

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329451552>

Sistemas Cyber Físicos

Chapter · November 2018

CITATIONS

0

READS

1,261

3 authors:



Benedito Petroni

Fatec Jundiaí

13 PUBLICATIONS 46 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rodrigo Franco Gonçalves

Universidade Paulista

87 PUBLICATIONS 1,012 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Walter Satyro

Universidade Nove de Julho

34 PUBLICATIONS 253 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Power and Trust: Can They Be Connected in an Interorganizational Network? [View project](#)



Afinal, o que é alinhamento estratégico? [View project](#)

CAPÍTULO 3

SISTEMAS CIBER-FÍSICOS

Benedito Cristiano Petroni

Irapuan Gloria Jr.

Rodrigo Franco Gonçalves

3.1 INTRODUÇÃO

O processo de industrialização foi caracterizado pelas expansões das atividades produtivas, comerciais e, principalmente, pela transição da produção artesanal para a produção com divisão do trabalho e automação crescente, caracterizando as diferentes fases de revoluções industriais.

As revoluções industriais são marcadas pela utilização de novas tecnologias em seus processos produtivos e novas formas de gestão. A Primeira Revolução Industrial marca a passagem da produção semiartesanal, na qual o trabalhador detinha parcialmente o controle do processo e dos recursos de produção para a indústria, com a centralização dos recursos de produção e proletarianização da mão de obra. Surgem assim as indústrias de produção em larga escala (COSTA NETO, 2010). A base tecnológica da Primeira Revolução Industrial era o vapor como fonte de energia e as máquinas automáticas mecânicas.

A Segunda Revolução Industrial, também considerada por alguns como parte da primeira, proporcionou o aprimoramento e modernização das tecnologias existentes com a utilização da eletricidade como fonte de energia e automação eletromecânica. Já a Terceira Revolução Industrial foi impulsionada pelo uso de redes de informação e comunicação, como o uso intensivo de computadores e a internet, o que permitiu definitivamente a união da tecnologia em prol dos processos industriais.

A Quarta Revolução Industrial busca aprimorar ainda mais o legado da Terceira Revolução Industrial, propiciando a mistura do mundo real com o mundo digital por meio de automações, troca de grandes quantidades de informações, utilização efetiva do conceito de sistemas ciber-físicos (CPS – *cyber-physical systems*) e internet das coisas (IoT).

Um sistema ciber-físico é composto por elementos computacionais em estreita relação com o ambiente físico, com o intuito de monitorar e controlar entidades físicas em tempo real, bem como testar e simular processos físicos, a partir do ambiente virtual.

A Indústria 4.0 engloba sistemas e conceitos em várias áreas de conhecimentos, como a automação industrial integrada e inteligente, cadeias produtiva e logística globalmente integradas, fornecimento de matéria-prima e energia, gestão de ativos e plantas industriais, combinando domínios que vão das mais variadas áreas da engenharia e da tecnologia da informação (CESÁRIO, 2017).

3.2 ESTRUTURA DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS

Todas as aplicações que utilizam as arquiteturas CPS são formadas por duas camadas: camadas de tecnologia operacional (física); e camada virtual, de aplicações de tecnologia da informação (*cyber*). No entanto, os protocolos de comunicação nessas arquiteturas podem diferir de modelos de informações usados na tecnologia da informação (GIVEHCHI et al., 2017), sendo mais próximas dos protocolos de automação.

Nos CPSs, os elementos computacionais são interligados aos elementos físicos por meio de sensores e atuadores, de forma que o monitoramento e controle do ambiente físico possa ser realizado a partir do virtual. Equipamentos “inteligentes” permitem a tomada de decisões descentralizada e cooperação com humanos em tempo real.

A Figura 3.1 ilustra a arquitetura dos sistemas ciber-físicos. A camada física é responsável pela realização das operações de transformação da realidade que, no caso de processos produtivos, pode ser entendida como máquinas operatrizes, esteiras transportadoras, robôs, braços mecânicos, fornos, caldeiras, tanques reatores etc. A própria planta da fábrica pode ser considerada na camada física, bem como os trabalhadores humanos que nela operam. A camada *cyber* é formada por aplicações de TI de múltiplas funções:

- uma cópia virtual (tecnicamente conhecida como gêmeo virtual – *virtualtwin*) do mundo físico, que permite testar e simular eventos ou processos com maior segurança e menor custo do que se realizados no mundo físico;
- interfaces de gerenciamento e controle em tempo real das atividades do mundo físico por meio de *dashboards* (painéis de controle na tela do computador) para uso por humanos;
- controle automático descentralizado por unidades inteligentes autônomas na linha de produção, baseadas em inteligência artificial e executadas em tempo real por meio de redes de sensores e atuadores na camada física;
- captura e armazenamento de dados em grande quantidade para análise e tomada de decisão (*big data analytics*);

- integração da cadeia de valor com a estrutura produtiva, permitindo a comunicação com fornecedores e clientes por meio do ambiente virtual.

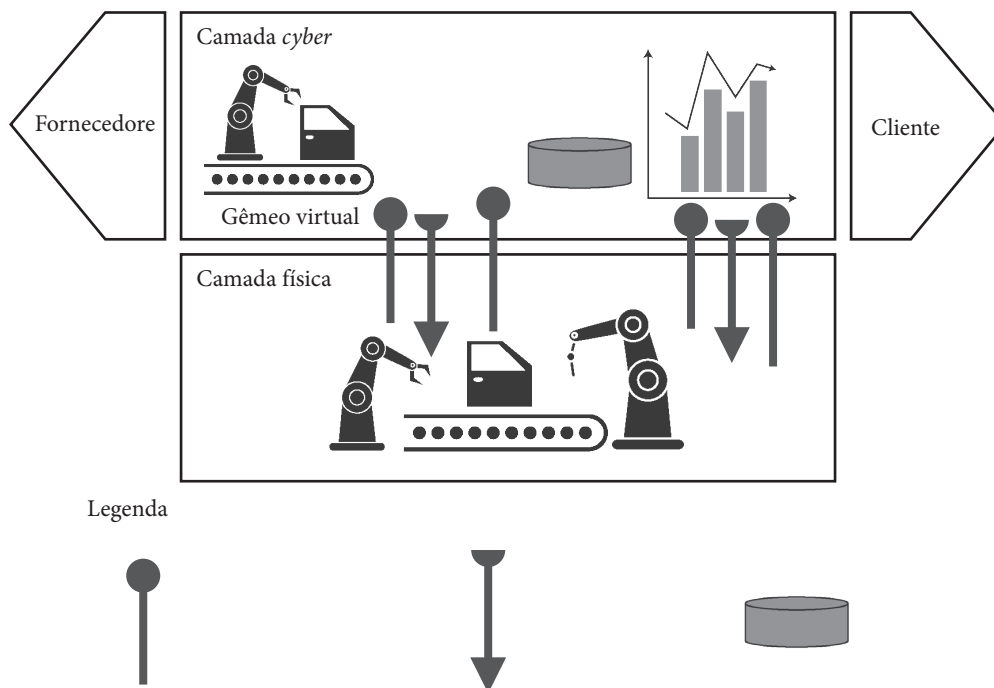


Figura 3.1 – Arquitetura dos sistemas ciber-físicos.

Nos CPS, a integração entre as camadas física e *cyber* dá-se a partir de sensores e atuadores. Sensores são dispositivos que captam informações do ambiente físico e as transformam em sinais elétricos e, então, digitais, para alimentar os sistemas de monitoramento e controle em tempo real. Já os atuadores realizam intervenções no mundo físico a partir de sinais e comandos digitais, como a abertura e fechamento de válvulas, força mecânica, aquecimento ou resfriamento etc., podendo assim controlar ações de máquinas, posicionamento de peças e objetos, velocidade de esteira, temperatura e pressão e outras características do ambiente físico.

A camada *cyber* pode abrigar um modelo de simulação que reproduz o ambiente físico – *gêmeo virtual* – a fim de permitir que projetos de novos processos ou alterações sobre processos existentes possam ser testados primeiramente no ambiente virtual, sem necessidade de alteração sobre o físico, proporcionando considerável redução de custos e riscos.

Inclui ainda um conjunto de aplicações de TI como sistemas integrados de gestão (ERP), sistemas de acompanhamento e controle da produção (*manufacturing execution system* – MES), sistemas de gestão do ciclo de vida do produto (PLM), entre outros.

Embora esses sistemas tenham sido usados anteriormente ao conceito de CPS e Indústria 4.0, o diferencial está na integração em tempo real com o ambiente físico-produtivo. Esse conceito pode ser mais bem entendido analisando a seguinte situação: uma indústria automobilística pode ter um lote de produção planejado em seu sistema de PCP (uma das funções do sistema ERP) com determinada sequência de modelos de veículos na linha de produção. Caso ocorra algum problema em uma etapa da produção que leve a uma alteração na sequência dos veículos, se essa alteração não for repassada em tempo real para as etapas seguintes da linha, podem ocorrer atrasos ou mesmo parada da linha para a reorganização da produção. Isso pode ocorrer se as etapas subsequentes da linha se prepararem com *kits* de peças do estoque com base no plano inicial previsto no PCP. Se cada veículo em produção for identificado de forma única e sua posição na linha puder ser identificada por toda a fábrica, usando-se uma etiqueta de RFID (camada física) na carroceria, por exemplo, a posição de todos os veículos em produção pode ser comunicada ao MES e todas as etapas da produção podem ser informadas tempestivamente da necessidade de se adaptarem à nova sequência, evitando atrasos ou parada da linha.

Todo o enorme volume de dados provenientes da camada física, bem como dos demais sistemas, podem ser armazenadas em um grande banco de dados para alimentar sistemas de *business intelligence* (BI), para análises e apoio a decisões estratégicas da organização.

Os sistemas podem também estender-se aos demais elos da cadeia de valor, permitindo, por exemplo, que o MES troque diretamente informação com os sistemas (ou máquinas) de fornecedores para garantir entregas *just in time* mais assertivas. Um cliente pode acompanhar o andamento da produção de seu pedido customizado ou mesmo fazer alterações no pedido, informadas em tempo real à camada física.

3.3 CPS E INDÚSTRIA 4.0

De acordo com a National Critical Technologies Panels, desde o início da década de 1990, equipamentos de processamento inteligente têm um papel essencial no avanço das capacidades de fabricação. O conceito fundamental é o processo de fabricação incluir a capacidade de detectar as características ou propriedades desejadas de um produto e ter inteligência local suficiente para controlar essas propriedades (ATLAS, 1996).

A condição inicial da plataforma da Indústria 4.0 é que equipamentos e objetos com capacidade de comunicação (em geral, aplicações de IoT) devem ser implementados como componentes em todo o processo, caracterizando assim a possibilidade de uma integração entre máquinas (ZEZULKA, 2016). Com isso, pode-se observar que a integração de máquinas tem sido objetivo das indústrias no sentido que buscar tecnologias de informação e comunicação para o gerenciamento de processos de maneira mais eficiente.

As indústrias de manufatura estão buscando aumentos substanciais de flexibilidade, produtividade e confiabilidade de suas máquinas de processo, bem como maior qualidade e valor de seus produtos por meio de integrações.

Existem vários dispositivos para auxiliar a Indústria 4.0: desde o controlador lógico programável dos anos 1990 (DA SILVA, 2016), até aplicações avançadas baseadas em IoT, inteligência artificial e robôs colaborativos. Um exemplo é a gestão dos processos de simulação de corrosão em equipamentos controlados por CLP a partir de um computador (GLÓRIA JÚNIOR, 2016).

3.4 APLICAÇÕES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS

Os sistemas ciber-físicos pertencem à área de engenharia e são construídos e dependentes da integração perfeita entre algoritmos de sistemas computacionais e componentes físicos. Essa tecnologia está em constante evolução e seus avanços permitirão capacidade, adaptabilidade, escalabilidade, resiliência, segurança e usabilidade, além dos sistemas embarcados atuais.

→ Os sistemas ciber-físicos estarão cada vez mais envolvidos nos sistemas de produção. Sistemas com tecnologia mecatrônica convencionais, não integrados, podem tornar-se elementos de sistemas ciber-físicos por meio de funções de comunicação (implantação de IoT, por exemplo) e autonomia no comportamento sobre influências externas e configurações internamente armazenadas. No sistema de produção, a chamada integração horizontal por redes de valor e a integração vertical por sistemas de fabricação em rede podem ser construídas para realizar a chamada *produção inteligente* (LIU, 2015).

Como a internet trouxe uma revolução na forma de como a informação é propagada e disseminada, a tecnologia dos sistemas ciber-físicos está transformando a maneira como as pessoas interagem com os sistemas industriais e todo o mercado consumidor com suas necessidades específicas.

A aplicação e utilização de tecnologias que utilizam os sistemas ciber-físicos pode ocorrer em todas as áreas da organização, mas destaca-se a integração entre demanda e produção. Através dos CPS busca-se maior responsividade no atendimento às demandas individuais dos clientes e flexibilizar a produção conforme mudança dos mercados, influência global e situação geral da concorrência.

Alguns exemplos das variedades de aplicações possíveis de serem utilizadas pelos sistemas ciber-físicos são:

- infraestrutura de comunicação durante o planejamento de transmissão de pacotes por meio de redes sem fio estabilizando todo o sistema (QU, 2015);
- desenvolvimento de uma solução de controle de pragas inteligente, um sistema de detecção de rato (RDS), a fim de fornecer uma infraestrutura para o monitoramento de ratos no campo da agricultura (MEHDIPOUR, 2014);

- aplicação de novas tecnologias em projetos de cidades inteligentes para auxiliar em estratégias de crescimento viável do mundo (GHAEMI, 2017);
- projetos inovadores no campo do monitoramento médico, com aplicação de dispositivos portáteis, com conexões de sensor e internet adequadas para o monitoramento de pessoas idosas e enfermas na fase de acompanhamento remoto (QUARTO, 2017);
- *kit* de robótica para educação e pesquisa sobre sistemas ciber-físicos, utilizando tecnologia Arduino com vários recursos e custo baixo (WONG, 2016).
- A Figura 3.2 ilustra a relação existente entre os sistemas ciber-físicos e os elementos das organizações que são beneficiados diretamente.

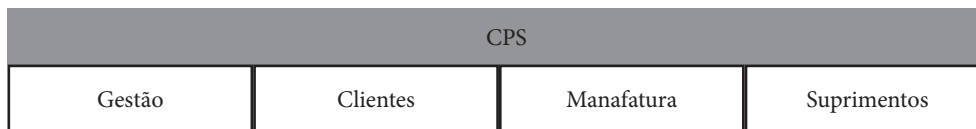


Figura 3.2 – Sistemas ciber-físicos interagem e integram diferentes elementos da organização em diferentes níveis.

Os sistemas ciber-físicos podem contribuir para a transparência dos processos industriais, permitindo monitoramento em tempo real, ensaios e simulações sobre o gêmeo virtual, com custo e riscos reduzidos, além de aumentar a flexibilidade, responsividade e produtividade ao longo de toda a cadeia. Isso se deve, de acordo com Witkowski (2017):

- à melhora no atendimento das expectativas do cliente, em termos de serviços de entrega, tempo de entrega, disponibilidade e confiabilidade;
- a serviços preparados de acordo com as necessidades dos consumidores, portanto, com resposta rápida às suas necessidades;
- à segmentação da cadeia de suprimentos focada na demanda e necessidades específicas dos clientes, o que pode ajudar a reduzir custos e aumentar a flexibilidade;
- ao monitoramento de requisitos de segurança e controle de riscos;
- à disponibilidade de dados para análise estratégica e melhoria nos instrumentos de gestão.



3.5 SENSORES E ATUADORES

Sensores são dispositivos que respondem a estímulos de condições físico-químicas, como luminosidade, temperatura, pressão, acidez, corrente, aceleração, posição, entre outras, transformando-as em sinais elétricos que podem ser lidos e processados por sistemas eletrônicos. Os sensores podem ser analógicos (mais antigos e geralmente

utilizados em automação convencional), ou digitais (compatíveis com sistemas computadorizados, como os CPS). Alguns exemplos de sensores são os:

- **Sensores de presença:** executam a detecção de qualquer material sem que haja contato físico com o elemento e são utilizados na indústria para detecção de quebra de fios, presença de pessoas ou objetos, medição de densidade e outras aplicações.
- **Sensores de proximidade:** utilizam campos formados por ondas de rádio ou sonoras que permitem identificar a proximidade de um objeto ou pessoa. Permitem, por exemplo, que um robô interrompa um movimento a fim de resguardar uma pessoa que eventualmente invada seu espaço de movimentação.
- **Encoders:** na indústria, são usados quando é necessário obter informações sobre um deslocamento angular ou linear, como em uma esteira de movimentação de produtos ou em radares, que podem retornar a velocidade e posição na forma de *bytes*.
- **Fotosensores:** detectam a presença (ou a ausência) de luz. São muito utilizados para posicionamento de precisão com *laser*, medição de rotação e controle de movimentação e parada.
- **Sensores de aceleração (acelerômetro):** fornecem sinais elétricos que indicam variação da velocidade. Usados para verificar vibrações, choques, impactos etc.
- **Sensores de pressão e temperatura:** muito utilizados no controle de processos químicos, bem como para segurança em diferentes aplicações industriais.

Já os atuadores são dispositivos que realizam intervenções no meio físico partir de sinais ou comandos eletrônicos/digitais. Fazendo uma analogia com o corpo humano, é como se sensores fossem nossos órgãos sensoriais e atuadores os nossos músculos. São exemplos de atuadores mais comuns:

- **Válvulas solenóides:** permitem a abertura ou fechamento de válvula hidráulica ou pneumática a partir de sinais elétricos.
- **Servo-motores:** motores com sistema de *feedback* eletroeletrônico que permitem controle de posição, força, torque.
- **Motores de passo:** permitem rotação controlada e discreta em pequenos ângulos.
- **Relês:** permitem o acionamento de correntes elétricas intensas a partir de sinais de baixa intensidade (interruptor elétrico).
- **Aquecedores e resfriadores:** realizam interferência térmica.

Além desses dispositivos, os CPS podem fazer uso de outros elementos na camada física como etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID), que permitem identificar um objeto distante, códigos de barra ou QR para identificação por meio de leitores óticos, marcações no piso para orientação de robôs servidores de peças e veículos autônomos etc.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O advento da Indústria 4.0 e o uso dos sistemas ciber-físicos representam um avanço para a união de dois conceitos até hoje dificilmente associados: alta customização e produção em massa. Essa nova forma de industrialização produz impactos econômicos e sociais nas empresas e na sociedade (PETRONI; GLÓRIA JR.; GONÇALVES, 2017).

O mercado ainda está se adaptando a esses conceitos e há inúmeros aspectos obscuros a serem discutidos, como o nível de emprego e a substituição da mão de obra humana, a capacitação do novo profissional da indústria e o papel da segurança da informação, privacidade, entre outros.

Como observado, os sistemas ciber-físicos permitem a criação de uma rede com objetos inteligentes interagindo entre si e interconectados com sistemas cada vez mais integrados, flexibilizando a produção e aumentando a produtividade. Com isso tem-se a criação de novos mercados, estratégias e modelos de negócio.

REFERÊNCIAS

ATLAS, L. E.; BERNARD, G. D.; NARAYANAN, S. B. Applications of time-frequency analysis to signals from manufacturing and machine monitoring sensors. *Proceedings of the IEEE*, New York, v. 84, n. 9, p. 1319-1329, Sept. 1996.

BACEA, I. M.; CIUPE, A.; MEZA, S. N. Interactive Kanban: blending digital and physical resources for collaborative project based learning, 2017 IEEE 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), Timisoara, 2017, p. 210-211.

CESÁRIO, J. M. Indústria 4.0. *TLCBrazil: Technology Leadership Council Brazil*, 30 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbre/entry/mp283?lang=en>>. Acesso em: 21 set. 2017.

COSTA NETO, P. L. de O. *Administração com qualidade: conhecimentos necessários para a gestão moderna*. São Paulo: Blucher, 2010.

DA SILVA, E. A. *Introdução às linguagens de programação para CLP*. São Paulo: Blucher, 2016.

GEISBERGER E.; BROY, M. *Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. München: Acatech, 2012. Disponível em: <<http://www.acatech.de/?id=1405>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

GHAEMIA, A. A cyber-physical system approach to smart city development. 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRID AND SMART CITIES (ICSGSC), Singapore, 2017, p. 257-262.

GIVEHCHI, O. et al. Interoperability for industrial cyber-physical systems: an approach for legacy systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Piscataway,

v. 13, n. 6, Dec. 2017. GLÓRIA JÚNIOR, I. A identificação dos riscos em projetos de TI em uma indústria de corrosão: aspectos técnicos. In: GLÓRIA JÚNIOR, I. et al. *Engenharia da produção: tecnologia e informação*. São Paulo: PerSe, 2016. (v. 1.) p. 105-126.

LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, Wiesbaden, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. LIU, Q. et al. An application of horizontal and vertical integration in cyber-physical production systems. *2015 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBER-ENABLED DISTRIBUTED COMPUTING AND KNOWLEDGE DISCOVERY*, Xi'an, 2015, p. 110-113.

MEHDIPOUR, F. Smart field monitoring: an application of cyber-physical systems in agriculture (work in progress). *2014 IIAI 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED APPLIED INFORMATICS*, Kitakyushu, 2014, p. 181-184.

PETRONI, B. C.; GLÓRIA JÚNIOR, I.; GONÇALVES, R. F. Impacto da internet das Coisas na Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura. *WORLD CONGRESS ON SYSTEMS ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY*, 2017, Guimarães. WCSEIT 2017, 2017. v. 1.

QU, C. et al. Distributed data traffic scheduling with awareness of dynamics state in cyber physical systems with application in smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, Piscataway, v. 6, n. 6, p. 2895-2905, Nov. 2015. QUARTO, A. et al. IoT and CPS applications based on wearable devices. A case study: monitoring of elderly and infirm patients. *2017 IEEE WORKSHOP ON ENVIRONMENTAL, ENERGY, AND STRUCTURAL MONITORING SYSTEMS (EESMS)*, Milan, 2017, p. 1-6.

SLACK, N., CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

TOLEDANO, M. T. H. Java technologies for cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Piscataway, v. 13, n. 2, 2017, p. 680-687. WITKOWSKI, K. Internet of things, big data, Industry 4.0: innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, Amsterdam, v. 182, 2017, p. 763-769.

WONG, N.; CHENG, H. H. CPSBot: a low-cost reconfigurable and 3D-printable robotics kit for education and research on cyber-physical systems. *2016 12TH IEEE/ASME INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONIC AND EMBEDDED SYSTEMS AND APPLICATIONS (MESA)*, Auckland, 2016, p. 1-6.

ZANNI, A. Sistemas cyber-físicos e cidades inteligentes. *developerWorks – IBM*, 29 dez. 2015. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iiot/index.html>>. Acesso em: 30 out. 2017.

ZEZULKA, F. et al. Industry 4.0: an introduction in then phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, v. 49, n. 25, p. 8-12, 2016.