

SISTEMAS CIBER-FÍSICOS





INTRODUÇÃO À REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0

Estes materiais didáticos foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Indústria 4.0 – INTRO 4.0” financiado pela Comissão Europeia e que tem como objetivo obter uma visão geral do que está a ser feito na indústria europeia em termos da Indústria 4.0.

O conteúdo destes materiais didáticos oferece informações relevantes e úteis relativamente à Indústria 4.0 que tem como grupos-alvo: adultos, professores (ensino profissional e ensino superior), formadores, *coaches*, empregadores, colaboradores, público-geral e fornecedores de soluções inovadoras.

A informação que consta neste relatório está relacionada com os relatórios “Estado atual da Indústria 4.0” e “Relatório síntese das entrevistas/questionários realizados junto de especialistas e investigação específica da indústria produtiva”, ambos desenvolvimentos pelos parceiros do projeto.

ÍNDICE

2	Índice e objetivos de aprendizagem	13-14	Benefícios para a empresa
3	Introdução	15-16	Aplicações futuras
4-5	O que é?	17-19	Conteúdo avançado
6-10	Para que serve?	20	Educação
11-12	Boas práticas	21	Bibliografia e auto-avaliação



ESTE CONTEÚDO PODE SER
DE MAIOR INTERESSE PARA
AS EMPRESAS



ESTE CONTEÚDO PODE SER
DE MAIOR INTERESSE PARA
O PÚBLICO EM GERAL



OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- ❖ Compreender o conceito de sistemas ciber-físicos e as suas aplicações
- ❖ Identificar os benefícios que derivam desta tecnologia
- ❖ Conhecer o potencial desta tecnologia e as tendências de utilização



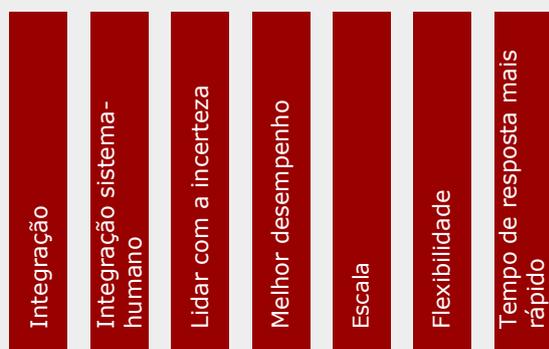
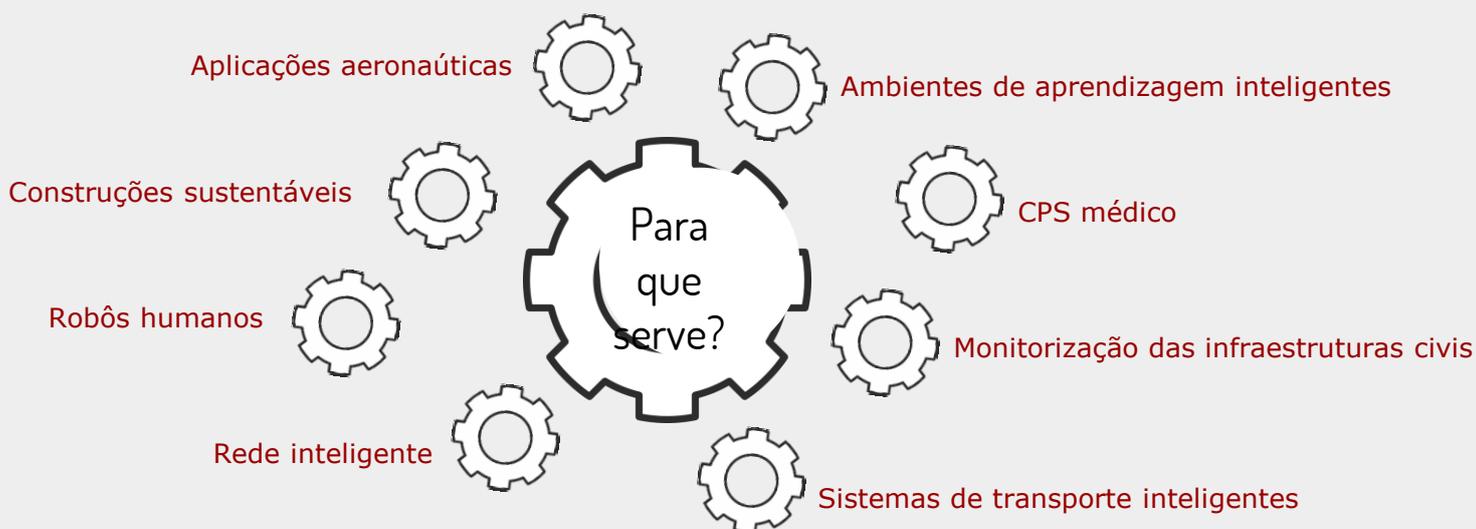
INTRODUÇÃO

Os **sistemas ciber-físicos** são infraestruturas chave para a sociedade moderna. Estes podem melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e a competitividade da indústria europeia.

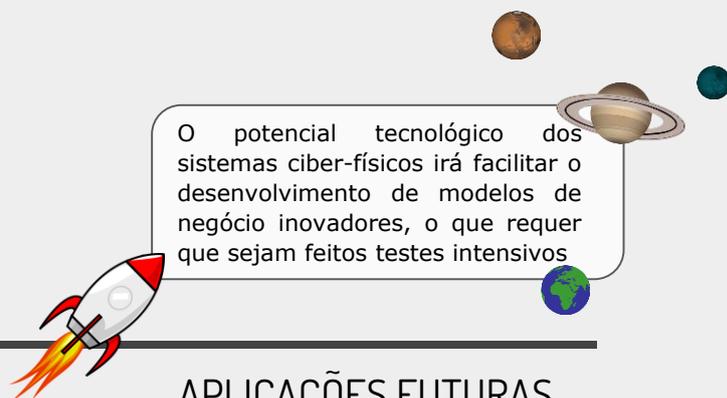


Objetivos de aprendizagem

-  Compreender o conceito de sistemas ciber-físicos e as suas aplicações
-  Identificar os benefícios que derivam desta tecnologia
-  Conhecer o potencial desta tecnologia e as tendências de utilização



ALGUNS BENEFÍCIOS



APLICAÇÕES FUTURAS



O QUE É?



Um **sistema ciber-físico (cyber-physical system)** é composto por um sistema físico e o correspondente ciber sistema que estão interligados a todas as escalas e níveis.

Existem muitos objetos no nosso mundo que são controlados por computadores: carros, edifícios, máquinas de produção ou até instrumentos musicais. Nestes casos, os computadores interagem diretamente com o mundo físico e é por essa razão que são intitulados de sistemas ciber-físicos (CPS).

No nosso dia-a-dia interagimos também com diversos sistemas e objetos complexos. A este nível, realça-se que praticamente todos estes sistemas e objetos são controlados por computadores que interagem com o mundo não apenas através de ecrãs táteis mas também através de ações diretas que acontecem no mundo físico. Os CPS que vemos com mais frequência são os carros modernos, nos quais os computadores controlam não apenas o motor mas também os travões e a estabilidade do veículo que, frequentemente, apoiam o condutor na sua condução. Desta forma, conseguimos ter uma noção clara do impacto que as ações controladas pelos computadores têm no mundo real.



Os CPS também estão presentes noutros elementos do nosso quotidiano, tais como em redes de energia, fábricas, armazéns automatizados, assim como aviões e/ou comboios. Todos estes sistemas físicos estão relacionados entre si e têm uma **importância crucial tanto na qualidade de vida** dos cidadãos como na própria economia europeia.

Os CPS são **muito complexos** especialmente quando há a necessidade de combinar vários CPS. São exemplo deste tipo de CPS um aeroporto ou uma fábrica de maiores dimensões na qual muitas máquinas tem de trabalhar em conjunto para alcançar um objetivo comum. Neste caso podemos falar de CPS ou CPSoS.



O QUE É?



Os CPS complexos são difíceis de construir e de gerir. Por exemplo, se uma aplicação no seu telemóvel falhar, normalmente as consequências não são muito más mas, se uma interface entre duas máquinas de produção falhar isso poderá levar à paragem de uma produção inteira de uma unidade produtiva ou, num cenário pior, condicionar um transporte ou um sistema médico, o que poderá comprometer a segurança física das pessoas.

Naturalmente já existem algumas técnicas de engenharia para gerir este tipo de situações mas é ainda preciso fomentar melhorias significativas nos CPS de amanhã que serão ainda mais sofisticados do que os atuais e serão muito importantes tanto para a qualidade de vida como para a competitividade da indústria europeia.





PARA QUE SERVE?

APLICAÇÕES DOS CPS:

Edifícios sustentáveis

Ter edifícios sustentáveis é um dos maiores problemas da atualidade uma vez que os edifícios antigos consomem cerca de 70% da energia produzida e libertam gases que contribuem para o efeito estufa. Com o uso da rede de sensores sem fios, um gestor de cognição e sistemas de controlo poderemos atingir a meta relacionada com ter edifícios de energia líquida zero.

Rede inteligente

A rede inteligente é um ecossistema que tem como base a avaliação da aquisição de informação, a tomada de decisão e a gestão. Na rede inteligente as partes tradicionais usam CPS que são usados nos processos de geração, transmissão e distribuição assim como na parte do consumidor. Ao nível da geração irão controlar a conexão da rede, bem como, os aspectos operacionais na geração de eletricidade. Os CPS monitorizam as condições e cuidados para garantir a estabilidade da transmissão e distribuição de redes que conectam os utilizadores finais e a rede inteligente. Este sistema fornece um processo de comunicação bidirecional e de controlo entre a rede elétrica e os consumidores.

CPS médico

As redes de sensores sem fios recolhem informação de diagnóstico, monitorizam a saúde e a administração de medicamentos. A integração da computação e o controlo dos mecanismos de comunicação da informação médica crítica fornecem um pré requisito fundamental para garantir um CPS médico de confiança.

Sistemas de transporte inteligentes

Os CPS fornecem uma maneira de melhorar o desempenho dos sistemas de controlo do tráfego rodoviário. Os sistemas de controlo do tráfego rodoviário permitem a construção de um ambiente que existe no ambiente geográfico natural e no ambiente artificial, como pontes sobre o mar ou rios, túneis, sub-declive de alto risco, pontes urbanas elevadas, entre outros mas também, uma grande variedade de veículos, pessoas e bens no ambiente de estrada complexo. Os sistemas de transporte inteligentes podem assegurar o controlo do tráfego, adicionando e instalando uma grande quantidade de dispositivos eletrónicos avançados e sistemas de informação para o sistema de tráfego rodoviário, melhorando a eficiência operacional e o nível de segurança do sistema de tráfego rodoviário. Estes sistemas integram a informação obtido no processo de transporte e operam por meio da sua coordenação tornando o transporte mais seguro e eficiente.



PARA QUE SERVE?

Robôs humanos

Os robôs humanos podem ser usados para:

- Cuidar de idosos em casa;
- Investigação científica em ambientes submarinos, ambientes de floresta tropical, ambientes espaciais e infraestruturas de proteção críticas;
- Para fins pessoais;
- Em campos agrícolas;
- Operações de resgate em casos de emergência e em ambientes de trabalho perigosos.

Ambientes de aprendizagem inteligentes

Os CPS podem ser utilizados em ambientes de aprendizagem inteligentes. Os CPS podem ser usados num ambiente de aprendizagem inteligente para recolher a informação adequada sobre os ambientes físicos, para converter dados quantitativos em informação e conhecimento e eventualmente irão fornecer serviços úteis e em tempo real, aos estudantes, funcionários e universidades. Estes ambientes irão transformar seguramente o modo como as pessoas aprendem e trabalham nas universidades.

Monitorização das infraestruturas civis

Atualmente muitos dos engenheiros civis enfrentam problemas de gestão do envelhecimento das infraestruturas como barragens, pontes, edifícios, etc. Os sensores de fibra ótica e micro elétricos, os sensores mecânicos e as tecnologias de comunicação sem fios oferecem grandes promessas de monitorização precisa e contínua das infraestruturas.

Aplicações aeronáuticas

Os CPS são usados nas aplicações aeronáuticas tais como em testes de voos, comunicações entre a tripulação e os pilotos, monitorização da estrutura de saúde, entretenimento em voo e aterragem.



PARA QUE SERVE?

ARQUITETURA DOS 5C PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.

Os desempenhos da Indústria 4.0 são mostrados com a ponta de iceberg. Por conseguinte, alguns investigadores estão a ponderar criar uma estrutura que desagregue a Indústria 4.0. A arquitetura dos "5C" é um desses exemplos para orientar o desenvolvimento da Indústria 4.0 com base nos atributos dos CPS. Esta arquitetura está dividida em 5 níveis: "nível de conexão", "nível de conversão", "nível ciber", "nível cognitivo" e "nível de configuração".

		<u>Principal atributo</u>	<u>Principal função</u>
5	Nível de configuração	Auto-configuração	Produção inteligente
4	Nível cognitivo	Consciência inicial	Manutenção previsional
3	Nível ciber	Controlável	Sistema automático
2	Nível de conversão	Informativa	Descoberta de informação
1	Nível de conexão	Comunicável	Conexão de <i>hardware</i>

O '**nível de conexão**' foca-se no desenvolvimento de *hardware* que é alcançado pela rede de sensores e comunicação sem fios. Os outros quatro níveis estão relacionados com o sistema de controlo e com a implementação de *software*. Ao '**nível da conversão**' os dados em bruto são transformados em informação útil usando para isso tecnologias de análise de dados. O '**nível ciber**' controla toda a rede por via dos CPS. E, por fim, o '**nível cognitivo**' e o '**nível de configuração**' envolvem a inteligência artificial na rede, sendo consideradas os futuros atributos da produção. A inteligência na produção também é o principal alvo de muitos investigadores que estão interessados na Indústria 4.0 e representados nestes dois níveis. Comparando os atributos destes dois níveis com a Indústria 4.0, o '**nível cognitivo**' é considerado o nível mais baixo da Indústria 4.0 e o '**nível de configuração**' tende a estar associado a níveis mais superiores quee são avaliadas como a realização da Indústria 4.0.



PARA QUE SERVE?

Por conseguinte, quando existem vários tipos de ideias (visões futuras, exemplos de pesquisa e arquitetura de implementação) que são integrados e resumidos de acordo com a Indústria 4.0 é possível extrair vários conceitos relacionados com a produção do futuro. Estes conceitos são os principais princípios do fenómeno que é a Indústria 4.0, sendo de destacar dois destes princípios: a **interoperabilidade** e a **consciência**. Estes dois princípios fundamentais da Indústria 4.0 incluem muitos sub-princípios, a interoperabilidade consiste na digitalização, comunicação, padronização, flexibilidade, responsabilidade em tempo real e customização. A manutenção previsional, a tomada de decisão, a apresentação inteligente, a auto-consciência, a otimização e a auto-configuração estão compreendidos no princípio da consciência.

A ideia central da interoperabilidade é a integração sendo também um ponto chave da Internet das Coisas (IoT) e dos CPS. Existem três tipos de integração da Indústria 4.0: **integração horizontal**, **integração de fim-a-fim** e **integração vertical**. Estes três tipos de integração representam três dimensões entre pares, a integração horizontal das redes de valor acrescentado dos negócios, a integração de "fim-a-fim" ao longo da cadeia de valor e a integração vertical através do sistema de produção.

Adicionalmente, outro dos princípios fundamentais da Indústria 4.0 está ligado com a consciência. De forma simples, a Indústria 4.0 requer que o sistema de produção seja inteligente, abrangendo a descoberta de conhecimento, a tomada de decisões e a apresentação de ações independentes e inteligentes.

Os resultados são analisados com base na recolha de dados em bruto provenientes das redes de produção usando tecnologias de ponta. Além disso, estes dois princípios cooperam entre si para alcançar a Indústria 4.0. A interoperabilidade configurou várias redes conectadas que reforçam o ambiente confiável da Indústria 4.0, já o princípio da consciência oferece à Indústria 4.0 a sua essência através das funções inteligentes artificiais.



PARA QUE SERVE?

Os CPS são redes híbridas que, além da parte ciber, combinam elementos físicos de engenharia que são projetados em conjunto para criar sistemas adaptativos e previsionais para melhorar o seu desempenho.

CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DOS CPS:

- Ambiente virtual, projeções e elementos humanos são tratados como componentes integrais de um sistema como um todo, de modo a criar sinergias permitindo a evolução de propriedades desejadas e emergentes;
- A integração de modelos baseados nos princípios da física e no mundo digital, permite fomentar a aprendizagem e as competências previsionais de modo a suportarem a tomada de decisões (por exemplo, diagnósticos, prognósticos,...) e funções autónomas;
- Os sistemas baseados na engenharia, as arquiteturas abertas e os respetivos padrões permitem a modularidade e diferentes composições para a personalização, sistemas de produtos e aplicações complexas ou dinâmicas;
- Ciclos de *feedback* recíprocos entre deteção de computação, distribuição/atuação e monitorização/elementos de controlo permitem a adaptação a múltiplos objetivos;
- Componentes cibernéticos em rede fornecem uma base para a escalabilidade, gestão da complexidade e resiliência.



Os CPS devem ser de fácil uso e intuitivos para o utilizador de forma a serem bem sucedidos.



BOAS PRÁTICAS

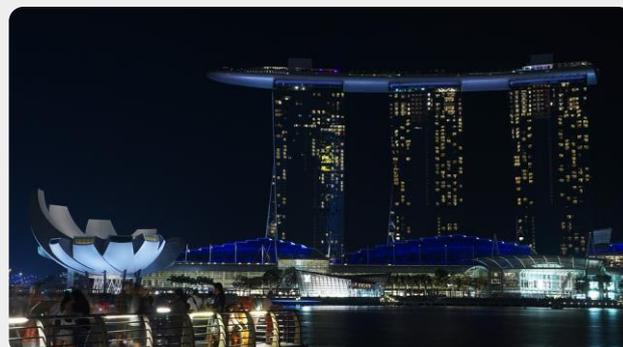


SmartSantander é um projeto de investigação de grande escala que consiste em espalhar milhares de sensores pela cidade de Santander em Espanha. O principal objetivo deste projeto passa por criar uma solução inteligente e melhorar vários aspectos da vida da cidade, tais como reduzir o tráfego, reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade do ambiente e encorajar a participação dos cidadãos. Adicionalmente, espera-se com este projeto partilhar informação sobre o ambiente e desenvolver outras aplicações úteis. Com este projeto pretende-se também testar se é possível reduzir as distâncias entre os *designs* teóricos das infraestruturas inteligentes e a adoção de aplicações práticas em ambiente real. Os resultados destes testes ajudarão na propagação da IoT e dos CPS em cenários reais no futuro.



Singapura foi apelidada como a cidade mais inteligente do mundo durante vários anos e tem assumido um papel pioneiro na implementação de infraestruturas inteligentes e no fornecimento de serviços de qualidade. Singapura é um dos centros empresariais mais importantes do mundo, tem um porto muito movimentado e é a casa do 5º maior aeroporto da Ásia. A cidade de Singapura prevê criar a primeira nação inteligente no mundo para estimular o crescimento económico, para dar resposta às necessidades da população e, para ser um exemplo para outras nações. As ideias desta nação inteligente podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Melhores políticas para gestão de contextos diferentes;
- Desenvolvimento de modelos de negócio e fluxos de receitas que fortaleçam o crescimento económico;
- Aumento da participação ativa dos cidadãos no sentido de criar serviços de qualidade que melhorem a qualidade de vida da comunidade.





BOAS PRÁTICAS



A WAYMO é a marca sob a qual a Google opera e acabou de apresentar as primeiras quinhentas unidades do Chrysler com o modelo Pacifica. Este carro pode circular sem condutor, tem todas as licenças relevantes e já estão planeados os primeiros testes em cenários reais.

É preciso referir que a Google já está no negócio dos carros autónomos há mais de 7 anos e foi a primeira marca a completar a jornada dos carros sem condutor. Desde que se iniciou o desenvolvimento de carros autónomos este carro já percorreu mais de um milhão de km.



Algumas das empresas líderes:














BENEFÍCIOS PARA A EMPRESA



Integração

A integração da nuvem da rede de sensores sem fios também é uma parte importante dos CPS. Os CPS fornecem as características de uma rede integrada tais como técnicas de controlo de acesso dos media e os seus efeitos nos sistemas dinâmicos, os "middleware" e os softwares que permitem a coordenação das redes de controlo ao longo do tempo e tolerância às falhas.

Interação entre humanos e sistemas

A modelagem e a avaliação da percepção humana relativamente ao sistema e às suas mudanças ambientais nos parâmetros definidos são fundamentais para a tomada de decisão.



BENEFÍCIOS PARA A EMPRESA

Lidar com a incerteza

A certeza é o processo de fornecer uma prova de que o *design* é válido e de confiança. Os CPS podem envolver e operar com ambientes novos e mais incertos.

Melhor desempenho do sistema

Os CPS são capazes de fornecer um melhor desempenho em termos de *feedback* e fornecer um reajustamento automático da produção com uma interação próxima com os sensores e com a infraestrutura ciber-física.

Escalabilidade

Sendo parte da computação na nuvem o CPS é capaz de fornecer recursos aos utilizadores de acordo com os seus requisitos.

Flexibilidade

O CPS pode fornecer mais facilidades do que uma Wireless sensor network (WSN) e do que a computação da nuvem por si só.

Tempo de resposta mais rápido

O CPS permitirá aumentar a rapidez na resposta e facilitar a deteção de falhas atempadamente fomentando também o uso mais apropriado dos recursos.

Objetos inteligentes e ligados em rede (por exemplo que utilizam tecnologia de rádio frequência) são usados maioritariamente no comércio e na logística.



Os CPS são sistemas inteligentes que incluem e integram os sistemas de controlo da indústria, infraestruturas críticas, IoT e sistemas incorporados.



APLICAÇÕES FUTURAS



Para que os CPS e as cidades inteligentes sejam um sucesso as pessoas precisam de pensar e de agir de forma diferente e envolver-se mais na vida das cidades. Para isso é essencial que as comunidades sejam ativas, capazes de agregar e distribuir os conhecimentos de cada indivíduo e que possam completar ações sinérgicas para melhorar os serviços das cidades.

Atualmente é possível que a tecnologia seja distribuída para a computação e para *crowdsourcing* havendo a partilha de informação entre utilizadores e a construção de inteligência coletiva. Uma inteligência coletiva é um dos aspetos chave fundamentais para o sucesso dos CPS e das cidades inteligentes. A inteligência coletiva usa o *crowdsensing* para ações de monitorização cooperativas do ambiente urbano e também tem como objetivo a atuação cooperativa das operações para realizar tarefas de interesse geral de forma eficiente.

Em termos técnicos, muitos dos desafios carecem ainda de ser resolvidos, pelo menos de modo a serem mais eficientes e aplicáveis à indústria. Alguns dos desafios são:

- **Heterogeneidade da informação:** a heterogeneidade da informação é um assunto muito relevante que pode afetar a eficácia e o *design* dos protocolos de comunicação. Os sistemas precisam de ser capazes de suportar um grande número de diferentes aplicações e dispositivos.
- **Confiabilidade:** os CPS são suscetíveis de serem usados em contextos críticos como a saúde, infraestruturas, transportes entre outros. A confiabilidade e a segurança são requisitos básicos tendo em conta o impacto que podem ter no ambiente. De facto, o seu impacto pode ser irreversível e por isso a presença de comportamentos inesperados deve ser minimizada. Adicionalmente, o ambiente não é previsível pelo que os CPS devem continuar a trabalhar em condições inesperadas e devem adaptar-se em caso de falhas.



APLICAÇÕES FUTURAS



- **Gestão de dados:** É necessário armazenar e analisar dados de diferentes dispositivos conectados entre si, processá-los e mostrar resultados em tempo real. Os dados podem ser geridos usando fluxos de produção *online* ou *offline* relacionados com o objetivo do sistema. Em particular nas transmissões *online* a informação pode mudar frequentemente considerando as condições em tempo real e são baseados em perguntas adaptativas e contínuas.
- **Privacidade:** O desafio é encontrar um equilíbrio entre questões de privacidade e controlo da informação pessoal mantendo a possibilidade de aceder a informação para prestar melhores serviços. Como os CPS geram grandes quantidades de informação, incluindo dados sensíveis ligados à saúde, género, religião, entre outros, podem surgir alguns problemas relevantes relativos à privacidade dos dados. Os CPS requerem políticas de prividade de modo a dar resposta aos eventuais problemas que podem surgir por isso ter uma ferramenta de gestão da anonimidade dos dados é muito importante e esta deve ser utilizada antes do sistema processar a informação.
- **Segurança:** os CPS devem assegurar a segurança durante as comunicações pois todas as ações entre dispositivos ocorrem em tempo real. Os CPS expandem e aumentam as interações entre os CPS e os problemas de segurança que afetam muito os CPS. As infraestruturas de segurança tradicionais não são suficientes para dar resposta às questões que têm surgido e, por este motivo, devem ser encontradas novas soluções. Existem questões de segurança que são críticas para os novos dados e para os dados recolhidos que serão utilizados no futuro. Por fim, os CPS são baseados em aplicações heterogéneas e comunicações sem fios que criam problemas de segurança críticos.
- **Tempo real:** os CPS geram grandes quantidades de dados a partir dos sensores. As computações tem de ser eficientes e no tempo certo porque os processos físicos continuam a acontecer independentemente dos resultados da computação. Para satisfazer estes requisitos os CPS devem garantir que o sistema tem a capacidade necessária para dar resposta às funções críticas porque a existência de falhas no momento de atuar podem causar danos permanentes.



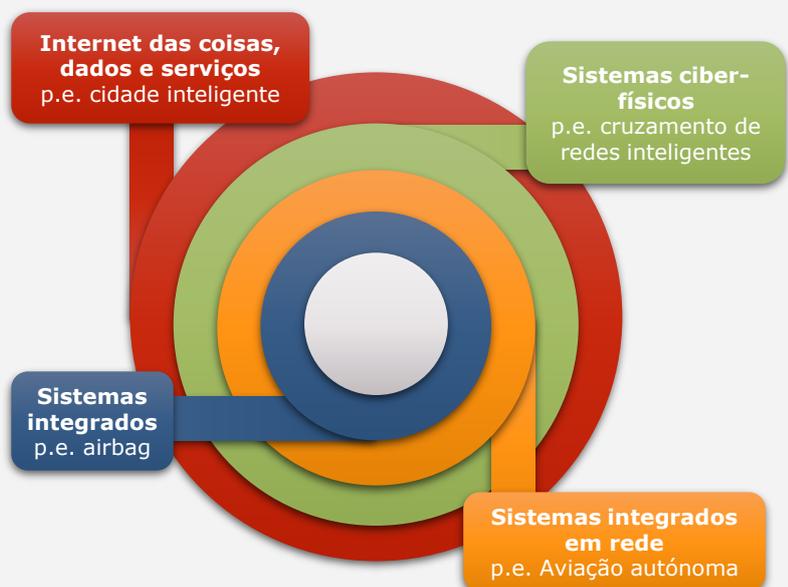
CONTEÚDO AVANÇADO

QUAL É A DIFERENÇA ENTRE OS SISTEMAS CIBER-FÍSICOS E A IoT?

A **IoT** utiliza sensores especiais (como câmaras ou leitores de identificação de radiofrequência) para identificar produtos e materiais. Estes produtos e materiais contém informação especial sobre, por exemplo, o que lhes deve acontecer. Isto significa que estes produtos e materiais podem comunicar com a produção ou com os sistemas de fluxo de materiais e dizer-lhes qual deverá ser o próximo passo no processo produtivo. Deste modo, a tecnologia elimina a necessidade de intervenção humana.

Os **CPS** são quando os sistemas mecânicos e elétricos (como ferramentas de comunicação e sensores) incorporados nos produtos e materiais estão ligados usando componentes de *software*. O resultado é uma completa fusão entre o mundo virtual e físico e os CPS usam informação partilhada e informação sobre os processos para, de forma independente, controlarem os sistemas de logística e de produção. Por este motivo, os CPS são uma ponte de ligação que conecta a IoT com os serviços de nível superior - conhecidos como a internet dos serviços.

Neste mundo virtual, os fornecedores de *software*, os agentes e os utilizadores colaboram para desenvolver aplicações flexíveis que possam ser integradas entre si. Caso sejam alcançados os objetivos da 4ª revolução industrial os cientistas precisam de aceitar que os CPS, quer a ideia básica e as tecnologias que estão por detrás da IoT.





CONTEÚDO AVANÇADO

IMPACTO DOS CPS NAS CIDADES:

As cidades inteligentes podem ser vistas como CPS em grande escala, com sensores que monitorizam indicadores ciber e físicos e com atores que estão a mudar de forma dinâmica os ambientes urbanos. Os governos, as organizações e as indústrias tecnológicas estão a ficar à altura dos desafios da crescente urbanização trabalhando para melhorar a vida urbana pela oferta de alternativas mais eficientes, por exemplo, pelo uso de energia.

De acordo com o Relatório *United Nations Population Prospects, 2014 Revision*, a população urbana está a crescer rapidamente e este crescimento não apresenta sinais de abrandamento. Em 2014, 54% da população mundial vivia em áreas urbanas e espera-se que as próximas décadas continuem a trazer profundas alterações na dimensão e distribuição espacial da população global. Em 1950, 30% da população mundial era urbana e até 2050 espera-se que este número ascenda a 66%.





CONTEÚDO AVANÇADO

CPS DE SEGURANÇA:

Para garantir que os CPS são seguros temos de considerar dois desafios científicos fundamentais. Numa primeira fase, **precisamos de analisar a descrição e continuidade ao mesmo tempo**. Felizmente, já foram conseguidos muitos progressos a este nível nos últimos 20 anos. Uma abordagem é moldar o CPS como um autómato híbrido, o qual é uma máquina em estado final onde cada estado comportamental é definido por um conjunto de diferentes equações e variáveis contínuas. A tecnologia de validação de modelos pode ser aplicada num autómato híbrido tornando viável a confirmação das suas propriedades e encontrando falhas nos modelos dos CPS.

Outra abordagem é escrever fórmulas lógicas que descrevam o comportamento de um sistema híbrido e depois usar uma tecnologia de validação de teorema para comprovar as propriedades das fórmulas. Um exemplo de uma lógica apropriada na qual possam ser escritas tais fórmulas é uma lógica dinâmica diferencial desenvolvida ao longo da última década. A pesquisa ativa remete a escalabilidade dessas técnicas visto que atualmente estas suportam apenas dezenas de variáveis de estado enquanto que normalmente os CPS têm maior magnitude.

Numa segunda fase, **os CPS operam sob a presença de incerteza**. Esta incerteza deve-se a condições externas que não estão sobre controlo do sistema ligadas à natureza como por exemplo, sismos, furacões e tempestades de neve e sob condições humanas como agir por engano, de forma surpreendente ou maliciosa.

Este é um exemplo de uma fábrica que se auto-organizou, que está configurada de forma a responder às alterações de requisitos, e nas quais os humanos e as máquinas colaboram na perfeição.

<https://youtu.be/wro3uoHR-ZY>



EDUCAÇÃO



Dada a natureza dos CPS, o seu estudo abrange várias disciplinas diferentes, como engenharia de *hardware* e *software*, computação, controlo, comunicação, deteção e atuação. Os resultados mostram que os CPS foram implementados com sucesso nas redes inteligentes e noutras aplicações inteligentes”.

MOOCS:

- ❑ [Cyber-Physical Systems: Modeling and Simulation](#) - Coursera
- ❑ [Homeland Security & Cybersecurity Connection](#) - Coursera
- ❑ [Embedded Hardware and Operating Systems](#) - Coursera
- ❑ [Web Connectivity and Security in Embedded Systems](#) - Coursera

MANUAIS EXTERNOS PARA MAIS INFORMAÇÃO:

- ❑ [Guide to Cyber-Physical Systems Engineering](#)
- ❑ [Cyber-Physical System Security for the Electric Power Grid](#)



BIBLIOGRAFIA

- *Cyber-Physical Systems*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/cyber-physical-systems>
- *Cyber-physical-social system in intelligent transportation*. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7152667>
- Meenakshi Bhugubanda (2015). *Review on Applications of Cyber Physical Systems*. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/275d/2d701b930a7f165082678b1feac284a5e7ba.pdf>
- Jian Qin, Ying Liu, Roger Grosvenor (2016). *A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Alessandro Zanni (2015). *Cyber-physical systems and smart cities*. Disponível em: <https://developer.ibm.com/articles/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/>
- Christopher Kirsch - IDEAS 2020. Questions and Answers. Disponível em: <http://www.ideen2020.de/en/2993/whats-the-difference-between-cyber-physical-systems-and-the-internet-of-things/>
- Systems that integrate the cyber world with the physical world are often referred to as cyberphysical systems (2013). Disponível em: <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/Exec-Roundtable-SumReport-Final-1-30-13.pdf>
- Jeannette M. Wing (2016). *Cyber-physical systems you can bet your life on*. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/research/blog/cyber-physical-systems-you-can-bet-your-life-on/>



AUTO AVALIAÇÃO



- ★ Após a leitura deste texto tenho uma ideia clara do que é um CPS?
- ★ Como posso incorporar a tecnologia dos CPS na minha empresa?



- ★ Sou capaz de numerar quatro aplicações dos CPS?
- ★ Sou capaz de diferenciar a IoT de um CPS?



INTRODUÇÃO À REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0

O apoio da Comissão Europeia à produção desta publicação não constitui a aprovação do seu conteúdo, o qual reflete apenas as visões dos autores, sendo que a Comissão Europeia não pode ser responsabilizada por qualquer uso que possa ser feito da informação nela contida.