

M. R. Albertin
H. L. J. Pontes



A
Engenharia
de Produção
na era da
Indústria 4.0

Estudos de casos
e benchmarking
da Indústria 4.0

Appris
editora

INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E TECNOLOGIAS

Conteúdos do capítulo:

- introdução à Indústria 4.0;
- descrição das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0: internet das coisas, computação em nuvem, sistemas integrados, manufatura aditiva, simulações, robôs autônomos, Big Data, realidade aumentada e sensores;
- aplicações e implicações dessas tecnologias;
- caracterização dos pilares da I 4.0.

Após o estudo deste capítulo, você será capaz de:

- entender a lógica de funcionamento das tecnologias disruptivas;
- conhecer os principais benefícios dessas tecnologias;
- identificar aplicações tecnológicas na Engenharia de Produção 4.0.

1.1 INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA 4.0

O conceito de Indústria 4.0 (Alemanha), também conhecido como quarta revolução industrial, manufatura inteligente, fábrica digital, indústria da internet (EUA), indústria da cadeia de valor (Japão) e indústria integrada (HOFMANN, 2017), surgiu a partir de iniciativas estratégicas do governo alemão para consolidar o país como líder na área tecnológica e fortalecer sua competitividade global (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Assim, em abril de 2013, na feira mundial de tecnologia industrial, a “Feira de Hannover”, foi lançado oficialmente o programa *Industrie 4.0* com as primeiras recomendações para sua implementação na Alemanha. O termo foi descrito por Kagermann *et al.* (2013, p. 4) como

[...] uma realidade em que as redes globais são estabelecidas pelas empresas sob a forma de sistemas ciberfísicos (CPS)

que incorporam máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção que são capazes de trocar informação e cooperar de forma autônoma através da Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*), desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma independente.

O diferencial da Indústria 4.0 está no fato de que o processo de fabricação vai evoluindo de uma única célula automatizada (ex. estação de trabalho com um conjunto de máquinas interligadas e conectadas) para sistemas automatizados e integrados que se comunicam com outros, contribuindo para maior flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos sistemas produtivos.

A feira de Hannover de 2017 teve como tema principal a Indústria 4.0 e a aplicação de suas tecnologias. Centenas de fornecedores de vários países apresentaram novas soluções industriais, de serviços e novos modelos de negócios, configurando uma disrupção, ou revolução. Ela mostrou que a implementação dessas tecnologias já é realidade e está acontecendo rapidamente, transformando significativamente a cadeia de valor (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Cadeia de valor: é a sequência de atividades necessárias para trazer o produto (ou serviço) desde a concepção até o consumidor final. Foca nas atividades que geram valor agregado empresarial ao cliente. A Figura 6.2, do Capítulo 6, representa uma cadeia de valor.

Novos modelos de negócio: novas formas de criar valor para os clientes e interessados. Ex.: compartilhamento de carros e bicicletas, de serviços eletrônicos de transporte privado (Uber, Taxi 99), alimentação (iFood) e hospedagem (Airbnb), de livrarias para livros eletrônicos (Amazon/Kindle), páginas amarelas para shopping virtual (Americanas marketplace), transportadora digital (ver Estudo de caso 4.2) etc.

Obs.: no Capítulo 8, apresentamos o guia para criação de novos modelos de negócio por meio da implantação da visão I 4.0. Veja também a Figura 8.6.

Essa realidade só é possível devido aos crescentes avanços da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), da engenharia e do avanço da digitalização na indústria.

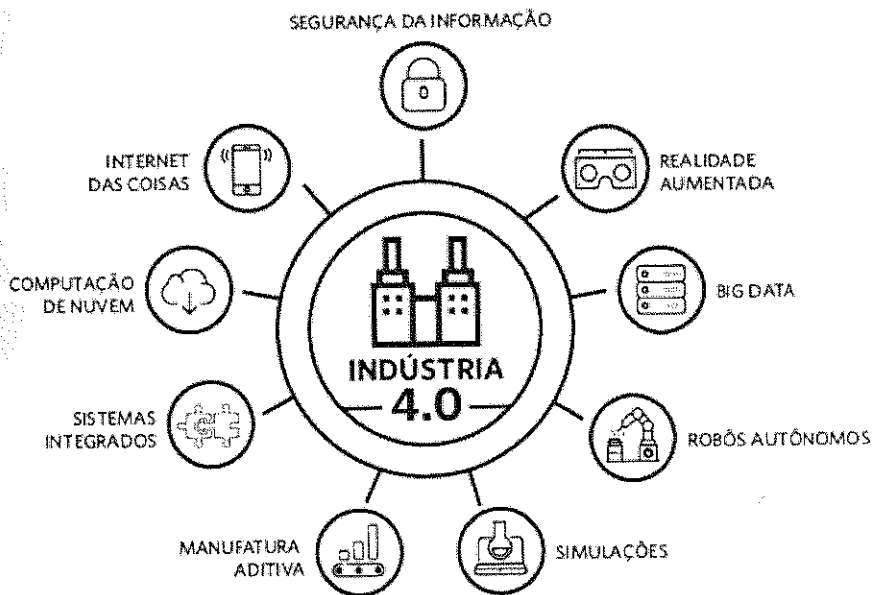
A quarta revolução industrial permite coletar e analisar dados entre máquinas, criando processos mais rápidos, flexíveis e eficientes para produzir produtos de maior qualidade a custos menores. Dessa maneira, a Indústria 4.0 está transformando toda a cadeia produtiva, pois seu foco está na digitalização, de ponta a ponta, de todos os bens físicos e na integração para ecossistemas digitais com todos os parceiros da cadeia de valor, permitindo tomadas de decisão rápidas e respostas autônomas dos sistemas produtivos.

Em síntese, o conceito de Indústria 4.0 é resultado da incorporação da digitalização à atividade industrial, caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores, atuadores, controladores, equipamentos eletrônicos conectados em rede, e da fusão do mundo real com o virtual.

1.2 TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS

A I 4.0 está associada a tecnologias disruptivas que estão revolucionando nossa sociedade. Nada será como foi antes. Estamos iniciando a era das fábricas, máquinas e dos produtos inteligentes com sistemas produtivos digitalizados e organizados de forma descentralizada, autônoma e auto-controlados. Tudo vai ser diferente. O primeiro passo para entender para onde estamos indo é conhecer as principais tecnologias que estão contribuindo para essa mudança abrupta e radical. Estas são as tecnologias que configuram a I 4.0: internet das coisas, computação em nuvem, sistemas integrados, manufatura aditiva, simulações, robôs autônomos, Big Data, realidade aumentada, conforme mostrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Tecnologias disruptivas da I 4.0



Além dessas tecnologias, existem seis princípios da I 4.0 (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016):

- interoperabilidade, que permite que todos os sistemas possam se comunicar por meio das redes;
- virtualização, que possibilita que os dados dos sistemas de produtos e equipamentos sejam transmitidos aos modelos virtuais e em simulações;
- descentralização dos controles dos processos produtivos, uma vez que os computadores embarcados em conjunto com a IoT gerarão produtos com tomadas de decisões em tempo real;
- adaptação da produção em tempo real, a qual proporciona que os dados sejam analisados no instante em que são coletados, permitindo que a produção seja alterada;
- orientação a serviços, facilitando que os dados e serviços sejam disponibilizados em rede aberta, tornando a Internet dos Serviços (IoS) ainda mais robusta;
- sistemas modulares dos equipamentos e linhas de produção, tornando as empresas mais flexíveis e adaptáveis às alterações necessárias.

1.2.1 Internet das Coisas (IoT)

O termo Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), teve seu primeiro uso em 1999, em uma apresentação de Kevin Ashton, na Procter & Gamble, sobre a Identificação por Radiofrequência (RFID) na cadeia de suprimentos (ASHTON, 2009). Desde então, o termo vem sendo amplamente utilizado em diversos contextos, mas sempre com a mesma ideia de integrar objetos físicos e virtuais em redes conectadas à internet permitindo a coleta, troca e armazenagem de dados que, após processados e analisados, geram informações para otimizar o relacionamento entre humanos, objetos e máquinas.

Como funciona a IoT?

A IoT é uma das principais ligações entre as aplicações físicas e digitais, ou seja, é a relação entre produtos, serviços, lugares e as pessoas, que se torna possível por meio de plataformas e tecnologias conectadas (SCHWAB, 2016).

A IoT proporciona a descentralização da tomada de decisão mediante a comunicação em tempo real entre a internet e os objetos conectados (RÜBMANN *et al.*, 2015). Quanto mais objetos conectados à rede, maior a quantidade de dados gerados e armazenados em grandes bancos de dados chamados Big Data.

A tecnologia IoT permite conectar dispositivos eletrônicos inteligentes (ex.: celular, laptops, computadores e outros) com objetos físicos, conforme ilustrado na Figura 1.3. Por meio do *laptop*, é possível ligar, desligar e controlar a intensidade de equipamentos (ex.: iluminação e temperatura) que antes não estavam conectados, isto é, não enviavam, não recebiam e não processavam, ou armazenavam, informações. Na casa inteligente, o controle pode ser no local ou remoto.

Observe: a IoT conecta objetos físicos, antes não conectados, por meio de redes. Esses objetos são acionados por sensores e atuadores, criando o conceito de objetos inteligentes (ex. TV inteligente, máquina de lavar inteligente, celular inteligente e fábricas inteligentes).

Para conectar objetos físicos, a IoT utiliza diferentes tecnologias, incluindo redes com e sem fio (*wireless*), como *Bluetooth*, RFID, Wi-Fi, 4G, LTE, 5G, entre outras, capazes de transmitir dados e informações. Dessa maneira, IoT representa a convergência da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e da tecnologia operacional (MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015).

Quais são os benefícios da IoT?

Estima-se que logo teremos cerca de 50 bilhões de aparelhos conectados, criando uma infinidade de oportunidade de serviços e novos modelos de negócio.

Você tem alguma ideia nova e disruptiva?

Você sabia? Ideias disruptivas são inúteis ao menos que “alguém” tenha coragem de transformá-las em realidade. Comprar livros, comida, roupas e até carros pela internet, no ano de 1994, parecia algo inútil e desnecessário. Na época, era melhor ir até o shopping. Foi quando teve início a empresa Amazon, na garagem do empreendedor Jeff Bezos, em Seattle – EUA, que criou um novo modelo de negócio “comércio eletrônico e vendas de livros digitais (eBook)”.

Podemos dizer que a IoT é um grande negócio que conecta objetos físicos. Desse modo, obtém-se um enorme potencial para a tomada de decisão mediante a análise e aplicação da informação digital. Isso permite ciclos produtivos mais rápidos, processos altamente dinâmicos, experiência adaptativa ao cliente e, por meio de um ecossistema de pessoas e tecnologias, um potencial para ganhos inovativos (MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015). A IoT revoluciona a tomada de decisão.

A integração entre IoT e a IoS, no processo de manufatura, foi o que deu início à quarta revolução industrial (HERMANN *et al.*, 2015 *apud* KAGERMANN *et al.*, 2013, p. 5). Segundo Giusto *et al.* (2010), essa tecnologia permite que “coisas” e “objetos”, como sensores, atuadores e aparelhos celulares, interajam entre si e cooperem com os componentes “inteligentes” ao seu redor para alcançar um objetivo comum.

A *Internet of Everything* (IoE) expande o conceito da conexão lógica de objetos físicos para conexão entre máquinas (M2M), máquinas e pessoas (M2P) e entre pessoas (P2P), interligando pessoas, máquinas e informações e agregando valor as cadeias produtivas.

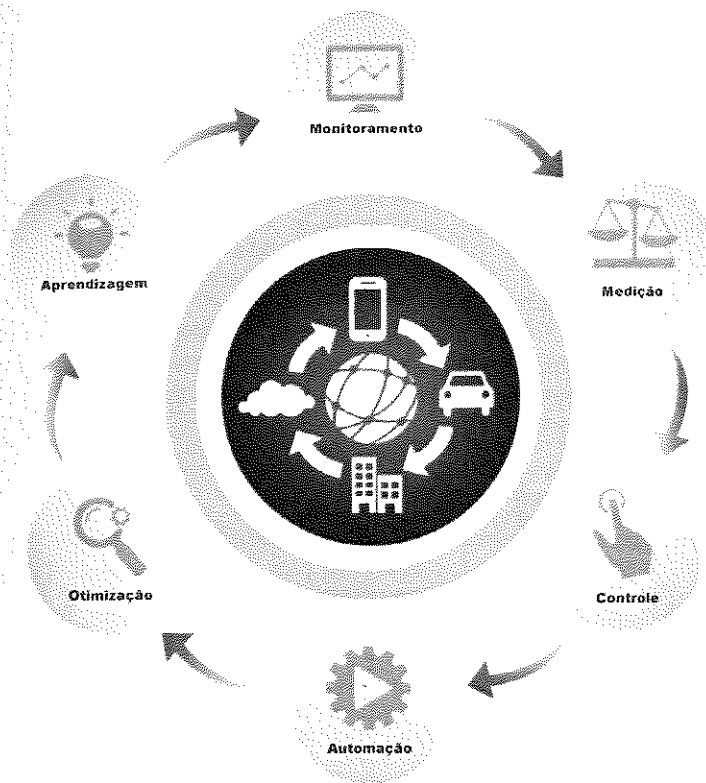
Quais são as aplicações e implicações da IoT na EP 4.0?

A IoT tem várias aplicações em vários setores, como no setor industrial, na construção de cidades inteligentes, na logística, no comércio e na saúde. Nesses setores, ela torna os processos mais rápidos, seguros e eficientes, oferecendo novos serviços e modelos de negócios.

A IoT agrega valor em toda a cadeia produtiva. Com a computação em nuvem, é possível monitorar equipamentos industriais, medir e obter informações sobre os processos e desenvolver processos mais eficientes; além de automatizar processos, eliminando intervenções manuais, aumentando a qualidade, previsibilidade das operações e diminuindo custos. A IoT otimiza sistemas e relações entre pessoas, máquinas e processos, coordenando suas atividades. Por último, a IoT apoia a análise e

o aprendizado, identificando oportunidades de melhorias e práticas de excelência (ver Figura 1.2).

Figura 1.2 – Aplicações da IoT



Fonte: adaptado de Macaulay, Buckalew e Chung (2015)

A engenharia de produção pode contribuir ativamente com a tecnologia IoT no desenvolvimento e na operacionalização de *smart cities* (cidades inteligentes). Nessas cidades, os transportes públicos são interconectados com as estações enviando, em tempo real, informações sobre chegadas e partidas para seus usuários, assim como qualquer restrição na malha viária ou nas cidades. Os serviços de iluminação pública possibilitam o controle e monitoramento remotamente em tempo real, reduzindo os desperdícios de energia e notificando ao órgão responsável problemas, ou necessidades, de manutenção. Os sistemas hospitalares de emergência

Como funciona uma casa inteligente? A casa inteligente funciona baseada em dois princípios: a) controle, por meio de um *smartphone*, de equipamentos inteligentes conectados em rede e b) ações inteligentes programadas (ex.: janela fecha automaticamente com a chuva, ou aumento da intensidade da luz com a escuridão). O refrigerador pode controlar os produtos faltantes e encomendar automaticamente via internet. É possível também a comunicação via sistemas de rádio frequência (ver 4.3). Para isso, são necessários sensores de todos os tipos, como aqueles que controlam e regulam a temperatura interna conforme o clima, e tomadas modernas que analisam o consumo de energia.

Os sensores recebem sinais eletrônicos de aparelhos, como computadores ou *smartphones*, e os transformam em movimento mecânico, ou em uma grandeza física, que atua conforme a programação. A regulação dos aparelhos, via sensores, acontece via aplicativos nos *smartphones*.

Os equipamentos são fáceis de instalar e podem ser adquiridos em sistemas modulares. As casas inteligentes trazem mais conforto, segurança e economia de energia. Você pode programar o uso de equipamentos quando a tarifa for mais vantajosa, acionar o alarme ao trancar a porta e fechar todas as aberturas em caso de chuva ou assaltos. Da cama, é possível, por meio de um “botão de alarme”, acionar os bombeiros, ou a polícia, sem a necessidade de usar telefone (ENOBLOG, 2019).

Algumas implicações no trabalho do engenheiro de produção, com uso da IoT, estão ligadas ao desenvolvimento e à utilização de plataformas de engenharia que buscam a integração entre equipamentos, pessoas e sistemas, gerando redução de perdas e ganho de eficiência.

A utilização da IoT na indústria torna possível uma interoperabilidade dos dispositivos interligados, proporcionando-lhes um grau mais elevado de inteligência, permitindo sua adaptação e seu comportamento autônomo e garantindo, simultaneamente, a confiança, a privacidade e a segurança das informações geradas (LI *et al.*, 2017).

Algumas empresas criaram seus próprios sistemas inteligentes, como a empresa Siemens, que desenvolveu uma plataforma de engenharia utilizando o conceito de IoT para motores, que permite a transferência de dados, como os parâmetros operacionais e de status de motores de baixa tensão, para um sistema operacional de IoT aberto em nuvem da própria empresa. Com base nesses dados, é possível fornecer resultados analíticos valiosos e informações úteis, como ações recomendadas para o planejamento adequado dos trabalhos de manutenção, ou alertas de resposta rápida para evitar paralisações dispendiosas da fábrica. A transparência obtida dessa forma ajuda a aumentar a eficiência e a produtividade.

1.2.2 Realidade Aumentada (RA)

A tecnologia de RA surgiu para revolucionar a maneira como os seres humanos interagem com as máquinas (e as máquinas com os seres humanos). Azuma (1997) define a RA como uma variação de ambientes virtuais ou da Realidade Virtual (RV).

Observe: Realidade Aumentada *versus* Realidade Virtual. As tecnologias de RV fazem uma imersão total do usuário dentro de um ambiente irreal, impedindo o usuário de ver o mundo real ao seu redor. Por outro lado, a RA permite ao usuário ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real. Enquanto a RV leva você para um ambiente (novo ou irreal) criado pelo computador, a RA disponibiliza projeções de conteúdos complementares num ambiente real, facilitando a interação com o mundo real.

A RA agrega valor a todo objeto com informação adicional (ex.: interior de uma máquina, estrutura de um produto e um circuito elétrico). Na RA ocorre a expansão da realidade física, adicionando-se informações geradas pelo computador em um ambiente real. As informações podem ser qualquer tipo de objeto, ou conteúdo virtual, incluindo texto, gráficos, vídeo, som, fotografias, sinais, localização, entre outros, e sobrepostos. RA é mais do que uma tecnologia de exibição gráfica. Ela representa um novo tipo de interface natural e em tempo real entre pessoas, objetos e aparelhos digital (GLOCKNER *et al.*, 2014).

Você sabia? Na RA você vê o mundo real por meio de elementos virtuais. Você olha para uma máquina e enxerga seus componentes trabalhando, as engrenagens internas e os motores com suas partes. Tudo real, mas virtual. Tanto a RV como a RA são amplamente utilizadas na I 4.0, de forma individual e mista. Com o uso de óculos de realidade virtual e aumentada, é possível interagir com hologramas virtuais.

Com a adequação das indústrias no contexto da I 4.0, cada vez mais, tarefas e procedimentos, em postos de trabalhos manuais, serão aumentados por algum tipo de componente digital (ex. óculos virtual); e a RA faz uma interface entre os colaboradores e os produtos digitais, criando, assim, estações de trabalho interativas. Dessa forma, a RA pode ser empregada para aumentar a produtividade em quase todas as atividades do setor fabril, desde atividades básicas no chão de fábrica até suporte para processos de apoio.

Como funciona a RA?

A RA é realizada em quatro etapas (GLOCKNER *et al.*, 2014). Inicia-se com a captura de imagem por uma câmera, ou um monitor acoplado. Após a captura, é realizada a identificação da imagem, ou seja, a imagem virtual é escaneada e indexada. Na terceira etapa, a imagem é processada e associada a algum material disponível em banco de dados, ou na internet. Finalmente, o sistema RA produz a imagem do espaço real com o conteúdo virtual.

Quais os benefícios da RA?

A RA agrega valor mediante a informação em várias formas disponível, nas quais é requerida. A estratégia na indústria 4.0 é integrar toda a cadeia de valor, e a RA apoia esse conceito, tornando os processos industriais mais inteligentes, principalmente nas operações que requerem procedimentos, na manutenção e assistência remota, no treinamento dos colaboradores, no controle da qualidade, na gestão de riscos, no design de produtos e na logística.

Quais são as aplicações e implicações da RA na EP 4.0?

A empresa VW utiliza a RA para disponibilizar informação correta no local certo por meio do sistema Marta (Assistência Técnica em RA móvel). O sistema é acionado por dispositivo móvel inteligente (ex. smartphone), identifica módulos e peças do automóvel e, então, descreve, “passo a passo” e em detalhes, como reparar, ou realizar, manutenção. Um aplicativo da Marta está disponível para vários aparelhos móveis (GLOCKNER *et al.*, 2014) na rede de concessionárias da VW.

Kolberg e Zühlke (2015) citam o uso da RA como uma das tecnologias da Indústria 4.0 que permite a automação *lean*, mesclando as tecnologias de automação e os conceitos de produção enxuta (ver Capítulo 2). Nesse caso, a RA é utilizada para que os colaboradores possam ser “operadores inteligentes” de tal forma que as informações sobre tempo de ciclo restante estejam dentro de seus campos visuais, apoiando o processo *just in time* de produção.

Aplicações mais recentes combinam RA com simulação, explorando o virtual, no real. A rede de lojas IKEA desenvolveu um aplicativo que possibilita visualizar um determinado móvel (ex. sofá) em uma sala real. É possível trocar posições, alterar dimensões e cores (GLOCKNER *et al.*, 2014).

Robôs autônomos

A utilização de robôs na indústria, também conhecidos como robôs inteligentes, ou colaborativos (Cobots), não é um conceito novo, pois eles já são utilizados em muitas indústrias para realizar tarefas complexas.

Na Indústria 4.0, eles ganham novas habilidades, isto é, eles estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Até recentemente, os robôs eram estacionários, cegos e pouco inteligentes. Serviam pra tarefas repetitivas e “viviam enjaulados”.

Segundo Bekey (2005), robôs são máquinas que sentem, pensam e agem. Sua autonomia refere-se a sistemas capazes de operar no ambiente do mundo real sem qualquer tipo de controle externo por longos períodos de tempo. O mesmo autor define robôs autônomos como máquinas inteligentes capazes de executar tarefas no mundo por si só, sem controle humano explícito.

Você sabia? Existem vários tipos de robôs (Figura 1.4). Embora imaginamos, muitas vezes, máquinas em forma de humanos mecanizados, que, nos filmes de ficção, ameaçam-nos e vivem nos espionando, os robôs já entraram na nossa vida de várias formas, eliminando tarefas repetitivas e chatas (ex.: limpeza da casa com aspirador de pó robotizado, carro transportador de mercadorias), e atividades difíceis e perigosas (ex.: pintura e solda industrial) e até de lazer (ex.: cão robô). Os robôs de conversação “chatbots” são programas de computador que utilizam inteligência artificial para simular um ser humano na conversação com as pessoas, respondendo e fazendo perguntas.

Figura 1.4 – Tipos de robôs

Robôs industriais com braço articulado



Robô para limpeza



Linha com robôs industriais



AGV – Robô colaborativo transportador autoguiado



Robô inteligente conectado



Robôs Colaborativos

Fonte: autores (figuras capturadas na internet)

Os Cobots, fáceis de usar e acessíveis, estão reduzindo a barreira de automação de modo significativo, permitindo a automação em áreas anteriormente consideradas muito complexas, ou inacessíveis.

Segundo a Pesquisa Mundial de Robótica (*World Robotic Survey*) de 2016, emitida pela Federação Internacional de Robótica (*International Federation of Robotics – IFR*), os robôs industriais estão revolucionando a economia global, e, anualmente, milhões de novos robôs industriais são instalados em fábricas ao redor do mundo. A quantidade de robôs utilizada na indústria de um país é um forte indicador de desenvolvimento industrial.

Como funcionam os robôs autônomos?

A robótica avançada é um campo multidisciplinar que combina engenharia mecânica e eletrônica, ciência computacional, matemática e conhecimentos em outras áreas, como neurologia, sociologia, biologia, entre outras. Para construir um robô, mesmo que simples, deve-se resolver problemas desafiadores em várias destas áreas. Desenvolvimentos tecnológicos atuais, como sensores com preços mais acessíveis,

computadores mais rápidos, análises de Big Data, baterias mais duráveis e leves, computação em nuvens e mobilidade autônoma, estão apoiando o desenvolvimento dos Cobots e aumentando suas aplicações no nosso dia a dia (ver Figura 1.5).

Quais são os benefícios da robotização?

Os robôs fazem com mais precisão e eficácia tarefas repetitivas, com ou sem uso de força, em ambientes poluídos e perigosos (ex.: desarmamento de uma bomba), proporcionando maior eficiência e segurança nos processos. Robôs não ficam doentes, não faltam ao trabalho e trabalham até mesmo durante pandemias.

Eles aumentam a produtividade, permitindo fazer mais atividades numa época em que a força de trabalho e a sociedade estão ficando, cada vez mais, velhas. O desejo de substituir as ações humanas por robôs é contínuo. Os robôs já substituem com sucesso muitas habilidades físicas dos homens e estão desafiando a substituição de atividades cognitivas. Nós estamos no início de uma revolução com grandes implicações ambientais e socioeconômicas (ver Capítulo 7).

Quais são as aplicações e implicações dos robôs autônomos na EP 4.0?

Os robôs autônomos ajudam a enfrentar o desafio de produção de curto prazo de muitas empresas, superando, assim, o *gap* entre as linhas de montagem totalmente manuais e as linhas de fabricação totalmente automatizadas. Até mesmo a indústria automotiva, que tem uma longa história de uso de robôs tradicionais, também está usando robôs de várias maneiras. Um exemplo recente é a empresa BMW, que utiliza robôs autônomos para automatizar uma linha de montagem que era, predominantemente, feita por trabalho manual no passado (IFR, 2016).

A Amazon é uma empresa que investe muito na robotização. Estima-se que ela possui mais de 45.000 robôs em 13 centros de distribuição. Os robôs substituem as “rotineiras caminhadas” dos coletores (pessoas), buscando os produtos das prateleiras para um posto de empacotamento. A importância dos robôs na I 4.0 será destacada nos próximos capítulos.

Você sabia? O robô YuMi (*you and me*), do fabricante suíço-sueco ABB, foi lançado na Feira Internacional de Robótica de 2017. É um robô de braço único, colaborativo e versátil. Com uma câmera acoplada, ele monta pequenas peças e é capaz de resolver o cubo mágico, preparar um sushi, embrulhar presentes e até reger uma orquestra, como demonstrado na feira. Ele foi desenvolvido pela ABB para trabalhar ao lado de pessoas.

1.2.3 Simulação

A simulação é uma metodologia para resolução de problemas complexos da vida real. Banks (1998) define-a como a imitação da operação de um processo ou sistema real ao longo do tempo, envolvendo a geração de informações e que, a partir da observação e análise, pode extrair inferências sobre as características operacionais do sistema real (ou do futuro) que está sendo representado. Dessa forma, o uso de simulação computacional é essencial para garantir a qualidade e a eficiência no desenvolvimento de produtos, pois permite que dados, em tempo real, sejam utilizados para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas (processos), produtos e pessoas.

No contexto da Indústria 4.0, um diferencial da simulação é a reprodução de um sistema produtivo virtualmente com alto grau de similaridade e confiança ao sistema real projetado, conhecido pelo conceito de *digital twin* (gêmeo digital). Esse modelo é utilizado para planejamento e controle da produção em tempo real, além da identificação prévia de falhas de equipamentos e no planejamento e controle da qualidade. A Figura 6.2, do Capítulo 6, exemplifica o conceito de gêmeo digital.

Observe: a utilização do *digital twins*, junto à IoT, permite a análise do comportamento e a detecção de problemas e oportunidades em sistemas produtivos em tempo real, a partir de um ambiente virtual que não impacta as operações cotidianas do sistema físico. Ou seja, além de melhorar os processos das empresas, é possível inovar no design de produtos.

A utilização de softwares de simulação avançado, para prototipagem virtual, é uma característica da I 4.0, mesmo que a utilização dessas ferramentas, em pequenas e médias empresas, ainda esteja nos estágios iniciais. As técnicas modulares de simulação e modelagem permitem que as unidades descentralizadas alterem, de forma flexível, os produtos, apoiando a inovação (BRETTEL *et al.* 2014).

Como funciona a simulação na I 4.0?

O processo de simulação tradicional tem as seguintes etapas sequenciais: Análise do problema, análise do sistema (processo), construção do modelo, simulação do modelo, análise dos resultados e aplicação dos resultados.

A crescente demanda por qualidade nos produtos faz com que sejam necessárias simulações intensivas para criar processos estáveis e confiáveis. Esses processos inovadores podem abordar os aspectos do produto, em todas as fases da cadeia produtiva, desde estágios iniciais como no projeto do material (ex.: simulações de metalurgia para laminagem a quente), na própria fabricação (ex.: corte a laser), na montagem (ex.: manipulação de peças grandes baseadas em robôs) e até em estágios mais avançados como na gestão logística (CALERO *et al.*, 2015).

Quais são as aplicações e implicações da simulação na EP 4.0?

A cópia virtual de uma cadeia de valor completa permite o uso de simulações como suporte à tomada de decisão. Como o espaço da solução é, frequentemente, muito grande, complexo e variável para uma única pessoa supervisionar e entender completamente; as simulações esclarecem possíveis variantes e oferecem a possibilidade de melhorar, consideravelmente, a qualidade da tomada de decisão por meio da criação rápida e fácil de cenários (SCHUH; WESCH; WEBER, 2014). A simulação tem sido usada para:

- desenvolvimento de protótipos e produtos;
- linhas de produção, de montagem e layout;
- movimentação de peças e operações baseadas em robôs;
- novas variantes de composições de materiais na metalurgia.

As equipes de Fórmula 1 monitoram diversos parâmetros do veículo ao longo da corrida, como estado (desgaste/pressão) dos pneus, aerodinâmica, motor e câmbio. Esses dados e informações coletados em tempo real, a partir de sensores, são enviados para modelos de simulação computacional que avaliam o comportamento atual e predizem os próximos minutos do carro, assim como monitoram o clima, a temperatura da pista e o desempenho da pilotagem.

1.2.4 Manufatura aditiva ou impressão 3D

Gibson, Rosen e Stucker (2010) definem manufatura aditiva ou impressão 3D (dimensões) como uma técnica automatizada para a conversão direta de dados CAD 3D em objetos físicos, usando uma variedade de abordagens. As indústrias utilizam essa tecnologia para reduzir os tempos de ciclo de desenvolvimento de seus produtos e obtê-los no mercado de forma mais rápida, com menor custo efetivo e maior valor agregado devido à incorporação de recursos customizáveis. Percebendo o potencial das aplicações da manufatura aditiva, foram desenvolvidas impressões em vários materiais que vão desde plásticos até metais para a fabricação de produtos.

Quais os benefícios da manufatura aditiva?

Segundo Coan (2016), a manufatura aditiva permite entregar uma variedade de produtos, personalizados, em diversos lugares, utilizando novas tecnologias, como a impressão em 3D. O termo aditivo vem do processo de produzir (imprimir) produtos e/ou componentes por meio da adição de materiais em camadas, em vez dos processos tradicionais de forjamento, estampagem, fundição, torneamento e soldagem. Esse processo permite formas geométricas mais complexas do que os processos tradicionais e não necessita de moldes e ferramentais adicionais.

Você sabia? Já é possível baixar desenhos de peças de brinquedos e até armas na internet e produzir seus componentes em impressoras 3D caseiras de baixo custo. No final, você monta as peças e tem um produto. Se ele for produzido no local de uso, não precisará de uma logística para entrega.

Muitos acadêmicos, profissionais liberais e empreendedores se cotizam para comprar uma impressora 3D e oferecem serviços de prototipagem, prótese e confecção de produtos personalizados.

Considerando o avanço da impressão 3D e a possibilidade de imprimir peças e montar produtos em lojas de impressão (em alusão à *lan house*), ou mesmo em casa, duas questões tornam-se interessantes: a impressão 3D competirá com a manufatura global, tornando as fábricas tradicionais obsoletas? A logística de transporte de volumes será afetada?

As respostas a essas questões dependerão, principalmente, do desenvolvimento dessa tecnologia e da sua absorção pelo mercado. Entre os

desafios atuais estão (CHUNG; NIEZGODA; BEISSMANN, 2016): tecnologia de material, velocidade e qualidade do processo, custo da impressora e de escaneamento, propriedade intelectual e questões de garantia e responsabilidade.

Como funciona a impressão 3 D na I 4.0?

As funções da impressora 3D clássica são similares a uma impressora comum de jato de tinta; ambas obtêm informação para imprimir de um arquivo digital. Enquanto a impressora de jato aplica tinta no papel, a impressora 3D deposita material, sucessivamente, construindo um objeto sólido tridimensional. O material é adicionado em camadas em vez de ser moldado, cortado (usinado) ou curvado. Três elementos são essenciais para a criação de um objeto 3D (CHUNG; NIEZGODA; BEISSMANN *et al.*, 2016):

1. um modelo digital criado por softwares do tipo CAD (*computer-aided design*), ou escaneando uma imagem digital de um objeto. Para imprimir 3D, um software modela o objeto em fatias, criando centenas de camadas, dependendo do tamanho e estrutura do objeto;
2. material de alimentação, normalmente metais ou polímeros em forma de fio. Novos desenvolvimentos vão desde carbono, cerâmica, concreto e até alimentos;
3. impressora 3D é o hardware que cria os objetos 3D e utiliza várias técnicas, como deposição, sinterização, fusão, entre outras.

Você sabia? O conceito de "impressão 3D" abrange várias tecnologias com diferentes abordagens para impressão de objetos. Entre as mais utilizadas, destacam-se a (CHUNG; NIEZGODA; BEISSMANN, 2016):

sinterização seletiva a laser (SLS) que utiliza laser para decomposição em pó do material de alimentação do objeto desejado;

modelagem por deposição por fusão (FDM), na qual os fios da bobina de alimentação são decompostos em camadas, formando o objeto final; e

estereolitografia (SLA), que constrói objetos por meio de um feixe de raios laser em movimento, camada por camada, a partir de um polímero líquido que endurece ao entrar em contato com a luz do laser.

Quais são os benefícios da manufatura aditiva na I 4.0?

Os produtos manufaturados, normalmente, passam por vários processos na cadeia de suprimentos, como projeto, produção e logística, até estarem disponíveis ao cliente final. Impressão 3D, ao contrário, pode reduzir essas etapas e apresentar vantagens adicionais, como (CHUNG; NIEZGODA; BEISSMANN, 2016):

- produção de uma variedade de produtos (lote de uma peça) com a mesma impressora;
- permissão para que empresas trabalhem com tempo de suprimento e estoques menores;
- produção de peças com design complexos e customizadas em menos etapas;
- produção com custos e logística reduzidos (ex.: eliminação de custos de importação, exportação, armazenamento e transporte);
- eliminação de custos com fabricação de moldes e protótipos;
- tempo de entrega menor;
- produção mais sustentável e eficiente, utilizando melhor a matéria-prima decomposta, com menos perda de material e energia.

A manufatura aditiva permite uma descentralização dos processos e uma rápida prototipagem da produção, eliminando, assim, etapas intermediárias de fabricação, transporte e armazenamento do produto (SANTOS *et al.*, 2017).

Você sabia? A tecnologia Impressão 3D é disruptiva em aplicações, como impressão de prótese, na postergação (customização) e na fabricação de peças de reposição de todos tipos de máquinas. A Amazon criou uma nova seção de venda de produtos totalmente feitos com impressora 3D. O site vende brincos, bonecos e até suportes para câmeras GoPro. A área do varejista permite montar e personalizar itens antes de comprar.

Quais são as aplicações e implicações da manufatura aditiva na EP 4.0?

A impressão 3D possibilita a produção customizada de infinitos objetos, desde aparelhos de ouvido, capas de celulares, peças de reposição, solado de sapatos, próteses até coroas dentárias. Ela oportuniza novos negócios para pequenas e médias empresas, *startups* e novos desafios para empresas já estabelecidas.

Exemplos de aplicações da manufatura aditiva (COAN, 2016):

- a empresa Audi trabalha, com a Nasa, no uso da impressão 3D para futura colonização lunar, utilizando a areia da própria Lua, rica em minerais, para produzir uma série de componentes, como estruturas, *drones* etc.;
- a New Balance, fabricante de tênis esportivo, imprime as solas de seus tênis;
- a indústria da construção imprime blocos e estruturas de suporte muito mais resistentes e leves do que as tradicionais;
- a indústria alimentícia imprime chocolates e doces, utilizando filamentos de açúcares, e avança para novos ramos, como a sintetização de alimentos.
- um dentista especialista em prótese pode utilizar uma impressora 3D para a confecção de próteses em um espaço do seu próprio consultório.

Observe: há dez anos, uma *lan house* fazia impressão de documentos. Daqui a pouco, elas terão impressoras 3D. O consumidor fará a compra de um produto, que será produzido perto de sua casa. Essa é uma quebra de paradigma que a tecnologia está provendo.

1.2.5 Big Data

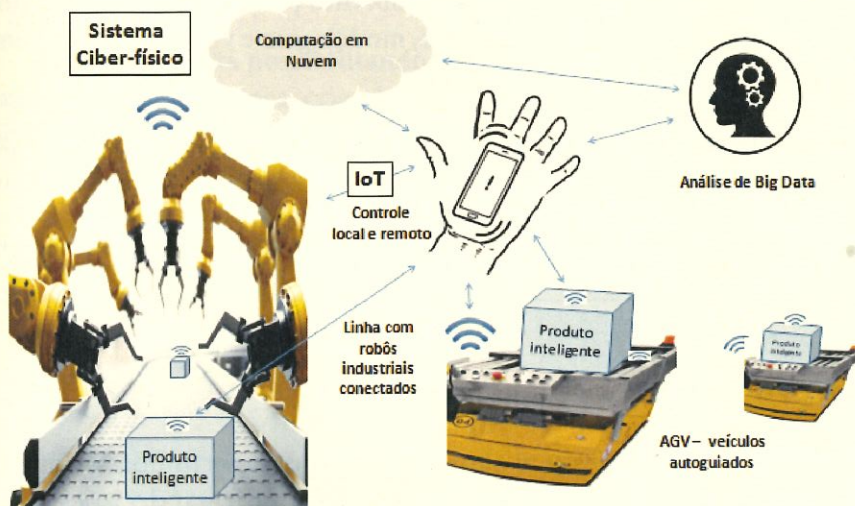
Tamás e Illés (2016, p. 5) descreveram a essência de Big Data como a “determinação de probabilidades com métodos e procedimentos matemáticos”, chamados de algoritmos, baseada em enormes quantidades de dados, que permitem que as decisões sejam tomadas sem conhecer os efeitos de causa. Big Data significa usar várias metodologias para coletar, armazenar e processar dados de várias fontes com o objetivo de gerar valor empresarial.

Você sabia? A informação é considerada fator competitivo de diferenciação. Isso é possível mediante o processamento de grande quantidade de dados estruturados (ex.: relatórios padronizados, tabelas) e não estruturados (texto, voz, sinais de sensores, imagens, acessos na pesquisa Google, YouTube) disponíveis nos bancos de dados. Podemos afirmar que dados geram informações mais valiosas do que ouro e petróleo.

No contexto da Indústria 4.0, os dados são coletados internamente, de informações relacionadas à produção, extraídas de sensores, equipamentos inteligentes durante o processo produtivo, e externamente, como demanda, temperatura, tendências, políticas de produção, entre outros que possam ser relevantes. Os dados são processados e retornam como feedback a todos os aspectos da produção (LI *et al.*, 2017). É aqui que os CPS e a IoT interagem. Como Tamás e Illés (2016, p. 5) afirmaram, esses três componentes – Big Data, CPS e IoT – estão intimamente relacionados: “Não podemos falar de sistemas ciber-físicos e Big Data sem IoT”.

A relação entre essas tecnologias disruptivas e os Robôs Autoguiados (AGV) está representada na Figura 1.5. Observam-se os veículos autoguiados transportando produtos inteligentes (ver 2.2.2 no próximo capítulo) que serão processados em uma linha de robôs com, ou sem, operadores, lado a lado. Por meio da IoT, estão conectadas pessoas, máquinas e robôs. Esse sistema que une o físico e o cibernético constitui-se dos CPS.

Figura 1.5 – Sistema ciberfísico, IoT, computação em nuvem e Big Data



Fonte: os autores

Como funciona o Big Data?

O Big Data é um conjunto de técnicas da TI, da estatística e da programação avançada, capaz de processar e transformar uma quantidade e variedade de dados em informações que impactam o negócio, que tornam os processos mais eficientes e que produzem produtos com mais qualidade.

O Big Data coleta dados disponíveis em qualquer lugar. O número de dados (*bits*) disponível tem aumentado, exponencialmente, devido à grande quantidade de equipamentos inteligentes e pessoas conectadas em rede. Equipamentos conectados, como carros, telefones, equipamentos domésticos, sensores, câmeras web, leitores RFID, produzem dados não estruturados continuamente. Para elaborar um projeto de Big Data, deve-se considerar a variedade, a velocidade, o volume, a veracidade, a vulnerabilidade, a visualização e o valor dos dados (7Vs). Os dados estão disponíveis em grande volume, variedade e, muitas vezes, precisam gerar informações com muita velocidade e em tempo real (ex.: fraude no uso de cartão de crédito). Antes de serem gerados os modelos, deve-se verificar a veracidade dos dados. Existem muitas informações falsas na internet. As informações geradas não devem ser vulneráveis a ataques cibernéticos, mas devem ser facilmente visualizadas em gráficos com auxílio de softwares específicos. Por último, elas agregam valor ao negócio empresarial.

Um projeto de Big Data tem as seguintes fases: a) definição do objetivo do projeto; b) preparação do ambiente para armazenar os dados; c) coleta dos dados; d) processamento, modelagem e visualização; e) tomada da decisão.

Você sabia? Um grande desafio para a engenharia é transformar Big Data em informações inteligentes. Para isso, coletam-se dados estruturados e não estruturados e geram-se informações para fidelização de clientes, melhorias de produtos e serviços, utilizando a estatística, matemática e algoritmos computacionais de *Machine Learning* (ML).

Quais os benefícios do Big Data na I 4.0?

As organizações têm agora uma grande oportunidade com o Big Data. Ao invés de usar análise de dados para confirmar decisões recentes

e já tomadas no passado, elas poderão identificar novos e futuros padrões de comportamento, visualizando novas oportunidades para (JESK; GRÜNER; WEIß., 2013):

- a. aumentar a eficiência produtiva mediante o uso de dados, elevando o nível de conhecimento dos processos, otimizando o consumo de recursos e aumentando a qualidade e desempenho dos processos;
- b. melhorar o relacionamento com o cliente, explorando dados para a sua retenção e lealdade, para desenvolver segmentação e objetivos mais precisos e otimizar a interação e serviços ao cliente;
- c. desenvolver novos modelos de negócio, capitalizando dados para aumentar receitas de novos e existentes produtos e serviços.

Quais são as aplicações e implicações do Big Data na EP 4.0?

Com o Big Data, é possível antecipar volumes de vendas com mais acurácia, determinar preferências do consumidor e otimizar planos de produção. A análise e gestão de grandes quantidades de dados permite otimização da produção, ganhos de produtividade e redução do consumo de energia. Em um contexto de Indústria 4.0, a coleta e a análise de dados de várias fontes diferentes em tempo hábil se tornarão procedimentos padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real (RÜßMANN *et al.*, 2015).

O Big Data está possibilitando uma revolução na manutenção de equipamentos e máquinas, criando uma nova forma de realizar a manutenção (ver Capítulo 5).

informações e serviços, *earning*

o Big
centes

Estudo de caso 1.2: Big Data na DM, na DHL e na exploração de ouro

A DM é uma das principais redes de drogarias na Alemanha. Ela usa o Big Data para prever o movimento de suas lojas considerando parâmetros individuais e de localização. Por meio de um algoritmo, incluindo vendas históricas, horário de atendimento, horário de recebimento de mercadorias, feriados locais e nas cidades vizinhas, facilidade de acesso, previsão do tempo (neve, chuva, frio excessivo etc.), preferência de turno e horário de trabalhos dos funcionários, a DM obtém dados precisos para o planejamento da quantidade de pessoas que devem trabalhar em cada loja, otimizando o efetivo dos funcionários a demandas de clientes, ou seja, quando a loja tem poucos clientes, tem menos funcionários e vice-versa (JESKE; GRÜNER; WEIß, 2013).

A DHL, empresa de soluções em logística, usa o “caminhão inteligente DHL” para coletas e entregas diárias de pacotes e encomendas. O motorista entregador utiliza um sistema “on board” que otimiza diariamente seu trajeto baseado nas informações de tráfego e pedidos recebidas. O sistema de roteamento dinâmico recalcula as rotas dependendo de novos pedidos e da situação do tráfego. O ganho com redução do tempo de entregas e distâncias percorridas impacta a redução de custos e aumenta a eficiência do CO².

Outro exemplo da aplicação dessa tecnologia é o caso de uma mina de ouro africana que encontrou maneiras de capturar mais dados de seus sensores. Esses novos dados mostraram flutuações insuspeitas nos níveis de oxigênio durante o processo de lixiviação. A correção dessa flutuação resultou em um aumento da produção equivalente a US\$ 20 milhões por ano (BAUR; WEE, 2015).

1.2.6 Computação em Nuvem (CN)

A CN é um termo que descreve um ambiente de computação formado por uma rede de servidores, virtuais ou físico, ou seja, um conjunto de recursos, como capacidade de processamento, armazenamento, conectividade, plataformas, aplicação e serviços disponibilizados na internet (TAURION, 2009). Ela é comparável à quantidade de aplicativos (APPS) disponíveis para os sistemas IOS e Android dos aparelhos celulares.

A CN possibilita o acesso a serviços de TIC sob demanda por empresas e usuários individuais que podem acessar recursos computacionais de maneira prática e econômica, ou seja, a CN é uma forma eficiente de maximizar e flexibilizar os recursos computacionais.

As principais características básicas dessa tecnologia possibilitam alcançar dois requisitos: alta escalabilidade e alta usabilidade (DENG *et al.*, 2010). Além disso, a nuvem permite aumentar a disponibilidade e precisão dos dados (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Com essas características, o armazenamento em nuvem facilita um maior compartilhamento de dados em diferentes localidades e em sistemas que vão além do servidor da empresa, fornecendo uma grande redução de custos e uma maior flexibilidade de reação a mudanças esperadas e inesperadas, de modo a atingir tempos de reação de apenas alguns milissegundos (RÜBEMANN *et al.*, 2015).

Além disso, a nuvem possibilita a comunicação e o intercâmbio de dados entre os objetos de criação de valor (máquina, ser humano e produto), os módulos dos sistemas ciberfísicos, os equipamentos de transporte (ex.: AGV), assim como entre os diferentes níveis de agregação de valor e as diferentes atividades da cadeia de valor (STOCK; SELIGER, 2016).

Como funciona a CN?

Na CN, disponibilizam-se os recursos e processamentos computacionais para os usuários, que necessitam apenas ter, em suas máquinas, um sistema operacional, um navegador e acesso à internet. Isso gera uma redução no custo da aquisição de máquinas por parte dos usuários e maior flexibilização no uso dos recursos de acordo com a necessidade em um dado momento. A empresa paga pelo acesso durante o tempo que está usando.

Os tipos de serviços já disponíveis na nuvem são:

- aplicativos (*Software as a Service* – SaaS): modelo de nuvem de uso (serviço) de software baseado em nuvem, ou seja, o fornecedor do programa é responsável pela disponibilização da estrutura em nuvem e permite o acesso ao cliente via internet (gratuito e/ou pago). Alguns exemplos são os programas Microsoft 365 (incluindo o Office 365, Windows, Microsoft Enterprise, Teams), Netflix e Spotify;
- plataformas (*Platform as a Service* – PaaS): modelo de nuvem em quem se contrata um ambiente completo de desenvolvimento. Nesse modelo, é possível modificar, criar e otimizar as aplicações específicas. Existem vários tipos de PaaS incluindo privado, público e híbrido. Alguns exemplos de plataformas são: SAP Cloud Platform, RedHat Openshift e IBM Cloud;

- infraestruturas (*Infrastructure as a Service - IaaS*): modelo de nuvem que disponibiliza recursos computacionais, como armazenamento, processamento, memória, servidores, que podem ser acessados via internet. Alguns exemplos de infraestruturas são: Amazon Web Services, Microsoft Azure e Google Cloud.

Quais os benefícios da CN na I 4.0?

Com a utilização da CN, os usuários não precisam adquirir plataformas e infraestruturas computacionais, nem mesmo instalar e gerenciar softwares em seus dispositivos móveis. Os serviços em nuvem podem ser contratados sob demanda, disponibilizados na web (nuvem) por alguma empresa fornecedora de serviço. A CN e a Indústria 4.0 andam juntas. A nuvem integra toda a cadeia de produção, conectando os equipamentos e tornando os processos muito mais rápidos, eficientes e confiáveis (ver Figuras 3.1, 6.1 e 6.2).

Segundo Zeng *et al.* (2009), o armazenamento de dados em nuvem provê recursos e serviços baseados em servidores remotos, que utilizam os princípios da CN. No contexto da Indústria 4.0, a própria nuvem é implementada na IoT e dos Serviços (STOCK; SELIGER, 2016).

Quase são as aplicações e implicações da CN na EP 4.0?

A CN proporciona um número ilimitado de aplicações ao engenheiro de produção. Por um lado, por meio da CN, é possível acessar softwares para simular, otimizar e controlar a fábrica digital (ver Capítulo 3). A análise Big Data cria um campo novo e desafiador para tratamento de milhões de dados disponíveis, estruturados e não estruturados (ex. sinais dos sensores, comportamento de clientes) com acesso a TI disponíveis na CN. Ela possibilita aplicações de inteligência artificial e ML na indústria, tornando-as mais competitivas. Por meio da coleta e análise de grande quantidade de dados e de seu tratamento com as ferramentas disponíveis nas nuvens, é possível identificar padrões e correlações que geram novas ideias, benefícios e valor.

Você sabia? Programas computacionais baseado em ML podem usar algoritmos para achar soluções, de modo autônomo, para novos e desconhecidos problemas. Essa tecnologia oferece novas e interessantes ideias. Com a ajuda da ML, software e TI estão se tornando importantes direcionadores de inovação na indústria (VDMA, 2018). Por exemplo, por meio de um grande número de imagens computacionais de amostras de peças, os algoritmos aprendem a diferenciar uma imagem de uma amostra conforme de uma não conforme. Esse sistema utiliza padrões e estruturas definidas por ele mesmo para detectar e separar amostras não conformes e anomalias que dificilmente seriam identificadas pelos inspetores. Se os algoritmos de ML são os motores para o desenvolvimento futuro, os dados são seu combustível (VDMA, 2018).

1.2.7 Segurança da informação (cybersecurity)

Em maio de 2017, empresas, em mais de 70 países, sofreram um ataque cibernético que sequestrou informações de computadores e servidores, bloqueando o acesso até que um resgate fosse pago. Segundo especialistas em segurança, sem a capacidade de descriptografar seus dados por conta própria, as vítimas do ataque que não teriam realizado backup de seus dados e seriam confrontadas com uma escolha: viver sem seus dados ou pagar (PERLROTH; SANGER, 2017).

Diante desse acontecimento, fica clara a importância da cibersegurança, tanto para a indústria atual como para a indústria do futuro. As fábricas digitais (ver Capítulo 3) vão trabalhar com protocolos padrão de comunicação e alta conectividade entre todos os elos da cadeia de valor, o que significa que a necessidade de proteger os sistemas industriais e linhas de fabricação críticos contra ameaças de cibersegurança vai aumentar drasticamente. Dentro desse contexto, comunicações confiáveis e seguras, bem como identidades sofisticadas e gestão de acesso de máquinas e usuários serão essenciais (RÜRMANN *et al.*, 2015). Especialistas afirmam que a tecnologia de criptografia usando *blockchains* poderá contribuir para o aumento de segurança das TIC.

1.2.8 Sistemas integrados

A maioria dos sistemas de informação existentes hoje não são totalmente integrados. São fragmentados, não conversam entre si e oferecem pouca visibilidade e controle para seu gerenciamento. Na I 4.0, as empresas, as pessoas, as máquinas (recursos) e os produtos estarão conectados e muito

mais coesos, à medida que as redes de integração de dados universais evoluam e possibilitem cadeias de valor verdadeiramente integradas e automatizadas (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Como funciona a integração horizontal na I 4.0?

Entende-se integração horizontal como a integração dos vários sistemas de TI para o apoio e a implementação de diferentes processos de agregação de valor (como fabricação, logística, vendas, engenharia e serviço), tanto dentro da empresa produtora, como além das fronteiras da empresa (*Plattform Industrie 4.0*, 2015). Ex.: ERP, Roteirização, WMS, CRP, SCM, ECR, CIM, PMS etc.

Dentro de uma rede integrada, os riscos podem ser equilibrados e os recursos, combinados, expandindo a gama de oportunidades de mercado (SCHUH *et al.*, 2005 *apud* BRETTEL *et al.*, 2014; CHIEN; KUO, 2013 *apud* BRETTEL *et al.*, 2014). A organização em redes multiplica as capacidades disponíveis sem a necessidade de novos investimentos. Assim, as empresas em redes integradas podem se adaptar a mercados voláteis e reduzir os ciclos de vida dos produtos com alta agilidade (JAEHNE *et al.*, 2009).

Como exemplo de aplicação, a logística inteligente é caracterizada por equipamentos de transporte capazes de reagir de forma ágil a eventos imprevistos, como mudança de tráfego, ou clima, e que possam operar de forma autônoma entre o ponto de início e de destino. Os equipamentos autônomos de transporte (ex. AGV) são utilizados para realizar o transporte interno ao longo do fluxo de material. Esses equipamentos inteligentes de transporte trocam dados com produtos e máquinas (ver Figura 1.5) de forma descentralizada. Para esse fim, os produtos possuem sistemas de identificação, ex. chips, RFID ou códigos QR., que permitem sua identificação e localização ao longo da cadeia de valor (STOCK; SELIGER, 2016), conforme representado na Figura 6.2 do Capítulo 6.

Como funciona a integração vertical na I 4.0?

Por integração vertical, entende-se a integração dos vários sistemas de TI de um sistema de produção (*Plattform Industrie 4.0*, 2015).

As redes industriais permitem a interconexão de três níveis hierárquicos de equipamentos industriais, desde os equipamentos mais básicos,

como sensores, atuadores, com equipamentos do nível intermediário (CLPs, CNCs, transportadores, robôs) e o nível dos equipamentos de softwares gerenciais (MES, SCADA, PCP, ERPs, controle de estoques).

O padrão mais conhecido para intercomunicação de dados em rede é a *ethernet*. Esse padrão define a conexão do cabeamento, o controle de acesso do dado na rede e o quadro de informação, baseado em normas internacionais.

Você sabia? Os CLPs são microprocessadores indústrias que recebem sinais dos sensores, processam esses sinais conforme programas que estão na sua memória e emitem sinais para os atuadores. A comunicação do CLP com banco de dados é feita mediante a Unidade Central de Processamento (CPU), via *ethernet*, ou outro padrão.

A *ethernet* industrial tem arquitetura do tipo TCP/IP, isto é, utiliza vários protocolos de comunicação entre computadores em rede TCP (*Transmission Control Protocol* – Protocolo de Controle de Transmissão) e IP (*Internet Protocol* – Protocolo de internet, ou, ainda, protocolo de interconexão), utilizados para comunicação a longa, média e curta distância.

Observe: os dados do “chã de fábrica” devem ser tratados e processados de forma precisa e ágil. Uma linha de produção/robô industrial não pode ficar aguardando a conclusão de uma outra tarefa computacional. Para sua operação, os controladores devem acessar os dados a partir de sistemas, estações de trabalho e dispositivos, local e remotamente e em tempo real.

O *fieldbus* é uma tecnologia de comunicação industrial que permite o controle de equipamentos em tempo real. Essa tecnologia substitui o sinal analógico e interliga vários equipamentos por meio de barramento (*fieldbus*). A interligação de instrumentos e equipamentos possibilita o controle e monitoramento dos processos, que, com softwares supervisórios (ex. SCADA), permitem a “visualização dos equipamentos” nas salas de controle.

Essa integração permite um sistema de fabricação flexível e reconfigurável, uma vez que as máquinas inteligentes formam um sistema auto-organizado que pode ser reconfigurado dinamicamente e de forma autônoma. Dependendo dos dados monitorados, os atuadores acoplados no equipamento reagem em tempo real a mudanças específicas do produto, pessoas, ou processos (STOCK; SELIGER, 2016).

Quais são os benefícios da integração horizontal e vertical na EP 4.0?

A integração horizontal e vertical possibilita o compartilhamento de dados em tempo real, maior eficiência na alocação de recursos, maior coerência entre as unidades de negócio e acurácia no planejamento. A integração vertical, por meio da digitalização de processos de negócio em vários níveis, possibilita maior flexibilidade e produção customizada em série. A integração horizontal permite a otimização de processos logísticos ao longo da cadeia de valor. O *toolbox* do produto e da produção (ver 8.3) destacam a importância da integração vertical e horizontal na criação de valor e de novos modelos de negócio.

1.3 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DE SENSORES

A adoção de tecnologias de sensores tem contribuído, fortemente para o crescente uso de aparelhos inteligentes, como *tablets* e telefones inteligentes. Historicamente, mais para uso privado do que industrial. Os sensores são ferramentas universais, capazes de acessar e trocar dados em tempo real, projetados para serem robustos fisicamente, eles têm muitas aplicações comerciais e industriais. Uma vez equipados com um ou mais sensores, até centenas, os dispositivos móveis são ideais para monitoramento e controle da cadeia de suprimentos local e remoto.

Observe: com sensores, quase tudo pode ser medido. O quadro 1.1 mostra diversas aplicações de sensores em aparelhos móveis inteligentes.

Quadro 1.1 – Tecnologias de sensores em *smartphone*

Aparelho	Tipos de sensores	Finalidade
iPhone 5S	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento em 3 eixos • Acelerômetro • Sensor de proximidade • Sensor de luz ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento, gesto, facial e reconhecimento de voz • Análise de localização • Controle de brilho

Aparelho	Tipos de sensores	Finalidade
Galaxy S4 Galaxy S10	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento em 3 eixos • (Acelerômetro, Giroscópio e Geomagnético) • Sensor de proximidade • Sensor de luz ambiental • Sensor de umidade, temperatura e pressão • Comunicação por campo de proximidade • Sensor de impressão digital • Barômetro • Sensor de proximidade • Sensor de luz RGB • Sensor de efeito Hall 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento, gesto, facial e reconhecimento de voz • Análise de localização • Análise da luminosidade • Análise ambiental (umidade, temperatura e pressão) • Identificação por etiqueta (<i>tag</i>) • Segurança na identificação • Pressão atmosférica • Identifica objetos próximos e sua distância • Mede a intensidade de cores • Reconhece se a capa está aberta ou fechada
Novos dispositivos	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de imagem de profundidade • RFID • Sensor de qualidade do ar • Sensor de batimento cardíaco 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecimento de gesto e documentação • Identificação por etiqueta (<i>tag</i>) • Análise ambiental (umidade, temperatura e pressão) • Controle da saúde

Fonte: adaptado de Richter e Poenicke (2015)

Como funcionam os sensores e os atuadores?

Os sensores são a base para a I 4.0. Os sensores são elementos sensíveis a uma grandeza física ou química (ex.: temperatura, pressão e outras variáveis de processo) que emitem sinal (ex. elétricos) via transdutores, tornando-o legível para um controlador programável (ex.: CLP). Esses possuem microprocessadores que podem ser programados e controlados por aparelhos inteligentes. Os controladores acionam atuadores (ex.: motores, válvulas, resistências), permitindo a interação com o mundo real.

Na visão da I 4.0, os sensores e atuadores estão integrados. Os dados dos sensores são processados e analisados pelo produto que reage com base nos dados obtidos (ex. carros e robôs autônomos).

Quais os benefícios dos sensores para I 4.0?

Por meio dos sensores, obtém-se um novo nível de transparência na cadeia de valor. Eles apoiam que o produto correto, no tempo certo, no local certo, na quantidade certa, nas condições certas, ao custo adequado seja entregue ao cliente.

Quais são as aplicações e implicações dos sensores na EP 4.0?

Os sensores são os sinais vitais de uma fábrica e devem ser utilizados de forma criativa e técnica, tanto na programação de seu uso (ex.: escolha da tecnologia e aplicação), como na análise de dados gerados (ex.: manutenção preditiva de equipamentos).

1.4 OS PILARES DA I 4.0

Existem quatro componentes considerados os pilares da I 4.0 (HOFMANN; RÜSCH, 2017):

- os **Sistemas ciberfísicos (CPS)**, que fazem a integração da tecnologia da informação com os processos físicos e cujo comportamento é definido tanto pela parte cibernética como pela parte física do sistema. Esses sistemas formam uma rede (espaço) integrada e segura, robusta e inteligente com softwares e internet (ciber) e máquinas, produtos e pessoas (físico). Atuam de forma eficiente, autônoma e remota, customizando demandas de clientes.

Observe: os CPS são a ponte entre o mundo físico e digital, com ou sem fio.

- a **IoT**, que é a relação do mundo virtual com o mundo físico por meio da rede mundial de computadores, já descrita na seção 1.2.1;
- a **IoS**, que permite que os fornecedores ofereçam seus serviços na internet e é composta por participantes, uma infraestrutura de serviços, modelos de negócios, e os próprios serviços;
- as **fábricas inteligentes**, ou *smart factory*, que são os locais onde máquinas e produtos se comunicam por meio das operações

industriais, fazendo com que o processo de produção possa ser realizado por meios digitais, que pode ocorrer de forma autônoma ou integrada. A lógica das fábricas inteligentes está descrita no Capítulo 2.

Questões para revisão

1. O que são tecnologias disruptivas?
2. Para que servem os robôs colaborativos?
3. Resuma os principais benefícios das tecnologias disruptivas.
4. Qual a importância dos sensores na I 4.0?
5. Quais os objetivos da realidade virtual e da realidade aumentada?
6. Como as tecnologias da 4ª revolução industrial se relacionam entre si e com as demais tecnologias das revoluções anteriores?

Respostas

1. Tecnologias disruptivas são inovações capazes de reinventar a maneira de se lidar com produtos e serviços. Um exemplo é o mercado de videogame. A Sony e outras empresas estão mudando o conceito de imersão digital em jogos, antes, somente feita por uma tela de TV e, hoje, por meio da realidade virtual.
2. Os robôs colaborativos servem para facilitar tarefas rotineiras, ou complexas, sejam elas domésticas, ou industriais. Robôs domésticos colaboram com a limpeza da casa com o mínimo de dependência humana e robôs industriais colaboram em atividades repetitivas, exaustivas e insalubres, diminuindo os riscos e as despesas relacionados a operadores.
3. A cada dia, é lançado um novo produto, ou serviço, que faz uso das tecnologias disruptivas com vários benefícios, desde a comodidade, transparência, rapidez, segurança e eficiência. O Quadro 1.2 resume os benefícios dessas tecnologias.

Quadro 1.2 – Benefícios das tecnologias disruptivas

Tecnologias	Benefícios
Internet das Coisas	Conecta objetos inteligentes criando valor nos sistemas produtivos, novas oportunidades de serviços e modelos de negócio.
Robôs Autônomos	Trabalham de forma colaborativa, lado a lado com as pessoas, auxiliando nas tarefas repetitivas, exaustivas e complexas.
Integração Horizontal e Vertical	Integram a cadeia de valor, tornando os processos mais transparentes e flexíveis.
Simulação	Permitem que sejam feitas análises e comparações virtuais dos processos produtivos.
Manufatura Aditiva	A impressão 3D é utilizada na fabricação de produtos customizados, peças de reposição e prototipagem.
Big Data	Análise de dados estruturados e não estruturados para obter processos mais eficientes e eficazes.
Realidade Aumentada	Disponibiliza informações e imagens virtual para auxiliar nos processos.
Computação em nuvem	A nuvem possibilita acesso às TIC, a virtualização de todos os processos da Cadeia de Valor e o compartilhando das informações para as partes interessadas.
Segurança da Informação	A segurança das redes e a proteção contra-ataques externos (<i>hackers</i>).

4. Os sensores possibilitaram a integração e o controle on-line e remoto de parâmetros de produção, aumentando a flexibilidade e valor agregado ao cliente.
5. As tecnologias de RV fazem uma imersão total do usuário dentro de um ambiente irreal, impedindo o usuário de ver o mundo real ao seu redor. Por outro lado, a RA permite ao usuário ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real. Enquanto a RV leva você para um ambiente (novo ou irreal) criado pelo computador, a RA disponibiliza projeções de conteúdos complementares num ambiente real, facilitando a interação com o mundo real.
6. A quarta revolução industrial combina o uso de todas as revoluções anteriores. A internet, por exemplo, é um arranjo de sinais

elétricos (2° revolução) utilizado num dispositivo da terceira, o computador. O desenvolvimento da inteligência artificial é possível com a IoT, que, por sua vez, agrega mais valor com as informações coletadas e analisadas em grande escala com o auxílio de Big Data e CN. A intersecção dessas tecnologias proporciona um momento histórico e único na humanidade.

Para saber mais

- Para saber mais sobre robôs industriais, seus fabricantes, suas aplicações e tecnologias associadas, veja o livro (*e-book*) *Introdução a Robótica Industrial*, de Valdemir Carrara do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ele é facilmente encontrado na internet (Google), ou no link: http://www.dem.inpe.br/~val/homepage/cursos/rb_apostila.pdf.
- Para conhecer aplicações de robôs, visite o site dos três maiores fabricantes de robôs: ABB, Yaskawa e KuKA. A ABB Robotics desenvolveu um robô colaborativo chamado YuMi (*You and Me*), que significa que trabalha junto a você na montagem de peças eletrônicas.
- O vídeo “STRATI o carro feito por impressora 3D”, disponível no YouTube, mostra a fabricação de partes de um carro 3D em uma impressora tridimensional em plástico e fibras de carbono, conforme design computadorizado. Esse processo elimina a necessidade de construir moldes enormes para estamparia e o uso de prensas de grande capacidade. Cada cliente poderá ter o seu carro com customização de design sem maiores custos adicionais.
- Para ver os robôs realizando operações de operação de movimentação nos armazéns da Amazon, acesse o vídeo disponível no YouTube, pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=bhC2HCNIIAM>.