação proativa e correção de fraquezas no projeto do sistema de gerenciamento e implementação". Logo, a auditoria tem como objetivo avaliar se os sistemas de gerenciamento estão sendo executados conforme planejado.

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de auditoria, é importante avaliar três princípios: manter uma prática confiável, conduzir as atividades relacionadas ao elemento e utilizar as auditorias para aumentar a eficácia do RBPS.

A fim de garantir uma prática confiável, é necessário que seja realizada uma implementação consistente, bem como identificar quando as auditorias são necessárias. Já a condução de atividades do elemento engloba ações como: preparação pré-auditoria, determinação de escopo e agenda, reunir o time de auditoria, atribuir responsabilidades, angariar informações, planejar as atividades, conduzir e documentar a auditoria e, atuar nas recomendações.

A partir das auditorias realizadas é possível monitorar a evolução de maturidade do RBPS ao longo do tempo, bem como identificar e compartilhar quais as práticas mais efetivas sendo utilizadas na implementação dos elementos do sistema.

- *Revisão da Gestão e Melhoria Contínua*

De acordo com CCPS (2007), "a revisão da gestão é a avaliação de rotina para saber se os sistemas de gestão estão funcionando como pretendido e produzindo os resultados desejados tão eficientemente quanto possível".

Para o desenvolvimento, avaliação e aprimoramento de um sistema de revisão da gestão e melhoria contínua, é importante avaliar três princípios: manter uma prática confiável, conduzir as atividades de revisão e monitorar a performance organizacional.

Para garantir uma prática confiável, é necessário estabelecer tanto papéis e responsabilidades quanto os padrões esperados de performance. A condução das atividades de revisão engloba ações como: preparação para a revisão, determinação de escopo e agendamento da revisão, reunir informações, preparar a apresentação, conduzir e documentar a revisão e, atuar nas recomendações.

Já o monitoramento da performance organizacional tem como objetivo identificar as fraquezas do sistema, a fim de que os insumos da revisão possam ser utilizados para o aprimoramento do RBPS.

## **2.2 Indústria 4.0**

O termo "Indústria 4.0" foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover (Alemanha), onde o grupo de trabalho apresentou um conjunto de recomendações ao governo alemão para sua implementação. Desde então, a Indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, vem sendo muito discutida, abordando o uso de diferentes tecnologias, como sistemas ciber físicos (CPS), manufatura ativa, inteligência artificial e internet das coisas, de maneira integrada para uma visão de indústria inteligente.

Segundo estudo realizado por BCG (2015), é esperado que a Indústria 4.0 faça com que os sistemas de produção sejam até 30% mais rápidos e 25% mais eficientes. Não existe uma definição clara sobre o que é a Indústria 4.0, porém, de maneira geral, segundo Ustundag e Cevikcan (2018) ela "tem foco no estabelecimento de sistemas inteligentes e comunicativos, incluindo comunicação máquina a máquina e interação entre humanos e máquinas".

Dessa forma, é necessário compreender quais os princípios de design e elementos constituintes da Indústria 4.0. Além disso, uma vez que o trabalho tem foco na segurança de processos, é importante avaliar os conceitos relacionados a fábricas inteligentes.

### 2.2.1 Princípios de Design

Segundo Gilchrist (2016), a Indústria 4.0 possui seis princípios de design identificados, que são utilizados para digitalização e automação dos processos produtivos. Os princípios estão apresentados abaixo.

- *Interoperabilidade*: se refere a capacidade de conectar, comunicar e operar diversos elementos por meio da Internet das Coisas. Esses elementos podem ser pessoas, máquinas, processos, fábricas inteligentes e demais tecnologias de interesse (GILCHRIST, 2016).

- *Virtualização*: processos e equipamentos existirão no mundo físico, entretanto, por meio de sensores será possível criar um “gêmeo digital” da fábrica/planta em questão. Dessa forma, será possível conduzir testes, customizações e diferentes simulações na planta virtual, sem necessidade de interromper os processos físicos (GILCHRIST, 2016).

- *Descentralização*: a descentralização permite que os diferentes sistemas em operação de uma fábrica inteligente possam tomar decisões de maneira autônoma, sem que ocorram desvios do caminho a ser traçado para o alcance dos objetivos da organização (GILCHRIST, 2016).

- *Capacidade em Tempo Real*: a operacionalização da Indústria 4.0 necessita de que as informações estejam disponíveis em tempo real. Assim, é necessário que a coleta de dados, feedbacks e monitoramento dos processos também ocorra em tempo real (GILCHRIST, 2016).

- *Orientação ao Serviço*: com o advento da Internet das Coisas, surgem novos potenciais serviços a serem consumidos, de modo que serviços internos e externos ainda serão exigidos pelas fábricas inteligentes (GILCHRIST, 2016). Assim, será possível que os processos de produção sejam modificados de forma a atender as necessidades específicas de cada consumidor.

- *Modularidade*: a modularidade permite a flexibilização dentro de uma fábrica inteligente, uma vez que construindo os produtos e processos de maneira modular e ágil, é possível alterar a produção de acordo com as circunstâncias e requisitos dos consumidores (GILCHRIST, 2016).

### 2.2.2 Elementos fundamentais

A fim de analisar quais os principais elementos que constituem a Indústria 4.0, foi adotada a estrutura proposta por Sacomano et al. (2018), que os divide entre elementos fundamentais, estruturantes e complementares.

Os elementos fundamentais, segundo Sacomano et al. (2018), são aqueles que "representam a base tecnológica fundamental sobre a qual o próprio conceito de Indústria 4.0 se apoia e sem os quais não poderia existir". Os elementos fundamentais são: Sistemas Cíber Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e Internet dos Serviços (IoS).

### 2.2.2.1 Sistemas Cíber Físicos (CPS)

De acordo com Gilchrist (2016), uma definição de sistemas cíber físico (CPS, na sigla em inglês) é a de que "são integrações de computação, networking e processos físicos". Logo, CPS permite que o mundo virtual de computadores e softwares se funda com o mundo físico, a partir do gerenciamento de processos e controle de feedbacks.

As arquiteturas de CPS possuem de maneira geral duas camadas. A primeira se trata da tecnologia operacional (física), e a segunda de tecnologia da informação (virtual). Esses sistemas não são uma fronteira tecnológica, mas sim uma maneira de integração de sistemas de informação e automação, que possibilitam a troca de informações, monitoramento e execução de comandos a distância. Como comentado anteriormente, as plantas passam a ter um "gêmeo digital", que recebe informações em tempo real, permitindo a atuação no mundo físico a partir do sistema virtual (SACOMANO et al., 2018).

Para garantir a comunicação e integração entre o mundo real e o virtual, são utilizados sensores e atuadores, a fim de coletar dados do sistema físico e executar comandos a distância. Esses equipamentos tendem a ser "inteligentes", de modo que seja possível ocorrer a tomada de decisão descentralizada e cooperação com humanos (SACOMANO et al., 2018).

A Figura 2 representa de forma simplificada a estrutura de um sistema cíber físico. Nela, podemos ver as duas principais camadas dos CPS. Na camada Cíber, podemos ver a presença do "Gêmeo Digital", aplicações de TI e monitoramento e controle automático em tempo real.

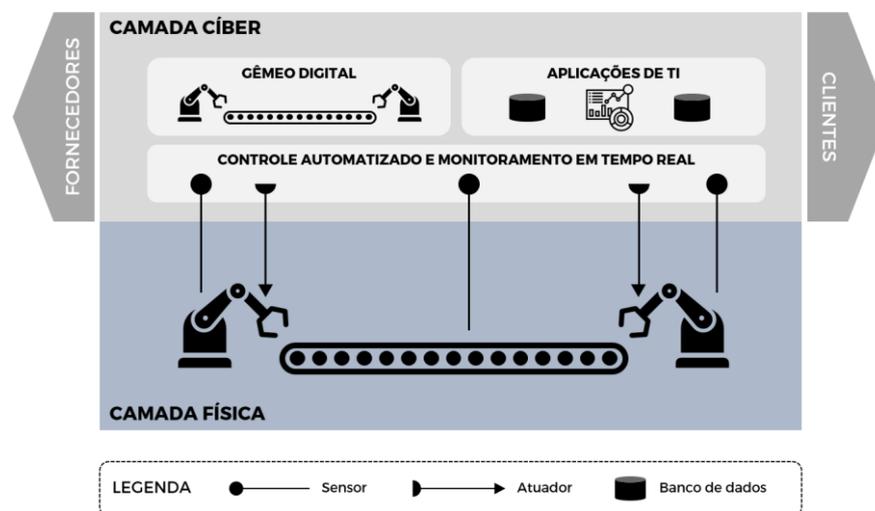


Figura 2 – Representação da arquitetura de um sistema cíber físico

Fonte: Adaptado de Sacomano et al., 2018

O Gêmeo possibilita a realização de testes e simulações sem que seja necessário interromper os processos produtivos. As aplicações de TI podem envolver a presença de *dashboards* (para que humanos monitorem os indicadores e dados dos processos), os bancos de dados que armazenam os dados provenientes da camada física (e podem alimentar sistemas de *business intelligence*) e demais sistemas como ERP (gestão integrada), MES (acompanhamento e controle da produção) e PLM (gestão do ciclo de vida do produto). Por fim, o monitoramento e controle em tempo real recebe os dados coletados por sensores e utiliza os atuadores para envio de comandos a serem executados no processo (SACOMANO et al., 2018).

### 2.2.2.2 Internet das Coisas (IoT)

A definição de Internet das Coisas do IERC (European Research Cluster on The Internet of Things) é de que ela "é uma rede dinâmica de infraestrutura global com capacidade de auto regulação baseada em padrões e protocolos de comunicação, onde "coisas" físicas e virtuais possuem identidades, aspectos físicos, personalidades virtuais e utilizam interfaces inteligentes, sendo integrada de maneira fluida às redes de informação (INTERNET... , 2014a)".

Segundo Internet. . . (2014b), IoT também pode ser entendida como a "rede de objetos físicos que contêm tecnologia incorporada para se comunicar, sentir ou interagir com seus ambientes internos e externos."

Nesse contexto, os chamados objetos inteligentes são aqueles que possuem capacidade de processamento e de conexão com a internet. Quando aplicados em manufaturas, redes de atuadores e sensores podem controlar os processos de produção, acarretando em aumento de competitividade e redução de custos operacionais (SACOMANO et al., 2018).

Além disso, segundo estudo realizado pela McKinsey Global Institute, os benefícios da implementação da IoT em fábricas estarão refletidos em "melhora da produtividade, incluindo de 10 a 20% de economia de energia e de 10 a 25% em aumento potencial de eficiência no trabalho. Também serão encontrados benefícios para manutenção de equipamentos, otimização de inventários e, saúde e segurança dos funcionários"(THE... , 2015).

### 2.2.2.3 Internet dos Serviços (IoS)

A Internet dos Serviços pode ser vista como uma nova maneira de se relacionar com *stakeholders* e objetos inteligentes, uma vez que a partir deles podem ser pensadas novas formas de serviços, que poderão ser encontradas, contratadas e utilizadas de forma online (SATYRO et al., 2017).

Por se tratar de serviços, esse tema carrega em si maior complexidade, uma vez que a definição de serviço varia de acordo com o contexto empregado. Além disso, os processos

que criam os serviços também podem ocorrer de diferentes maneiras, sendo eles físicos ou até mesmo intangíveis (SACOMANO et al., 2018).

Outro ponto a ser considerado é a adoção de estratégias de servitização. A servitização, nada mais é do que a venda de serviços originários de produtos ao invés da venda do produto em si, um exemplo para tangibilização do conceito seria a venda de cópias de documentos ao invés das máquinas copadoras. Com o aumento do uso de tecnologias digitais, também cresce o uso da servitização, sendo cada vez mais comum a venda de pacotes combinados de produto e serviços (SACOMANO et al., 2018).

### 2.2.3 Elementos estruturantes

Os elementos estruturantes, segundo Sacomano et al. (2018), "são tecnologias e/ou conceitos que permitem a construção de aplicações da Indústria 4.0". Os elementos estruturantes considerados estão apresentados abaixo.

- *Automação*

A automação se trata da realização de tarefas sem a intervenção humana. Os equipamentos que realizam as atividades atuam sozinhos a partir de condições e/ou instruções preestabelecidas. No caso da Indústria 4.0, a automação é vista como pré-condição para sua implementação, porém, não é necessário que todas as linhas de produção 4.0 sejam automatizadas (SACOMANO et al., 2018).

- *Comunicação Máquina a Máquina (M2M)*

Segundo Sacomano et al. (2018), "M2M pode ser definido como a comunicação entre duas máquinas ou a transferência de dados de um dispositivo a um computador central que pode ser realizada por meio de rede com ou sem fio, por meio de cabos, bluetooth, rede de telefonia celular ou internet". Têm-se também a possibilidade da tomada de decisão descentralizadas e de que os equipamentos possam identificar suas próprias necessidades de manutenção.

Além disso, mesmo que a comunicação entre as máquinas seja realizada de forma autônoma, as pessoas interessadas sobre o andamento da produção podem fazer o monitoramento dessa comunicação a qualquer momento. Esse monitoramento é chamado de comunicação máquina a humanos, em inglês, machine-to-human (M2H).

- *Inteligência Artificial*

O objetivo por trás da inteligência artificial é replicar a capacidade de raciocínio do ser humano por meio de dispositivos ou métodos computacionais. Dessa forma, o ser humano continuaria dando os comandos para a máquina, enquanto a máquina atuaria em função

de suporte, podendo controlar o processo de produção e fornecendo sugestões às diversas necessidades de tomada de decisão (SACOMANO et al., 2018).

- *Big Data Analytics*

Segundo BCG (2015), "a coleta e avaliação abrangente de dados provenientes de diferentes fontes - tanto de equipamentos de produção e sistemas quanto de empresas e sistemas de gerenciamento dos consumidores - se tornará constante para suportar a tomada de decisão em tempo real".

Os dados estruturados coletados já contam com diferentes análises estatísticas sendo realizadas, porém, a medida que são incorporados dados não estruturados (imagens, sons, expressões faciais, entre outros) cresce a complexidade de análise. Existem inúmeras possibilidades de aplicação de big data analytics na indústria, sendo que o diferencial no contexto 4.0 é a visão de que os dados obtidos e armazenados sejam um novo ativo da organização. Portanto, dados analisados podem gerar valor, enquanto que dados meramente armazenados são um desperdício de recursos (SACOMANO et al., 2018).

- *Computação em nuvem*

Uma vez que o volume de informações coletadas na Indústria 4.0 será elevado, se torna imperativa a necessidade de compartilhamento e análise dessas informações. Assim, como dificilmente as plantas de manufatura terão capacidade de armazenamento e processamento dessas informações, os provedores de serviços de computação em nuvem devem ser fortemente utilizados (GILCHRIST, 2016). Associado a isso, o maior benefício da computação em nuvem é a possibilidade de acesso aos dados via internet de qualquer lugar (SACOMANO et al., 2018).

- *Integração de sistemas*

Uma vez que as empresas utilizam diferentes tipos de equipamentos e tecnologias, é comum ocorrerem dificuldades de comunicação e integração dos mesmos, uma vez que muitos fabricantes seguem características e protocolos específicos (SACOMANO et al., 2018).

Mesmo entre áreas de uma mesma empresa (como engenharia, produção, compras, entre outras) é difícil se encontrar uma integração completa de sistemas, entretanto, na Indústria

4.0 é esperado que diferentes empresas, fornecedores e até mesmo consumidores estejam integrados (BCG, 2015). Portanto, é esperado que sejam criadas normas internacionais, protocolos universais ou padrões que facilitem e promovam a integração entre diferentes sistemas (SACOMANO et al., 2018).

- *Segurança Cibernética*

Segundo Sacomano et al. (2018), uma vez que as "informações, dados e comandos trafegam online, é importante que haja segurança contra invasões às redes de internet ou Intranet. O vazamento ou roubo dos dados e informações, ou a entrada de elementos maliciosos na

rede, comprometem todo modelo da Indústria 4.0". Dessa forma, comunicações confiáveis e seguras, bem como um gerenciamento sofisticado de usuários e acessos, se tornam indispensáveis (BCG, 2015).

#### 2.2.4 Elementos complementares

Os elementos complementares, segundo Sacomano et al. (2018), "são elementos que ampliam as possibilidades da Indústria 4.0 mas que não necessariamente tornam 4.0 as aplicações industriais que eventualmente os utilizem". Os elementos complementares considerados estão apresentados abaixo.

- *Etiquetas de RFID*

São dispositivos eletrônicos de identificação, que utilizam a radiofrequência como forma de comunicação. As etiquetas podem ser coladas em produtos, embalagens, equipamentos, e até mesmo animais e pessoas.

- *Código QR*

Os códigos QR atuam de maneira similar aos códigos de barra, diferenciando-se pela possibilidade de ser escaneado na maioria dos celulares que contam com câmera. O código QR pode armazenar mais informações do que um código de barras, podendo ser informações tais como número de telefone, e-mail, dados de produção, entre outros.

- *Realidade Aumentada*

A realidade aumentada engloba o mundo real a objetos virtuais, permitindo uma observação de maneira composta e/ou sobreposta. O uso de dispositivos (óculos, por exemplo) com essa tecnologia facilitam a realização de diferentes serviços, uma vez que não é necessário manusear informações em diferentes lugares.

- *Realidade Virtual*

A realidade virtual permite ao usuário de um conjunto de dispositivos experienciar uma realidade que só existe no mundo virtual. O conjunto de dispositivos pode incluir computadores, fones de ouvido, óculos, luvas sensíveis a movimento, entre outros.

- *Manufatura Aditiva*

Manufatura aditiva ou impressão 3D, consiste na impressão de objetos a partir da deposição em camadas, podendo ser realizada com diferentes materiais. Essa tecnologia facilita a criação de protótipos e também reduz a necessidade de produção de peças em locais distantes de onde serão utilizadas.

### 2.2.5 Fábricas Inteligentes

As fábricas inteligentes, por se tratarem de temas recentes, não possuem uma definição consolidada. Entretanto, o estudo realizado por Osterrieder, Budde e Friedli (2020), identifica algumas características recorrentes.

A primeira delas é a de que as fábricas inteligentes possuem maquinário equipado com sensores e atuadores, responsáveis por coletar, enviar, receber e processar dados. Além disso, esse maquinário se comunica entre si e se organiza a fim de alcançar um objetivo comum. Por último, todo o sistema seria monitorado por uma entidade superior, seja ela um humano, um software ou combinação dos dois.

A Figura 3, apresenta de maneira simplificada as camadas presentes na estrutura de uma fábrica inteligente. Nela, a camada física contém todo o chão de fábrica, com as atividades realizadas na produção e maquinário. A camada de dados contempla a transferência entre os sensores do maquinário e a nuvem, e vice versa. Os dados são então armazenados e processados na camada referente a computação em nuvem e inteligência. E por fim, a camada de controle, onde estão presentes o programa de controle central da fábrica e as pessoas que podem fazer as intervenções necessárias.

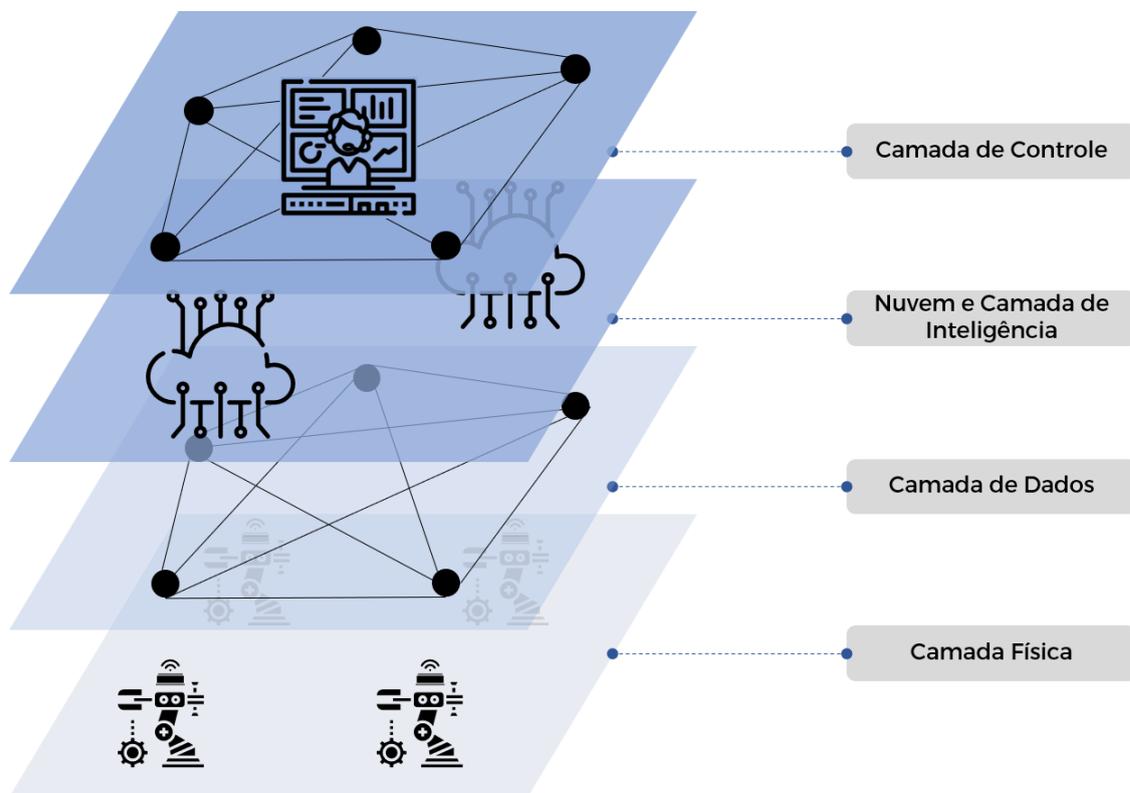


Figura 3 – Representação das camadas estruturantes de uma fábrica inteligente

Fonte: Adaptado de Osterrieder, Budde e Friedli, 2020

## 3 Metodologia

### 3.1 Revisão de Literatura

O objetivo principal do trabalho foi realizar uma revisão da literatura existente a respeito da segurança de processos no contexto da indústria 4.0. Para isso, foi utilizado o método de revisão narrativa.

A revisão narrativa não utiliza critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura, nem tem como finalidade esgotar todas as fontes de informação. Os estudos selecionados e a interpretação das informações estão sujeitas a subjetividade da autora.

### 3.2 Framework

Além da revisão de literatura, o trabalho propõe a construção de um framework que consolide as principais temáticas encontradas durante a revisão. A abordagem utilizada para a construção do framework em questão foi adaptada da proposta por Ritchie e Spencer (1994).

As etapas e atividades realizadas estão descritas abaixo:

1. *Familiarização*: a familiarização foi realizada em dois momentos, sendo o primeiro referente a construção do capítulo 2, onde foi possível avaliar os principais conceitos associados tanto a segurança de processos quanto a indústria 4.0. O segundo momento se deu ao longo da revisão de literatura, onde foram avaliadas diferentes informações a respeito da fusão dos dois temas.
2. *Identificação das temáticas*: após a familiarização, foi realizado o trabalho de identificação das temáticas recorrentes, as quais se tornariam a base da estrutura do framework.
3. *Concepção visual*: a partir das temáticas identificadas, foi necessário conceber qual a melhor estrutura e disposição dos elementos que constituem o framework.
4. *Interpretação*: a última etapa se refere a interpretação do framework e relações estabelecidas entre as temáticas e informações escolhidas.

## 4 Discussão e Resultados

### 4.1 Estudos associados aos principais conceitos da Segurança de Processos na Indústria 4.0

Uma vez que o conceito de Indústria 4.0 é relativamente novo, ainda não foram realizados estudos extensivos que avaliem a implementação da Segurança de Processos na Indústria 4.0 de maneira consolidada. Por conta disso, a discussão será realizada a partir dos principais estudos identificados que avaliam recortes dos temas de forma integrada.

#### 4.1.1 Uso pontual de tecnologias associadas a Indústria 4.0

A frequência de acidentes e ferimentos relacionados a segurança do trabalho em indústrias de processo diminuiu consideravelmente nas últimas décadas (PITBLADO; NELSON, 2013). Entretanto, esse mesmo movimento não foi observado no contexto da segurança de processos.

O estudo realizado por Jarvis e Goddard (2015) classificou as causas de acidentes relacionados a segurança de processos em quatro categorias:

1. Falhas de integridade mecânica (40-50%)
2. Falhas em práticas e procedimentos operacionais (20-30%)
3. Controle inadequado dos processos de trabalho (15%)
4. Identificação inadequada de perigos (10%)

É possível identificar que as indústrias estão aprimorando seus sistemas de atuação no que diz respeito a essas grandes causas, muitas vezes fazendo uso pontual de tecnologias associadas à Indústria 4.0. No estudo feito por Lee, Cameron e Hassall (2019), são apontadas algumas tecnologias a seguir.

- *Uso de sensores on-line que fornecem taxas de corrosão em tempo real;*
- *Conexão a sistemas de inspeção com uso de dados em tempo real da planta;*
- *Uso de machine learning e analytics preditivo para identificação de falhas na integridade mecânica de equipamentos*

A obtenção de dados em tempo real, bem como machine learnig e analytics, estão relacionados aos princípios de interoperabilidade e capacidade em tempo real. Porém, ainda existe um longo caminho a se seguir para que as empresas se tornem verdadeiras Fábricas Inteligentes. Os principais desafios a serem superados serão discutidos na seção 4.2 do trabalho.

### 4.1.2 Uso da ISO 15926 para interoperabilidade

A ISO 15926, intitulada *Sistemas de automação industrial e integração — Integração de dados de ciclo de vida para plantas de processo incluindo unidades de produção de óleo e gás*, oferece um padrão para integração, compartilhamento, troca e entrega de dados entre sistemas computacionais.

Como mencionado anteriormente, a interoperabilidade é um dos princípios da Indústria 4.0, objetivando conectar, comunicar e operar diversos elementos por meio da Internet das Coisas (GILCHRIST, 2016). Dessa forma, a existência de uma linguagem comum que represente todo o ciclo de vida de uma planta, simplifica o processo de integração entre os diferentes sistemas e elementos relevantes para a segurança de processos.

A ISO 15926 oferece uma linguagem padrão em formato ontológico. As linguagens ontológicas ajudam a representar a forma e a função das coisas, nesse caso, a ISO está sendo desenvolvida de modo a englobar todo o ciclo de vida de uma planta, contemplando as etapas de projeto, construção, operação, otimização, manutenção e descomissionamento. (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019)

A norma ainda está em desenvolvimento, porém, já é utilizada em representações 3D de plantas, P&Is, fluxogramas de processo e modelos para análise estrutural. Além disso, por mais que a maioria dos softwares CAD utilizem a norma para projeto e construção de plantas de processamento, raramente essa linguagem ontológica é transicionada das etapas de projeto para as de operação da planta (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019).

Ainda segundo Lee, Cameron e Hassall (2019), o uso de informações no formato proposto pela ISO 15926 pode gerar oportunidades como as apresentadas a seguir.

- *Representação do ativo físico ao longo de todo seu ciclo de vida;*
- *Representação da forma e função dos componentes dentro dos sistemas, viabilizando a aplicação de agentes de raciocínio (sistemas capazes de realizar ações autônomas e flexíveis);*
- *Estabelecimento de um protocolo padrão de comunicação;*
- *Atuação como repositório central de todas as informações relacionadas ao ativo físico.*

Os autores também identificaram algumas barreiras que dificultam a transição da ontologia ISO 15926 das fases de projeto para operação. As barreiras estão elencadas abaixo.

- *Falta de compreensão a respeito dos benefícios do uso do formato estabelecido na ISO;*
- *Existências de aplicações em uso que não utilizam a ISO 15926, fazendo com que seja necessário mover informações em um diferente formato para essas aplicações;*

- *Falta de habilidades digitais dentro da empresa e não requisição de informações no formato da ISO nas entregas de EPCs (da sigla em inglês, Event-driven process chain);*
- *Falta de estudos de caso do sobre o uso da ISO 15926 na melhoria dos resultados da organização.*

Algumas ferramentas de análises de risco qualitativas foram desenvolvidas para utilizar a representação de plantas da ISO 15926 como um input, como é o caso da BLHAZID (NÉMETH et al., 2011). Além disso, é comum que as instalações *greenfield* (instalações localizadas em áreas subdesenvolvidas, tipicamente em terras agrícolas) tenham as informações em formato ISO 15926 disponíveis. No caso das instalações *brownfield* (instalações em propriedades abandonadas, subutilizadas ou contaminadas), é provável que seja possível gerar essas informações em formato de ISO a partir dos fluxogramas, datasheets e PIs disponíveis. (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019)

O uso de uma linguagem ontológica comum que interconecte os diferentes modelos em operação em uma planta, representando quase todos os aspectos do seu ciclo de vida, permite a utilização de agentes de raciocínio para o desenvolvimento de soluções inovadoras com foco na segurança de processos, tanto para a fase de projeto quanto para operação. (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019)

#### **4.1.3 Avanços em análises de perigo de processos**

A metodologia HAZOP (do inglês, estudo do perigo e operabilidade) vem sendo estudada nas últimas décadas, a fim de que possa ser modificada e supere alguns de seus pontos fracos. Porém, mesmo com diferentes metodologias adaptadas propostas, poucas foram incorporadas a indústria (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019).

O uso de ferramentas digitais na condução das análises de perigo de processo oferece a chance de superar alguns dos defeitos de um processo de HAZOP tradicional (CAMERON et al., 2017). Alguns desses defeitos estão elencados abaixo.

- *Falta de profundidade nas análises;*
- *Falta de foco do time de avaliação por conta da repetitividade do processos;*
- *Avaliação incorreta da interação entre pessoas e procedimentos;*
- *Falta de completude na identificação de causas iniciais e cenários.*

Além disso, outras abordagens envolvem o uso de métodos combinados ao HAZOP, tais como o FMEA (do inglês, análise de modos de falha e efeitos), baseado em análises de falhas ocasionadas em componentes (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019). Abordagens como

BLHAZID utilizaram P&Is “inteligentes” a fim de fazer uso da ontologia ISO 15926 para condução de análises de perigos de processo de forma semiautomática.

Para que os processos modificados de HAZOP possam ser utilizados na indústria, é necessário que eles gerem saídas inteligentes e confiáveis que reduzam ainda mais os riscos de segurança de processos, e que possam ser aplicados sem grandes exigências de recursos. Entretanto, até o momento diferentes técnicas têm dificuldade em lidar com a complexidade de grandes plantas de processamento, que geram saídas que necessitam de novas revisões para a identificação dos problemas chave (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019).

Um dos caminhos identificados que podem ser seguidos para aprimorar a condução de análises de perigos de processo, é a partir do uso de modelos dinâmicos de processos (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019). Desde o início dos anos 2000, diferentes estudos avaliam as simulações e modelos dinâmicos a fim de melhorar as análises de perigo. Dentre os estudos mais recentes, é interessante mencionar os de Wu et al. (2014), Moskowitz et al. (2015) e Kummer e Varga (2019).

O estudo de Wu et al. (2014) apresenta a integração do método HAZOP (modelo qualitativo) às simulações dinâmicas para a condução das análises de perigo de processos. O modelo tem como objetivo raciocinar as causas, consequências e classificação dos riscos. Os cenários classificados como de alto risco ou intoleráveis, eram então analisados e avaliados com uso das simulações dinâmicas. Ainda segundo Wu et al. (2014), é necessário utilizar os modelos qualitativos uma vez que as simulações dinâmicas não conseguiriam simular situações de emergência e identificar causas dada uma certa consequência.

O estudo de Moskowitz et al. (2015) conduziu um estudo em um reformador à vapor de metano, apresentando as mudanças de pressão nos leitos de adsorção e alarmes e sistemas de instrumentação de segurança dentro do modelo utilizado. O modelo foi utilizado para eventos de causa específica a fim de estimar a probabilidade de potenciais consequências e as saídas foram então utilizadas para destacar cenários que precisariam de maior atenção por parte dos operadores ou que necessitariam de controles adicionais a fim de reduzir a frequência das causas iniciais.

O estudo mais recente é o de Kummer e Varga (2019), que utilizou uma plataforma de comunicação entre MATLAB e OTS (da sigla em inglês, simulador de treinamento de operadores) para gerar falhas, avaliar quando as condições de estado estacionário eram alcançadas e gerar análises de sensibilidade de perturbações em variáveis críticas. O objetivo da ferramenta é automatizar a geração e avaliação de perturbações a fim de oferecer dados de entrada para processos tradicionais de análises de perigo, visando reduzir a duração e o erro humano no processo.

Um ponto de atenção a ser considerado é que a maioria dos estudos realizados no tema focam em situações específicas de alto risco a fim de estudar seus impactos, ao invés de propor e

demonstrar uma análise de perigos sistemática (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019).

#### 4.1.4 Uso de gêmeo digital

O gêmeo digital, como mencionado anteriormente, é uma representação virtual da planta, sendo alimentado através de sensores presentes na planta física. Segundo Lee, Cameron e Hassall (2019), os simuladores de treinamento de operadores (OTS, na sigla em inglês) são uma forma importante de gêmeo digital para o aprimoramento da segurança de processos, uma vez que representam as plantas, as interações dos operadores e os procedimentos operacionais.

Ao longo das últimas décadas, houve um investimento significativo no contexto das indústrias de processo para o desenvolvimento e implementação dos OTS, a fim de melhorar as respostas dos operadores à situações anormais, visando reduzir acidentes e melhorar a confiabilidade da operação. Nesse contexto, segundo Lee, Cameron e Hassall (2019), "o coração do OTS é um modelo dinâmico de planta com alta fidelidade, frequentemente baseado em softwares de fluxogramas".

Esses modelos representam a planta de processamento com base nos fundamentos de química, física e matemática, simulando de forma precisa os impactos de alterações ou perturbações. Os modelos costumam espelhar a planta toda, podendo representar cenários de operação normal e anormal, bem como o início ou desligamento da operação. No que diz respeito a segurança de processos, os modelos também tem a habilidade de representar ou identificar consequências significantes a partir de falhas ou causas iniciais (LEE; CAMERON; HASSALL, 2019).

Com o uso dos OTS, é possível reduzir o período de treinamento necessário para capacitar os operadores. Além disso, por meio deles os operadores adquirem mais confiança e competência para lidar com situações anormais e executar procedimentos que não fazem parte do dia a dia da operação Lee, Cameron e Hassall (2019).

##### 4.1.4.1 Tecnologias disponíveis

Atualmente, empresas como Aveva e Aspentech já comercializam simuladores de treinamento de operadores. Além disso, a empresa Bentley em parceria com a Siemens, oferece o sistema "PlantSight" como um gêmeo digital para as empresas de processo. O "PlantSight" baseia sua atuação nas cinco principais frentes apresentadas abaixo.

- *Serviços de Agregação*: viabiliza a consolidação de todas as informações de engenharia em um formato consistente e definido, combinando informações de planilhas, diagramas PI e modelos 3D de diferentes softwares.

- *Serviços de Gestão da Mudança*: o sistema mantém uma linha do tempo das mudanças realizadas, informando como, quando e por quem a informação foi modificada.
- *Serviços Colaborativos de Engenharia*: o sistema faz o gerenciamento de informações a fim de garantir que elas sejam confiáveis e acionáveis, viabilizando a tomada de decisão com maior facilidade e confiança.
- *Projeto e Serviços Analíticos de Ativos*: o sistema permite que os processos da planta e a performance dos equipamentos sejam monitorados através de dashboards.
- *Serviços de Visualização*: o sistema também permite a visualização 3D de todos os ativos, mostrando a produção e performance dos equipamentos de maneira integrada em um dashboard.

## 4.2 Principais Desafios

Uma vez que as taxas de grandes acidentes relacionados a segurança de processos não foi reduzida ao longo dos últimos anos, a Indústria 4.0 oferece a oportunidade de integrar e alavancar as tecnologias e modelos atuais a fim de aprimorar a segurança de processos (SACOMANO et al., 2018).

Como mencionado anteriormente, tecnologias associadas a Indústria 4.0 já estão em uso nas indústrias de processamento, entretanto, muitas delas continuam sendo desenvolvidas para cenários específicos e ainda se encontram em múltiplas plataformas, limitando assim a conectividade e a integração (SACOMANO et al., 2018).

Dessa forma, uma vez identificadas as oportunidades de melhoria associadas a Indústria 4.0, é necessário avaliar quais os principais desafios que devem ser enfrentados para que ela se torne uma realidade.

Em estudo realizado por Zhou, Liu e Zhou (2015), é apontado que os desafios e dificuldades que a Indústria 4.0 deve enfrentar envolvem diferentes aspectos, podendo se tratar de desafios científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e políticos. No estudo em caso, foi dado um maior foco para os desafios de cunho científico e tecnológico, consolidados nos tópicos apresentados a seguir.

- *Desenvolvimento de dispositivos inteligentes*: as fábricas que operarem com as tecnologias da Indústria 4.0 terão maior intervenção de dispositivos artificiais, sendo necessárias configurações específicas para cada fábrica. Dessa forma, será preciso investir tempo e dinheiro no desenvolvimento desses dispositivos, antes que possam ser utilizados no dia a dia da operação.

- *Construção do ambiente de rede*: a construção de um sistema ciber físico de produção é um projeto complexo que hoje está limitado por diferentes condições, tais como a necessidade de modelagem e integração de sistemas, bem como verificações e testes extensivos. Além disso, a falta de padrões de especificação dificultam a construção e validação do sistema.

- *Análises de Big Data e processamento*: todos os elementos da Indústria 4.0 gerarão dados de forma contínua, fazendo com que seja necessário um sistema eficiente de integração e análise de dados em tempo real. Assim, será possível otimizar os recursos de toda a cadeia de produção. Por consequência, a geração de dados industriais e sigilosos exigem um maior sistema de segurança. No presente momento as tecnologias no campo de big data industrial ainda não estão maduras, sendo necessárias aprimorações desde hardware a software.

- *Manufatura digital*: a construção de uma manufatura digital deverá maximizar o uso da digitalização, simulação e tecnologias relacionadas a internet, a fim de obter uma base de dados consolidada e a integração dos softwares.

Adentrando o contexto das refinarias de petróleo, uma pesquisa realizada pela empresa Accenture apontou as principais tendências relacionadas a digitalização desse segmento, mostrando que os principais esforços de digitalização ainda visam melhorar o rendimento da produção, porém, encontram dificuldade em escalar essa digitalização para outras melhorias. Além disso, foram encontradas evidências de que o próximo passo a ser dado é o de maior foco na cultura e na gestão da mudança, a fim de melhorar a aceitação da digitalização e escalar a implementação para as demais áreas do negócio (ACCENTURE, 2019).

Ainda segundo Accenture (2019), as principais tendências e desafios encontrados para o setor estão apresentadas abaixo.

- *Transformação digital de refinarias está em progresso*: a pesquisa identificou que 60% dos respondentes está investindo mais em tecnologias digitais em comparação ao ano anterior.

- *Investimentos para transformação digital de novas áreas*: o planejamento da produção e a execução dos processos já se beneficiam das tecnologias digitais. Porém, para os próximos três anos, a pesquisa apontou que os investimentos devem ser destinados a manutenção preditiva dos ativos e maior automação das plantas.

- *Resistência à transformação digital*: no contexto das refinarias os custos associados a transformação digital já não são a principal barreira, mas sim a mudança de cultura para que as pessoas aceitem e adotem a transformação digital. Juntamente à resistência a transformação digital, a pesquisa também aponta a falta de uma estratégia clara como uma das barreiras a ser ultrapassada.

- *Dificuldade em aplicar a transformação em larga escala:* em comparação ao ano de 2018, um menor número de empresas se considera matura no âmbito digital. Isso se deve principalmente a dificuldade de convergência e integração entre as tecnologias de informação (IT) e de operação (OT).

- *Busca por parcerias que dêem suporte a jornada digital:* a maioria das refinarias está procurando um ecossistema novo e mais amplo de parcerias a fim de escalar a transformação digital.

Por fim, o estudo realizado por Moktadir et al. (2018) apresenta um conjunto de desafios identificados para a implementação da Indústria 4.0 nas indústrias de manufatura. O estudo foi avaliado no contexto das indústrias de couro, visando a identificar implicações para a segurança de processos e a proteção ambiental.

Os quatro principais desafios mapeados, em ordem de prioridade, estão apontados abaixo.

- *Falta de infraestrutura tecnológica*
- *Complexidade em reconfigurar o padrão de produção*
- *Falta de segurança de dados*
- *Alto investimento*

Segundo o estudo, o principal desafio está na falta de infraestrutura tecnológica, uma vez que para a operação de produção inteligente, é necessário o desenvolvimento dos dispositivos e estrutura inteligente a ser utilizada. Além disso, o estudo aponta que a indústria pode ter dificuldade em reconfigurar sua produção a fim de englobar as mais novas tecnologias de automação (MOKTADIR et al., 2018). Por fim, assim como mencionado anteriormente, no contexto da Indústria 4.0 se faz necessário um melhor sistema de segurança cibernética e de proteção de dados, bem como um elevado investimento para a implementação de todas as mudanças necessárias.

#### **4.2.1 Panorama Brasil**

A agenda brasileira para a Indústria 4.0, desenvolvida pelo Ministério da Indústria, Comércio e Serviços e pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), elenca alguns desafios e expectativas para o contexto brasileiro.

Segundo a agenda, existem grandes desafios para a economia brasileira, em especial para a indústria, por conta das adversidades enfrentadas recentemente. Porém, os dados apontam que a quarta revolução industrial pode ser vista como uma oportunidade de desenvolvimento para o país (AGENDA. . . , 2020).

Hoje, a indústria representa menos de 10% do PIB do país e o Brasil ocupa a 69<sup>a</sup> colocação no Índice Global de Inovação. Entre 2006-2016 a produtividade da indústria no Brasil caiu mais de 7%, e no Índice Global de Competividade da Manufatura, o Brasil caiu da 5<sup>o</sup> posição em 2010 para a 29<sup>o</sup> posição em 2016. Logo, o Brasil possui potencial para alavancar sua economia e produção nesse novo cenário da Indústria 4.0 (AGENDA... , 2020).

Segundo levantamento da ABDI, a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano. Essa economia envolve ganhos de eficiência, redução no consumo de energia e redução dos custos de manutenção de máquinas (AGENDA... , 2020).

Entretanto, em levantamento apresentado no relatório "Readiness for the Future of Production Report 2018" (WEF), o Brasil ocupa a 41<sup>a</sup> posição em termo da estrutura de produção e a 47<sup>a</sup> posição nos vetores de produção da indústria. Segundo Sacomano et al. (2018), "isso significa que, se o país quiser continuar competitivo frente à produção internacional, precisará de um guia de evolução tecnológica".

De maneira geral, o brasileiro não está preparado para o desenvolvimento de tecnologias, uma vez que ele tem base na educação de qualidade e motivação para formação de engenheiros, o que não é uma prioridade dos responsáveis de educação no Brasil. Assim, esforços isolados não superam o hiato em educação e tecnologia existente entre Brasil e países desenvolvidos. Além disso, as políticas industriais brasileiras não priorizam o aprendizado tecnológico, se limitando a formar técnicos que reproduzem produtos (SACOMANO et al., 2018).

O conceito da Indústria 4.0 vem aos poucos adentrando as linhas de produção brasileiras. Algumas startups estão fazendo trabalhos isolados de automações, medições e digitalização, porém não alcançam a velocidade com que os países desenvolvidos estão comprometidos com a Indústria 4.0. Concomitante a isso, os produtores de máquinas, equipamentos no Brasil não tem interesse e não vem a necessidade em investir em tecnologias que elevem os níveis de produtividade, qualidade e rentabilidade (SACOMANO et al., 2018).

O estudo realizado por Contador et al. (2020), buscou identificar os principais desafios e oportunidades para a construção de uma indústria flexível no Brasil, com base em empresas brasileiras de manufatura que possuem iniciativas da Indústria 4.0.

O principal desafio identificado para essa construção foi a necessidade de aprimoramento da infraestrutura das empresas, sendo necessária uma estrutura robusta de tecnologia da informação, automação, sensores, atuadores, sistemas ciber físicos, entre outros componentes. Conseqüentemente, o segundo desafio identificado foi a necessidade de elevados investimentos para aquisição e implementação de um sistema flexível, bem como para as melhorias de infraestrutura (CONTADOR et al., 2020).

O terceiro desafio mapeado foi a necessidade de mudança da cultura das organizações e desenvolvimento de novas competências para as lideranças da empresa. Por fim, o quarto desafio

listado foi a dificuldade em estabelecer um programa de implementação de uma indústria flexível, com prazos confiáveis e estimativas de retorno do investimento Contador et al. (2020).

Dessa forma, é evidente que o Brasil tem um longo caminho a ser seguido para operar no contexto da Indústria 4.0. Segundo Sacomano et al. (2018), a indústria brasileira parece se encontrar na Indústria 2.5, de modo que se fazem necessários investimentos em tecnologias e desenvolvimento de pessoal, a fim de que aos poucos sejam alcançados os patamares de Indústria 3.0, 3.1, 3.2 e assim por diante até o 4.0.

### 4.3 Framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0

A partir das revisões de bibliografia e literatura realizadas foi possível desenvolver um framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0, representado na Figura 4. O objetivo da construção do framework foi de consolidar as principais informações a respeito do tema, visando a facilitar futuras definições de estudos, planos e metas para o desenvolvimento da segurança de processos no contexto da indústria 4.0.

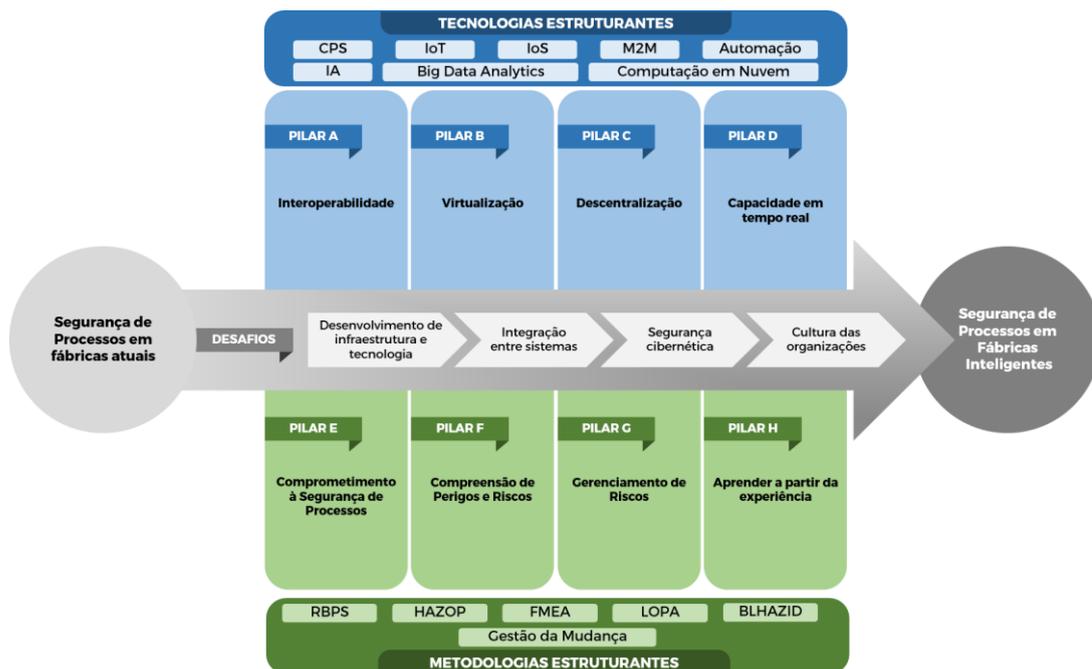


Figura 4 – Framework de Segurança de Processos na Indústria 4.0

Fonte: Autoria própria, 2020

Os três principais elementos do framework construído estão apresentados abaixo.

- *Pilares*: os pilares representam as principais áreas temáticas que devem ser levadas em consideração para o desenvolvimento da segurança de processos na indústria 4.0. A avaliação das temáticas deve ser feita de maneira individual e também a partir das possíveis interconexões entre elas.

- *Tecnologias/Metodologias Estruturantes*: as tecnologias e metodologias estruturantes indicam conhecimentos e ferramentas que serão base para a avaliação e desenvolvimento dos pilares.
- *Desafios*: indicam os principais desafios que devem ser superados a fim de que se saia do cenário atual de segurança de processos, para sua consolidação em fábricas inteligentes.

De maneira geral, os pilares, com base nas tecnologias e metodologias estruturantes, devem ser trabalhados de maneira conjunta a fim de ultrapassar os principais desafios mapeados. Dessa forma, é importante evidenciar quais razões motivaram a escolha desses elementos.

Os elementos da paleta verde estão vinculados a segurança de processos. Foram elencados quatro pilares e seis metodologias estruturantes. Os pilares escolhidos são os mesmos que os utilizados nas diretrizes do RBPS. Uma vez que essas diretrizes já são consolidadas e validadas, é interessante que esses mesmos pilares passem a ser desenvolvidos levando em consideração a ótica da indústria 4.0. Além disso, esses pilares já levam em consideração características que vão além do uso de tecnologia, como a necessidade de uma cultura de segurança consolidada.

A escolha por apresentar metodologias estruturantes e não tecnologias vem do fato que muitas das tecnologias atuais podem ser eventualmente substituídas por novas tecnologias desenvolvidas no contexto da Indústria 4.0. Assim, é interessante manter como base as metodologias já consolidadas, para que essas sejam aprimoradas e incorporadas às tecnologias utilizadas em uma fábrica inteligente. As metodologias selecionadas foram abordadas ao longo do trabalho, e giram ao redor da identificação de perigos, análises de riscos, sistemas de gerenciamento e gestão da mudança.

Os elementos da paleta azul estão vinculados a Indústria 4.0. Foram elencados quatro pilares e oito tecnologias estruturantes. Os pilares escolhidos são um recorte dos princípios de design apresentados anteriormente. Analisando os seis princípios existentes, é possível observar que a orientação ao serviço e modularização são mais voltados para o desempenho financeiro da organização e a flexibilização da produção. Em contrapartida, os demais princípios conversam de forma mais direta com a segurança de processos, uma vez que tem foco em viabilizar a comunicação entre sistemas, equipamentos e operadores, bem como a tomada de decisão de forma descentralizada, autônoma e baseada em dados.

Já a escolha das tecnologias estruturantes foi feita com base nos elementos fundamentais e estruturantes apresentados ao longo da revisão bibliográfica. De todos os elementos previamente mapeados, apenas a integração de sistemas e segurança cibernética não foram selecionados, entretanto, estão contemplados nos desafios a serem superados.

Os desafios foram escolhidos a partir dos pontos de maior recorrência observados na discussão do item 4.2. A necessidade pelo desenvolvimento de tecnologias e infraestruturas tem maior destaque, uma vez que sem os dispositivos e maquinários inteligentes, não será possível

constituir uma produção 4.0. Além disso, em diferentes pontos do trabalho foi abordada a necessidade de integração entre todos os sistemas. Por fim, a necessidade por melhores sistemas de segurança cibernética e mudanças na cultura das organizações foram apontadas como desafios, uma vez que é importante que toda a organização esteja aberta à transformação digital e ao mesmo tempo consiga garantir a segurança e integridade de sua operação.

É importante destacar que a necessidade de investimentos elevados pode ser um desafio decorrente dos apresentados acima. Porém, o volume de investimentos varia de acordo com a maturidade tecnológica de cada organização ou país, de modo que a depender de cada contexto, esse desafio pode adquirir maior ou menor relevância.

## 5 Conclusão

A segurança de processos é de grande importância para operação das mais diversas plantas, uma vez que ela atua na prevenção, preparação, mitigação, resposta a, ou restauração de liberações catastróficas de produtos químicos ou energia. Já o conceito de "Indústria 4.0" ou "Quarta Revolução Industrial" é recente e vem discutindo o uso de diferentes tecnologias para o desenvolvimento de fábricas inteligentes.

Assim, com o advento da Indústria 4.0, existem oportunidades a serem exploradas a fim de aprimorar a segurança de processos de maneira geral. Com base nisso, o trabalho realizou uma revisão da literatura existente a respeito da Segurança de Processos na Indústria 4.0 e propôs um framework de atuação.

Por se tratar de um tema novo, não existe uma literatura extensiva e consolidada, de modo que foram identificados os principais estudos que avaliam recortes dos temas de forma integrada. A revisão de literatura abordou o uso de tecnologias associadas a Indústria 4.0, como o uso de sensores com coleta de dados em tempo real, sistemas de inspeção e analytics preditivo. Abordou também o uso da ISO 15926 para a interoperabilidade e os avanços realizados em análises de perigo de processos. O uso de gêmeo digital por meio dos simuladores de treinamento de operadores, principais desafios e a perspectiva brasileira também foram tratados ao longo da revisão.

Além disso, o framework de atuação proposto consolida as principais informações necessárias para a avaliação e implementação da segurança de processos em fábricas inteligentes. O framework conta com oito pilares de atuação, os quais indicam as grandes temáticas vinculadas a segurança de processos e a indústria 4.0. É apresentado um conjunto de tecnologias e metodologias estruturantes, que atuam como base para desdobramento das ações vinculadas aos pilares. Os pilares, com base nas tecnologias e metodologias estruturantes, devem ser trabalhados de maneira conjunta a fim de superar os quatro desafios mapeados.

Portanto, o estudo realizado pode ser visto como uma porta de entrada para a avaliação e implementação da Segurança de Processos na Indústria 4.0, uma vez que possibilita a compreensão dos principais conceitos vinculados ao tema, bem como os principais estudos existentes. A partir dele, é possível explorar com maior profundidade as possíveis interconexões entre os pilares, tecnologias, metodologias e desafios apresentados no framework, identificando desdobramentos práticos e caminho de implementação a ser seguido.

## Referências Bibliográficas

- ACCENTURE. Digital re-definery. *Accenture Digital Refining Survey 2019*, 2019. Citado na página 36.
- AGENDA brasileira para a Indústria 4.0. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- BCG, T. B. C. G. Industry 4.0 - the future of productivity and growth in manufacturing industries. *BCG Perspectives*, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 21, 26 e 27.
- CAMERON, I. et al. Process hazard analysis, hazard identification and scenario definition: Are the conventional tools sufficient, or should and can we do much better? *Process Safety and Environmental Protection*, v. 110, p. 53 – 70, 2017. ISSN 0957-5820. Loss prevention and safety promotion in the process industries: issues and challenges. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017300307>>. Citado na página 32.
- CCPS, C. F. C. P. S. *Guidelines for Risk Based Process Safety*. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2007. ISBN 978-0-470-16569-0. Citado 19 vezes nas páginas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21.
- CCPS, C. F. C. P. S. *Guidelines for defining process safety competency requirements*. New York, NY: John Wiley Sons, Inc., 2015. ISBN 978-1-118-79522-4. Citado na página 7.
- CCPS, C. F. C. P. S. *Introduction to Process Safety for Undergraduates and Engineers*. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2016. ISBN 978-1-118-94950-4. Citado 8 vezes nas páginas 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12 e 19.
- CONTADOR, J. C. et al. Flexibility in the brazilian industry 4.0: Challenges and opportunities. *Global Journal of Flexible Systems Management volume 21*, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- GILCHRIST, A. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Bangken, Nonthaburi: Apress, 2016. ISBN 978-1-4842-2047-4. Citado 4 vezes nas páginas 22, 23, 26 e 31.
- INTERNET of Things. 2014. <[http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_iot.htm](http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm)>. Último acesso em: 15/11/2020. Citado na página 24.
- INTERNET of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. 2014. <[http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC\\_Cluster\\_Book\\_2014\\_Ch.3\\_SRIA\\_WEB.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf)>. Último acesso em: 15/11/2020. Citado na página 24.
- JARVIS, R.; GODDARD, A. An analysis of common causes of major losses in the onshore oil, gas petrochemical industries. *Insight Consensus Influence*, 2015. Citado na página 30.
- JONES, D. *Turning the Titanic: Three Case Histories in Cultural Change*. New York: American Institute of Chemical Engineers, 2001. Citado na página 5.
- KUMMER, A.; VARGA, T. Process simulator assisted framework to support process safety analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 58, 03 2019. Citado na página 33.

LEE, J.; CAMERON, I.; HASSALL, M. Improving process safety: What roles for digitalization and industry 4.0? *Process Safety and Environmental Protection*, v. 132, p. 325 – 339, 2019. ISSN 0957-5820. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019317057>>. Citado 5 vezes nas páginas 30, 31, 32, 33 e 34.

MOKTADIR, M. A. et al. Assessing challenges for implementing industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, p. 730 – 741, 2018. ISSN 0957-5820. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582018301344>>. Citado na página 37.

MOSKOWITZ, I. et al. Chemical process simulation for dynamic risk analysis: A steam–methane reformer case study. *Industrial Engineering Chemistry Research*, v. 54, p. 150216151052007, 02 2015. Citado na página 33.

NÉMETH, E. et al. Generating cause-implication graphs for process systems via blended hazard identification methods. In: PISTIKOPOULOS, E.; GEORGIADIS, M.; KOKOSSIS, A. (Ed.). *21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering*. Elsevier, 2011, (Computer Aided Chemical Engineering, v. 29). p. 1070 – 1074. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444537119502145>>. Citado na página 32.

OSTERRIEDER, P.; BUDDE, L.; FRIEDLI, T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, v. 221, p. 107476, 2020. ISSN 0925-5273. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319302865>>. Citado na página 28.

PITBLADO, R.; NELSON, B. Advanced safety barrier management with inclusion of human and organizational aspects. *Chemical engineering transactions*, v. 31, p. 331–336, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 30.

RITCHIE, J.; SPENCER, L. Qualitative data analysis for applied policy research. *Analyzing qualitative data*, 1994. Citado na página 29.

SACOMANO, J. B. et al. *Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos*. São Paulo, São Paulo: Blucher, 2018. ISBN 978-85-212-1371-0. Citado 9 vezes nas páginas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 35, 38 e 39.

SATYRO, W. C. et al. Industry 4.0: Evolution of the research at the apms conference. In: LÖDDING, H. et al. (Ed.). *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 39–47. ISBN 978-3-319-66923-6. Citado na página 24.

SCHEIN, E. H. *Organizational Culture and Leadership*. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2017. ISBN 9781119212041 1119212049. Citado na página 6.

THE INTERNET OF THINGS:MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE. 2015. <[https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking\\_the\\_potential\\_of\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_Executive\\_summary.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.pdf)>. Último acesso em: 15/11/2020. Citado na página 24.

USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Cham, Switzerland: Springer, 2018. ISBN 978-3-319-57870-5. Citado na página 21.

WEICK, K. E.; SUTCLIFFE, K. M. *Managing the Unexpected: Sustained Performance in a Complex World*. [S.l.]: Jossey-Bass, 2001. ISBN 9780787956271. Citado na página 6.

WU, J. et al. An integrated qualitative and quantitative modeling framework for computer-assisted hazop studies. *AIChE Journal*, v. 60, n. 12, p. 4150–4173, 2014. Disponível em: <<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.14593>>. Citado na página 33.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 2147–2152. Citado na página 35.