



Munich Personal RePEc Archive

[“Industry 5.0” as a concept of a new human-machine interaction?

Moniz, António

Nova University of Lisbon, CICS.NOVA

2023

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/120889/>
MPRA Paper No. 120889, posted 15 Aug 2024 13:25 UTC

«Indústria 5.0» como conceito de um novo tipo de interação humano-máquina?¹

["Industry 5.0" as a concept of a new human-machine interaction?]

António Brandão Moniz²

Abstract

The concept of Industry 5.0 aims to place worker well-being at the center of the production process. This concept is centered on the idea of anthropocentric technology, which implies that technology, organizations and workplaces must be adapted to human and social needs. There are, however, still unclear problems regarding this concept. Knowing that the Industry 4.0 concept has significant limitations regarding the need to develop automation technology in an anthropocentric orientation, Industry 5.0 can have two orientations: either the experiences that adopt this concept seek solutions to adapt the human factor to the characteristics of the technology or, knowing the social and organizational requirements, look for solutions to develop this technology in accordance with these requirements. This is a problem that is unlikely to be resolved.

¹ Baseado na versão publicada em Moniz, António B. (2023) «Indústria 5.0» como conceito de um novo tipo de interação humano-máquina? In Machado, C. & Davim, P. eds., *Indústria 5.0 - Pessoas, Tecnologia e Sustentabilidade*, Lisboa: Almedina/Actual, pp. 15-34.

² Nova School of Sciences and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica
e CICS.NOVA Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais, Lisboa

Autor Correspondente

Resumo

O conceito de Indústria 5.0 pretende colocar o bem-estar do trabalhador no centro do processo de produção. Este conceito está centrado na ideia de tecnologia antropocêntrica, o que implica que a tecnologia, as organizações e os locais de trabalho devem ser adaptados às necessidades humanas e sociais. Existem, no entanto, problemas ainda não claros acerca deste conceito. Sabendo que o conceito de Indústria 4.0 tem significativas limitações quanto à necessidade de desenvolver a tecnologia de automatização numa orientação antropocêntrica, a Indústria 5.0 pode ter duas orientações: ou as experiências que adotam este conceito procuram soluções para adaptar o fator humano às características da tecnologia ou, conhecendo os requisitos sociais e organizacionais, procuram soluções para desenvolver essa tecnologia de acordo com estes requisitos. Esse é um problema que dificilmente ficará resolvido.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Indústria 5.0; automatização; interação humano-máquina, gestão de recursos humanos.

Keywords: Industry 4.0, Industry 5.0, automation, human-machine interaction, human resource management

JEL codes: D24, L6, O33

Índice

Introdução	3
O que é a Indústria 5.0?	3
Porquê a Indústria 5.0?	4
A interação humano-máquina na Indústria 4.0	5
O que poderia mudar na interação humano máquina com a Indústria 5.0?	9
Conclusões	12
Bibliografia	13

Introdução

A «Indústria 5.0» (i5.0) é um conceito que surge como uma evolução da indústria e da interação humano-máquina. Enquanto a Indústria 4.0 (i4.0) se concentrou na automação e na digitalização dos processos de produção, a i5.0 busca integrar de forma mais harmoniosa e colaborativa os seres humanos e as máquinas no ambiente de trabalho (Breque *et al.*, 2021).

No final do século xx surgiu um outro tipo de abordagem semelhante, a que se chamou «abordagem antropocêntrica» (Brödner, 1987; Moniz, 1989; Wobbe, 1990) aos sistemas de produção integrados por computador, ou seja, os sistemas CIM (de *Computer Integrated Manufacturing*). Esta abordagem não mecanicista de integração tecnológica pressupõe as tecnologias da informação avançadas como um instrumento de comunicação e não como um objetivo em si. Isto implica, portanto, «não só um redesenho da tecnologia, mas também uma combinação integrada de tecnologias, habilidades dos trabalhadores e fatores organizacionais, ou seja, uma abordagem “antropocêntrica”. Uma abordagem “antropocêntrica” é entendida como o desenvolvimento de sistemas centrados no indivíduo com base no equilíbrio entre recursos humanos, habilidades, tecnologias e organização adaptativa» (Cooley, 1989, p. 90). Este mesmo conceito é muito próximo daquele que mais recentemente é mencionado como i5.0.

O que é a Indústria 5.0?

A abordagem da i5.0 fornece uma visão da indústria que se refere, além da eficiência e produtividade como os principais objetivos, ao reforço do papel e à contribuição da indústria para a sociedade. É uma visão holística e que não tem os mesmos objetivos ou pontos de partida que a abordagem da i4.0. Esta procurou encontrar soluções técnicas para fazer face à deslocalização de infraestruturas industriais modernas para fora da Europa e, ao promover a realocação poderia aproveitar o elevado valor das qualificações existentes no continente, em particular na Alemanha, na França e na Escandinávia. Sendo estes os objetivos, iremos analisar as práticas e condições para esta realização, tirando vantagem dos programas nacionais em execução para a i4.0.

Em princípio, este conceito pretende colocar o bem-estar do trabalhador no centro do processo de produção. Pretende ainda utilizar as novas tecnologias para proporcionar prosperidade além do emprego e do crescimento, respeitando simultaneamente os limites de produção do planeta. Complementa a atual abordagem «Indústria 4.0» colocando especificamente a investigação e a inovação ao serviço da transição para uma indústria europeia sustentável, resiliente e centrada no ser humano.

Quando a implementação dos conceitos convencionais de automatização são amplamente conhecidos e acontecem na maioria das economias avançadas, essas novas experiências de fabricação são acompanhadas de desafios sociais, económicos e organizacionais. Na maioria dos casos, isso significa um aumento das desigualdades de rendimento, uma perceção pública da desqualificação e da perda de postos de trabalho, bem como problemas de segurança dos dados e de privacidade. Estes são muitos dos problemas já identificados aquando do desenvolvimento de sistemas flexíveis de produção e de sistemas integrados de digitalização da produção.

Parece, no entanto, que um conceito sólido de i4.0 centrado no ser humano ainda não consegue incluir a perspectiva e a experiência das ciências éticas, da sustentabilidade e das ciências sociais e humanas. Por outras palavras, o conceito de i4.0 tem sido quase exclusivamente focado no desenvolvimento de tecnologia, apesar de se falar na necessidade de se incluir o fator humano (Butollo *et al.*, 2018). Mas, na realidade, isso não tem acontecido. Continuamos a assistir a uma prevalência no desenvolvimento da tecnologia e não no desenvolvimento das condições de trabalho onde a tecnologia poderia ser concebida para esse desenvolvimento (Cimini *et al.*, 2020). Por este motivo, a ideia de i5.0 está centrada neste conceito de tecnologia antropocêntrica e implica que a tecnologia, as organizações e os locais de trabalho devem ser adaptados às necessidades humanas e sociais.

Assim, a i5.0 deveria reconhecer a importância das competências humanas únicas, como a criatividade, a empatia, o pensamento crítico e as qualificações sociais, e procurar combiná-las com a eficiência e a precisão das máquinas (El-Haouzi *et al.*, 2021). Em princípio, o conceito não procura a substituição dos seres humanos por máquinas em tarefas repetitivas como vantagem competitiva. Este conceito aponta para uma cooperação mais estreita entre humanos e máquinas, aproveitando o melhor de cada um.

Porquê a Indústria 5.0?

A transição da i4.0 para a i5.0 teria de ser feita através da avaliação da natureza da transformação dos postos de trabalho, das futuras profissões e da redução das lacunas de competências, a fim de fazer face aos possíveis efeitos do desemprego (especialmente os derivados do desemprego tecnológico) e promover a competitividade industrial e a inovação, reforçando simultaneamente a inclusão.

O compromisso mais recente com a i5.0 também inclui, no entanto, um interesse na «inovação responsável», o que significa que «não só ou principalmente visa aumentar a eficiência de custos ou maximizar o lucro, mas também aumentar a prosperidade para todos os envolvidos: investidores, trabalhadores, consumidores, sociedade e meio ambiente» (Breque *et al.*, 2021).

Com efeito, as indústrias podem desempenhar um papel ativo no fornecimento de soluções para os desafios da sociedade, incluindo a preservação dos recursos, as alterações climáticas e a estabilidade social. Mas, se a abordagem de i4.0, ou Indústria do Futuro, traz benefícios para a indústria, o seu desenvolvimento no sentido «antropocêntrico» permite vantagens para os trabalhadores e para a sociedade (Krings *et al.*, 2021). Por conseguinte, a i5.0 deverá capacitar os trabalhadores, porque se aproxima a evolução das competências e das necessidades de formação dos trabalhadores. Por outras palavras, com a aplicação dos conceitos tecnológicos associados à i4.0, emergem novas competências e, à vista disso, novas necessidades de formação. O conceito antropocêntrico de i4.0 implicaria, então, essa associação entre o desenvolvimento de tecnologias inteligentes na indústria transformadora com as necessidades dos seus trabalhadores. Ao mesmo tempo, com essa capacitação, deveria aumentar a competitividade da indústria (Krüger *et al.*, 2009; Lu *et al.*, 2020; Neumann *et al.*, 2021).

No entanto, uma questão que ainda está em aberto é se as necessidades associadas aos humanos nos processos complexos de produção decorrem das características técnicas desses sistemas ou se estes serão concebidos para servir essas necessidades e melhorar as condições de trabalho. É uma questão que não encontra uma resposta óbvia e clara. Os princípios subjacentes ao conceito de i5.0 associam a necessidade da integração do humano na interação com a complexidade dos sistemas técnicos com uma maior sustentabilidade (Romero *et al.*, 2016b; Gajšek *et al.*, 2020). Isso acontece porque esse conceito favorece os modelos de produção circulares e apoia as tecnologias que tornam a utilização dos recursos naturais mais

eficiente. A revisão das cadeias de valor existentes e das práticas de consumo de energia também pode tornar as indústrias mais resilientes contra choques externos, como foi o caso da crise pandémica da Covid-19. Mas, pensar o humano em primeiro lugar no processo produtivo, mais complexo e com sistemas inteligentes, não tem sido a preocupação central do meio académico e industrial. A opção tem sido o desenvolvimento dos processos produtivos e só depois tentar adaptar os humanos a essas condições tecnológicas.

Há, portanto, ainda muito caminho a fazer neste desenvolvimento conceptual. Nos últimos anos, este conceito de i5.0 tem sido amplamente baseado em experiências impulsionadas pela tecnologia, permitindo passos importantes nas áreas de aprendizagem automática, sistemas ciberfísicos, desenvolvimento de dispositivos IoT e integração ao nível do chão de fábrica industrial (Madakam *et al.*, 2015; Sowe *et al.*, 2016). No entanto, os novos conceitos organizacionais e processos de inovação têm sido secundários. Algumas eficiências de produção, reduções de custos e adaptações do modelo de negócios foram alcançadas com a i4.0 (Thun *et al.*, 2019).

A interação humano-máquina na Indústria 4.0

Na i4.0, a interação humano-máquina é marcada por uma crescente integração entre sistemas digitais e seres humanos nos processos de produção. Aqui estão algumas características dessa interação:

1. Automação avançada.
2. Internet das coisas (IoT).
3. *Big data* e análise de dados.
4. Realidade virtual e aumentada.
5. Colaboração humano-máquina.
6. Customização em massa.

Com a automação avançada as máquinas e sistemas inteligentes são capazes de executar tarefas complexas de forma autónoma, reduzindo a dependência de intervenção humana em atividades repetitivas e rotineiras. Todavia, na maior parte dos casos onde o conceito de i4.0 tem sido introduzido, não é possível ou não existem ganhos demonstráveis com a exclusão dos operadores dos processos de interação com esses equipamentos (Romero *et al.*, 2016a; Neumann *et al.*, 2021). De todos os modos, a implementação de sistemas automatizados visa aumentar as cadências de produção com recurso a meios mecânicos e a sistemas de informação que melhorem esse desempenho técnico. Por isso, tendencialmente, seria preferível deslocar os postos de trabalho humanos para tarefas mais criativas e menos rotineiras (Moniz *et al.*, 2022).

Com a IoT, que desempenha um papel fundamental na i4.0, estabelece-se a ligação entre máquinas, dispositivos e sensores numa rede inteligente. Isso permite a recolha e a partilha de dados em tempo real, possibilitando uma maior visibilidade e controlo sobre os processos de produção (Madakam *et al.*, 2015). No entanto, a operação e controlo dessas redes inteligentes é, ainda, sempre realizada por seres humanos, sobretudo por aqueles com a competência técnica e a responsabilidade do controlo desses processos.

Podemos dizer que a interação humano-máquina na i4.0 é impulsionada pelo uso intensivo de *Big data* e pela análise de dados automática. Os sistemas de informação recolhem e analisam grandes volumes de dados gerados pelos equipamentos, auxiliando na identificação de padrões,

otimização de processos e tomada de decisões mais informadas (Makrini *et al.*, 2017; Vanderhaegen *et al.*, 2021). A identificação de padrões e otimização de processos pode ser feita de modo automático, mas a tomada de decisões mais informadas tem tendência a ser executada por humanos (Schirner *et al.*, 2013). Pode-se, no entanto, dizer que em alguns processos produtivos é possível desenvolver algoritmos que executem decisões automáticas de nível mais complexo, mas, em última instância, a responsabilidade final é sempre humana. Ou seja, a automatização total não é possível quando a complexidade do produto ou do processo assim o exija.

As tecnologias de realidade virtual e aumentada são utilizadas na interação humano-máquina na i4.0. Permitem a sobreposição de informações digitais no ambiente físico, oferecendo orientações visuais e instruções em tempo real para os trabalhadores, facilitando a formação, a manutenção e a solução de problemas. Estas tecnologias têm vindo a ser disseminadas em muitos setores da indústria transformadora. Apenas as questões da usabilidade e da aceitação se podem levantar para que esta tecnologia encontre ou não limites de aplicação (Thun *et al.*, 2019).

De um modo geral, podemos dizer que a i4.0 enfatiza a colaboração entre seres humanos e máquinas. Os trabalhadores interagem com as máquinas por meio de interfaces intuitivas, como telas sensíveis ao toque e painéis de controlo, fornecendo comandos, ajustando parâmetros e monitorando o desempenho. A colaboração ocorre tanto a nível físico, com a presença de máquinas ferramentas de controlo numérico, robôs industriais ou de robôs colaborativos («cobôs») e outras máquinas e equipamento, como a nível de análise de dados e tomada de decisões (Wallhoff *et al.*, 2010).

Os operadores de máquinas no «chão de fábrica» interagem com sistemas automatizados usando recursos de comunicação sofisticados. Isso já vem acontecendo desde a introdução de sistemas automatizados na indústria transformadora, mas tem existido um maior acréscimo com os nossos processos de digitalização e de aplicação do conceito de i4.0. Esta interação pode incluir não apenas a gestão de dados (mudanças no programa do robô, entrada e recuperação de dados), mas também recursos de comunicação oral. Um robô de nova geração, que se supõe ter capacidade «social», exigirá a capacidade de perceber o seu ambiente (percepção) e raciocinar sobre ele (cognição). Provavelmente, isso poderá incluir a capacidade de detetar aspetos de atuação coletiva e de raciocinar sobre o mundo a partir da perspectiva de outros (Sheridan, 2016; Romero *et al.*, 2016a; Tsarouchi *et al.*, 2017). Todavia, esta capacidade implica uma maior sofisticação do ponto de vista da aplicação de inteligência artificial a estes equipamentos.

A interação humano-máquina, com este conceito de automatização, permite a produção em massa, mas também altamente personalizada. As máquinas podem ser configuradas e ajustadas para atender às necessidades individuais de grupos de clientes, permitindo a produção de produtos customizados (concebidos de acordo com os requisitos dos clientes) em larga escala, sem comprometer a eficiência ou a velocidade de produção. Esta «customização» acentua a tendência já visível de aumento da flexibilidade dos processos produtivos desde finais do século passado (European Commission, 2013; EFFRA, 2016).

A tendência para a minimização da carga de trabalho cognitiva e perceptiva para os operadores de robôs em sistemas complexos de trabalho é muito importante, pois interfere no desempenho da tarefa e na segurança operacional. De facto, existe uma tendência mais mecanicista que aponta para diminuição das capacidades cognitivas e perceptivas nos ambientes de trabalho. Daí pode ser possível, ou mais evidente, a retirada ou deslocação do operador humano do processo de interação com as máquinas, como por exemplo, robôs. Isso pode ser altamente relevante

quando diferentes robôs com diferentes funções e concepções diferentes devem ser usados na indústria de manufatura numa extensão maior. É sobretudo o caso de células automatizadas que incluem equipamento automatizado de diverso tipo (robôs, AGV ou máquinas-*transfer*, máquinas CNC, *etc.*) e que interagem entre si.

Mas é também necessário investigar a transferibilidade dos resultados de ambientes industriais para outros campos onde a introdução da robótica está planeada, como na saúde, agricultura, mineração, subaquática, logística, operações espaciais, inspeção, gerenciamento de desastres, medicina e assim por diante. O papel dos robôs industriais na perspectiva de ambientes complexos, de interação intuitiva, de aplicação de «cobôs» e de compartilhamento de espaço de trabalho podem levantar questões de segurança no trabalho. Retirar operadores humanos dessas áreas pode não ser a única solução possível (Krüger *et al.*, 2009; Moniz, 2014; Cunha *et al.*, 2022).

Essas características da interação humano-máquina na i4.0 visam, assim, aumentar a eficiência, a flexibilidade e a produtividade dos processos industriais, reduzindo erros, otimizando recursos e acelerando a inovação. Embora a automação seja uma parte importante do aumento de produtividade, o papel do ser humano ainda é essencial para a supervisão, a tomada de decisões estratégicas e a aplicação de habilidades que requerem intuição, criatividade e adaptação a situações não previsíveis.

A investigação em robótica concentrou-se principalmente na capacidade de os robôs reagirem à intenção dos operadores humanos por meio de dispositivos sensoriais e de comando de voz (Makrini *et al.*, 2017). Espera-se que os operadores desempenhem dois papéis. Um é estar ciente e aprender os comportamentos dos robôs (por exemplo, com as ações que podem realizar, com os processos de trabalho e os resultados que se podem obter) e o outro papel é ensinar e orientar os robôs. Isso pode ser feito fornecendo demonstrações, *feedback* e reforço (Sheridan, 2016).

Com base nos componentes de formação de equipas, primeiro, a definição de metas para equipas humano-robô pode exigir a identificação das capacidades dos indivíduos, alocação de tarefas e recursos para tarefas colaborativas (Gombolay *et al.*, 2017; Sheridan, 2016). Além disso, humanos e robôs possuem competências e habilidades diferentes que devem ser consideradas na definição de metas individuais e em grupo (Bruno & Antonelli, 2018). Embora o equilíbrio da carga de trabalho possa não ser um problema crítico em equipas humano-robô, uma carga de trabalho humana muito pesada ou muito leve pode ter um impacto negativo no bem-estar individual e no desempenho da equipe (Gombolay *et al.*, 2017). A tomada de decisão para tarefas colaborativas deve ser baseada nas definições das tarefas e na capacidade da equipe humano-robô (Tsarouchi *et al.*, 2017).

Ao concentrar-se em fatores predominantemente tecnológicos para alcançar novos níveis de produtividade e de bem-estar no trabalho, os decisores das áreas da gestão e do desenvolvimento de tecnologia têm tendência a focar-se no potencial da tecnologia e acabam por deixar de lado a dimensão social do local de trabalho (Moniz e Krings, 2016). Esta dimensão inclui as condições de trabalho (mesmo incluindo os aspetos ergonómicos), os novos modelos de organização do trabalho e as formas como os trabalhadores interagem com a tecnologia. Mas poderíamos acrescentar também as novas fontes de restrições e de recursos que são introduzidos pela tecnologia e pela inteligência artificial em ambiente de trabalho industrial.

Tudo isso requer mudanças nos requisitos de qualificações e nas oportunidades de aprendizagem ou de formação. Em geral, estamos, por conseguinte, a falar de riscos emergentes

que podem ameaçar o bem-estar dos trabalhadores, o que indiretamente poderá afetar a produtividade e os processos inovativos. Conforme foi refletido num artigo anterior (cf. Moniz e Krings, 2016), essas questões têm tendência a ser vistas apenas na perspectiva de melhorias técnicas e da segurança, ou seja, em termos de interação entre o trabalhador e a tecnologia.

Tais representações «tecnocentradas» parecem deixar pouco espaço para explorar novas soluções sociais e técnicas. Em particular, podemos referir o trabalho no «chão de fábrica» e como as suas condições subjacentes são realmente reconfiguradas pelas tecnologias da i4.0. Por exemplo, qual é o estatuto dos operadores humanos dentro desses ambientes complexos de trabalho. Isso sugere, como aludido por Neumann *et al.* (2021, p. 5), que a investigação sobre a i4.0 é de alguma forma «cega para a natureza das interações homem-sistema» nos sistemas que eles frequentemente precisam ajudar a projetar. Como consequência — continuam os autores —, «isso não é um bom presságio para o sucesso das abordagens i4.0 ou para as pessoas forçadas a suportá-las» (*idem*).

Segundo May *et al.* (2015), o desenho dos postos de trabalho do futuro deve privilegiar este tipo de visão mais «antropocêntrica» em detrimento de uma visão puramente tecnológica, colocando o trabalhador no centro do sistema como agente ativo na sua otimização. A importância dessa adoção ganhou mais visibilidade e pode ser encontrada na norma ISO 9241-210:2019 (Berrah *et al.*, 2021; El-Haouzi *et al.*, 2021), que a define como «uma forma de projetar sistemas interativos, com o objetivo de tornar os sistemas utilizáveis e úteis, concentrando-se nos utilizadores, nas suas necessidades e nos seus requisitos e aplicando fatores humanos, ergonomia e conhecimentos e técnicas existentes em termos de usabilidade» (ISO 9241-210:2019 em El-Haouzi *et al.*, 2021, p. 2).

Além disso, a European Factories of the Future Research Association (EFFRA), por exemplo, invocou a perspectiva centrada no ser humano como requisito para o desenvolvimento do FoF (EFFRA — European Factories of the Future Research Association, 2016). Neste documento referiam que «a indústria está a passar por uma transição digital substancial que mudará o papel dos humanos e das máquinas. Uma nova distribuição de tarefas exigirá novas qualificações e competências da força de trabalho — não apenas no chão de fábrica. Paralelamente, o progresso tecnológico tem um enorme potencial para adaptar as condições de trabalho e torná-lo mais atraente e produtivo — e, finalmente, salvaguardar os empregos» (EFFRA, 2016, p. 28). Ainda mais, era nessa altura proposto em relação a este tema da necessidade de envolvimento dos humanos em ambientes que aplicam os conceitos de i4.0:

(...) a colaboração e a alocação de tarefas entre humanos e tecnologia de fabricação devem ser feitas por meio de níveis adequados e ajustáveis de automação física e cognitiva. As capacidades humanas devem ser aprimoradas, por exemplo, por colaboração segura humano-robô, dispositivos de comunicação móveis e com reconhecimento de localização e capacidade de colaboração cliente-trabalhador. Nesse contexto, a educação e a requalificação da manufatura têm um papel fundamental na preparação dos seres humanos para novas abordagens de comunicação de conhecimento, desenvolvimento de qualificações e competências e formação avançada (EFFRA, 2016, p.28).

No *roadmap* realizado para a Comissão Europeia pela EFFRA, em 2013, continua a pautar-se por aqueles mesmos princípios. Assim, segundo este relatório sobre as fábricas do futuro,

(...) a capacidade humana e a inteligência da máquina serão integradas nos sistemas de produção que podem alcançar a máxima eficiência, bem como a satisfação do trabalhador. Os esforços de investigação devem enfrentar os desafios da sustentabilidade social em todos os níveis das indústrias transformadoras. Este esforço será economicamente muito bem-sucedido, ao mesmo tempo em que melhora a responsabilidade social corporativa, o design inclusivo do local de

trabalho e o uso eficiente das TIC para alavancar a competência da força de trabalho europeia (Comissão Europeia, 2013, p. 46).

Embora a literatura ainda assuma um papel central para os trabalhadores humanos na gestão desses sistemas, as definições do operador para os sistemas de i4.0 parecem ser confusas e têm, sobretudo, uma visão comum, que é a compartilhada por Romero *et al.* (2016a, 2016b). Segundo este autor, os operadores em i4.0 são definidos de acordo com os recursos tecnológicos disponíveis (Romero *et al.*, 2016a). Dividem-se em sete categorias principais, que não correspondem necessariamente a trabalhadores diferentes, uma vez que mais do que um dos recursos listados pode ser utilizado na mesma atividade laboral: «operador de superforça» (com recurso a exoesqueletos); «operador aumentado» (com o uso de realidade aumentada), «operador virtual» (suportado por realidade virtual), «operador saudável» (usando soluções vestíveis inteligentes para medir a atividade física dos trabalhadores), «operador inteligente» (fazendo uso dos recursos disponíveis tecnologias inteligentes), «operador colaborativo» (usando «cobôs») e «operador analítico» (usando e analisando *Big data* que é coletado pelo sistema). Não estamos, por conseguinte, a usar um conceito centrado no humano e na sua capacidade de interação com a máquina, mas sim na sua capacidade de usar a máquina de um modo funcional.

O que poderia mudar na interação humano máquina com a Indústria 5.0?

Desde há muito tenho desenvolvido o argumento que não será possível substituir totalmente o fator humano nos ambientes complexos de trabalho, mesmo com máquinas capazes de incorporar inteligência artificial mais avançada.

A execução de tarefas deve ser entendida no contexto do cumprimento dos objetivos da tarefa numa cadeia ou sistema de tarefas e das características do seu executor (um ser humano ou uma máquina). A pergunta que se faz aqui é: um humano será substituído por um robô? Talvez até mesmo por um robô com maior inteligência e competências sociais? A minha resposta, com base na minha experiência de investigação e na interpretação da literatura, seria não. Essa resposta também se baseia no facto de que, quanto mais «inteligente» for o sistema automático das máquinas, mais complexos serão os problemas que ocorrerão (Moniz, 2015, p. 70).

Assim, não é possível essa substituição. Há que considerar em que circunstâncias é necessária a participação do humano nesses sistemas técnicos complexos e como é que esses sistemas se devem desenvolver para permitir essa participação com efetiva interação. A marginalização desta dimensão conduz normalmente as empresas para situações irresolúveis ou para dificuldades desnecessárias na integração da inteligência artificial nos sistemas de produção.

A interação humano-máquina na i5.0 é caracterizada por uma colaboração mais direta e interativa. As máquinas deverão, por conseguinte, ser projetadas para serem mais intuitivas e fáceis de operar, permitindo que os trabalhadores interajam com elas de forma natural. Isso pode e deve incluir interfaces mais amigáveis, como reconhecimento de voz, gestos ou realidade aumentada, facilitando a comunicação e a interação com as máquinas (Romero *et al.*, 2016b; Sowe *et al.*, 2016; Kim, 2022).

O problema dos «disfuncionamentos» nos sistemas que adotam a i4.0 podem ocorrer com alguma facilidade quando a articulação de interação humano-máquina não é considerada.

(...) os papéis de tarefas atribuídos a humanos e máquinas em ambientes de trabalho devem ser analisados de acordo com todos os conjuntos de condições. Quando as tarefas não são projetadas de acordo com os atributos do executante, os resultados não serão aqueles que normalmente se espera. Isso pode acontecer em sistemas operacionais automatizados ou convencionais. Podem ocorrer algumas avarias, ou mesmo acidentes. Em outras palavras, «eventos inesperados» podem ocorrer (Moniz, 2015, p. 70).

Além disso, a i5.0 busca utilizar tecnologias avançadas, como inteligência artificial, robótica colaborativa, Internet das coisas e realidade virtual, para melhorar a produtividade e a eficiência. Essas tecnologias podem auxiliar os trabalhadores na execução de tarefas complexas, fornecer *insights* em tempo real sobre o desempenho e ajudar na tomada de decisões. Mas há alguns autores que consideram que sistemas de controlo adaptativo poderão eliminar esse fator humano.

Para pôr a funcionar uma fabricação em lotes 24 horas por dia, os sistemas devem ser capazes de responder a eventos inesperados, como *stock* extra, material defeituoso e desgaste prematuro da ferramenta. Mas Bard acrescentou também uma declaração curiosa: «O controlo adaptativo, acoplado a robôs, torna isso possível ao eliminar em grande parte a necessidade da presença de um operador qualificado» (Bard, 1986: 103). Esta é uma das nossas questões-chave. Para ser mais preciso, parece que sempre que os ambientes de trabalho forem mais complexos ou densos, menos será possível «eliminar a necessidade de um operador qualificado». (Moniz, 2015, p. 70)

Ou seja, a inteligência artificial (neste caso, sistemas de controlo adaptativo) permite eliminar algumas tarefas típicas de operadores qualificados. No entanto, com sistemas mais complexos e densos essa eliminação pode não ser possível.

A ideia por trás da i5.0 é criar ambientes de trabalho mais humanos, nos quais os trabalhadores se possam concentrar em atividades de maior valor agregado, enquanto as máquinas lidam com tarefas mais rotineiras e repetitivas, mesmo que se tratem de aplicações avançadas de inteligência artificial. Essa abordagem visa melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores, promovendo o desenvolvimento das suas habilidades e capacitando-os de desempenhar um papel mais significativo no processo produtivo (Breque *et al.*, 2021). Com este conceito, será necessário que as aplicações de inteligência artificial se ocupem da gestão de tarefas rotineira, enquanto os humanos se ocupem das tarefas mais criativas e de maior responsabilidade.

Resumindo, a i5.0 representa um novo paradigma de interação humano-máquina, no qual os seres humanos e as máquinas trabalham de forma colaborativa, aproveitando as vantagens de cada um para impulsionar a inovação, a eficiência e a qualidade nos processos industriais (EFFRA, 2016).

Parece que a nova geração de robôs industriais também pode ser reconhecida como aquela em que os «robôs são capazes de competências sociais». O desenvolvimento da inteligência artificial aplicada à robótica em ambientes industriais vai permitir esta capacitação e pode evidenciar um melhor desenvolvimento de uma tecnologia «antropocêntrica». No entanto, mesmo nesses casos, a comunicação sonora não é tão relevante quanto a visual. Os ambientes de trabalho em «chão de fábrica» industrial não estimulam, bem pelo contrário, a comunicação sonora e oral. Isso implica que a definição de «linguagem» deve ser considerada, assim como a comunicação gestual. De qualquer forma, tais aplicativos podem usar a «interação natural» como seus elementos mais importantes. No entanto, as capacidades de comunicação não são suficientes para classificar essas habilidades como «sociais» (Moniz, 2015; Sheridan, 2016; Makrini *et al.*, 2017; Tsarouchi *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2020).

A percepção tornou-se possível por meio do uso de integração avançada de sensores, que pode ser útil para o operador humano, fornecendo informações onde os humanos têm dificuldade, como na recolha de dados.

O recurso cognitivo é o mais difícil, do ponto de vista de aplicações de inteligência artificial. No entanto, isso pode ser útil para o operador humano, pois quando são apresentadas diferentes alternativas durante a resolução de problemas, o fator humano pode (mesmo intuitivamente) ser capaz de dar a melhor solução possível. Pelo menos aquela pela qual se torna responsável.

Segundo Gajšek *et al.* (2020), o aumento da flexibilidade dará aos trabalhadores a oportunidade de adaptar seus próprios equipamentos de trabalho às necessidades do trabalho por meio das suas escolhas ao manusear esses componentes. Por esses motivos, em consonância com o que Thun *et al.* (2019) expressaram acerca de um novo conceito de tendência da i4.0, este permitiria ser aplicado ao que hoje se pode chamar de i5.0. Estes autores referem que deverá existir uma mudança no trabalho repetitivo, pouco qualificado e físico para um outro modelo que envolve tarefas mais complexas e cognitivas. Por conseguinte, os requisitos da i4.0 deverão ir para além da mera dimensão tecnológica. Ou seja, este conceito de i4.0 deveria também integrar processos de inovação social e organizacional através de novos processos de gestão, o que atualmente é considerado para a i5.0. Nestas circunstâncias, a tomada de decisão, que deverá ser mais descentralizada, oferece então um maior grau de autonomia para os trabalhadores. Embora os impactos exatos que essa reconfiguração de papéis terá sobre os trabalhadores ainda sejam desconhecidos, essas razões provavelmente explicam a razão por qual quanto mais competências cognitivas estão envolvidas numa tarefa, mais difícil é argumentar que ela pode ser substituída pela tecnologia.

Como referem Cunha *et al.* (2022, p. 12), «Como podemos reabilitar uma abordagem centrada no ser humano para acompanhar e monitorar os riscos e impactos dessas novas tecnologias no trabalho? A crítica à abordagem tecnocentrada destaca que o operador humano não é um ser humano abstrato, desprovido de história própria e coletiva, desvinculado da dinâmica das relações sociais que fundamentam seu trabalho e das condições em que a atividade laboral é realizada». Com efeito, podemos ter uma abordagem ao tema (interação humano-máquina) segmentada em duas perspetivas praticamente incompatíveis: uma que idealiza a possibilidade de substituir o humano nas tarefas de produção através da capacidade cada vez maior da tecnologia e outra que não vê a possibilidade de se extrair os humanos do processo de fabricação e, assim, haverá que considerar essa interação. Esta oposição tem por base também valores distintos. Uns consideram apenas o valor primordial da tecnologia e da engenharia e outros o valor do que é humano.

Assim, o conceito de i5.0 pode ainda sublinhar a existência de limites no desenvolvimento da tecnologia. E existem tantos, desde os mais simples aos mais complexos. Alguns defendem que é apenas uma perda de tempo, de energia e de dinheiro o objetivo de substituição. Há, por conseguinte, que encontrar soluções mais eficientes. Se nos lembrarmos que o fornecimento de energia elétrica aos equipamentos automatizados ainda recorre a fios elétricos ou a carregamentos de baterias, estamos perante sérias limitações de logística e de autonomia.

Todavia, soluções como as preconizadas para a i5.0 podem ser construídas com base nas entradas (ou sugestões) do operador e nas bases de dados de conhecimento que esses robôs podem usar. A sua combinação e articulação pode ser melhorada com algoritmos mais poderosos. Como é comum as células robóticas serem operadas por diferentes humanos (no mesmo grupo de trabalho ou em turnos diferentes), a gestão do conhecimento ou do raciocínio podem tornar-se úteis para o desempenho de tarefas e para a resolução de problemas. Esta

pode ser uma situação típica em que o desenvolvimento do princípio de i5.0 pode aumentar a capacidade dos humanos na sua interação com as máquinas inteligentes.

Conclusões

Ao longo deste capítulo procurámos partir do conceito de i5.0 e compreender o que é que este conceito pode trazer em termos de inovação que não se fundamente unicamente nos processos tecnológicos. Existe, atualmente, uma maior preocupação pelas questões éticas na gestão da informação e de responsabilidade social que já deve estar presente desde as fases de investigação. Assim, este novo conceito procura acentuar a intenção de desenvolver os sistemas, em cujos processos o ser humano está no centro.

Analisámos ainda o porquê deste conceito (i5.0) e podemos concluir que a orientação tomada para a i4.0 era ainda muito limitada. Poder-se-ia dizer que as iniciativas para a i4.0 que não consideram a importância do humano no processo encontram limitações difíceis de ultrapassar. Por esse motivo, fomos analisar a interação humano-máquina na i4.0 e verificámos que muitos estudos defendem a necessidade de considerar ainda a interação humano-máquina nos processos avançados de produção e não de encontrar soluções de substituição.

Assim, na última parte deste capítulo analisámos o que poderia mudar na interação humano-máquina com a i5.0. Percebemos, justamente, que com o aumento da complexidade nos sistemas de produção, derivada da aplicação do conceito de i4.0, retirar o humano do processo substituindo-o pela automatização inteligente poderá levar a erros e ocorrências imprevistas que algoritmos de inteligência artificial não conseguem antecipar. É mesmo provável que o efeito de substituição do humano pela máquina possa induzir custos acrescidos e problemas nos processos de inovação industrial e a bloqueios organizacionais.

Bibliografia

- BARD, J. F. (1986). An assessment of industrial robots: capabilities, economics, and impacts. *Journal of Operations Management* 2(6), 99–124.
- BERRAH, L., CLIVILLE, V., TRENTESAUX, D., & CHAPEL, C. (2021). Industrial performance: an evolution incorporating ethics in the context of industry 4.0. *Sustainability* 13(16). doi: [10.3390/su13169209](https://doi.org/10.3390/su13169209).
- BREQUE, M., DE NUL, L., & PETRIDIS, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.
- BRÖDNER, P. (ed.). (1987). *Strategic Options for "New Production Systems" — CHIM: Computer and Human Integrated Manufacturing* (FOP 150).
- BRUNO, G., & ANTONELLI, D. (2018). Dynamic task classification and assignment for the management of human-robot collaborative teams in work cells. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 98(9–12), 2415–2427. doi: [10.1007/s00170-018-2400-4](https://doi.org/10.1007/s00170-018-2400-4).
- BUTOLLO, F., JÜRGENS, U., & KRZYWDZINSKI, M. (2018). From Lean Production to Industry 4.0: More Autonomy for Employees? *Discussion Paper SP III 2018–303*. WZB Berlin Social Science Center.
- CIMINI, C., PIROLA, F., PINTO, R., & CAVALIERI, S. (2020). A human-in-the-loop manufacturing control architecture for the next generation of production systems. *J. Manuf. Syst.*, 54, 258–271.
- COOLEY, M. (1989). *European Competitiveness in the 21st Century: Integration of Work, Culture and Technology*, CEC-FAST.
- CUNHA, L., SILVA, D., & MAGGIOLI, S. (2022). Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13(88912). doi: [10.3389/fpsyg.2022.889129](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.889129).
- EFFRA — EUROPEAN FACTORIES OF THE FUTURE RESEARCH ASSOCIATION. (2016). *Factories 4.0 and Beyond. Recommendations for the Work Programme 18–19–20 of the FoFPPP Under Horizon 2020*. EFFRA.
- EL-HAOUZI, H. B., VALETTE, E., KRINGS, B. J., & MONIZ, A. B. (2021). Social dimensions in CPS & IoT based automated production systems. *Societies* 11(3). doi: [10.3390/soc11030098](https://doi.org/10.3390/soc11030098).
- EUROPEAN COMMISSION. (2013). *Factories of the future - Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020*. Publications Office of the European Union. doi: [10.2777/29815](https://doi.org/10.2777/29815).
- GAJŠEK, B., STRADOVNIK, S., & HACE, A. (2020). Sustainable move towards flexible, robotic, human-involving workplace. *Sustainability* 12(16). doi: [10.3390/su12166590](https://doi.org/10.3390/su12166590).
- GOMBOLAY, M., BAIR, A., HUANG, C., & SHAH, J. (2017). Computational design of mixed-initiative human–robot teaming that considers human factors: Situational awareness, workload, and workflow preferences. *International Journal of Robotics Research*, 36(5–7), 597–617. doi: [10.1177/0278364916688255](https://doi.org/10.1177/0278364916688255).

- Kim, S. (2022). Working with Robots: Human Resource Development Considerations in Human-Robot Interaction, *Human Resource Development Review*, 21(1), 48–74. doi: [10.1177/15344843211068810](https://doi.org/10.1177/15344843211068810)
- KRINGS, B. J., A. B. MONIZ, & FREY, P. (2021). Technology as enabler of the automation of work? Current societal challenges for a future perspective of work. *Revista Brasileira de Sociologia*, 9, 206–229. <https://rbs.sbsociologia.com.br/index.php/rbs/article/view/rbs.806>.
- KRÜGER, J., Lien, T., & VERL, A. (2009). Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP Ann.*, 58, 628–646.
- LU, Y., XU, X., WANG, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation: A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 312–325.
- MADAKAM, S., RAMASWAMY, R., & TRIPATHI, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3, 164–173.
- MAKRINI, I. E., MERCKAERT, K., LEFEBER, D., & VANDERBORGHT, B. (2017). Design of a collaborative architecture for human-robot assembly tasks. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1624–1629. [10.1109/IROS.2017.8205971](https://doi.org/10.1109/IROS.2017.8205971).
- MAY, G., TAISCH, M., BETTONI, M., MAGHAZEI, A., MATARAZZO, O., & STAHL, B. (2015). A human-centric factory model. *Procedia CIRP*, 26, 103–108. doi: [10.1016/j.procir.2014.07.112](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.112).
- MONIZ, A. B. (1989). Mudanças tecnológicas e organizacionais em Portugal: Análise das duas últimas décadas. *Organizações e Trabalho*. 1, 7–23.
- MONIZ, A. B. (2014). Organisational challenges of human–robot interaction systems in industry: Human resources implications. Em C. Machado, & P. J. Davim (eds.), *Human resource management and technological challenges* (pp. 123–132). Springer. [10.1007/978-3-319-02618-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02618-3).
- MONIZ, A. B. (2015). Intuitive Interaction Between Humans and Robots in Work Functions at Industrial Environments: The Role of Social Robotics. Em J. Vincent *et al.* (eds.), *Social Robots from a Human Perspective*, Springer. doi: [10.1007/978-3-319-15672-9_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15672-9_6).
- MONIZ, A., & KRINGS, B.-J. (2016). Robots working with humans or humans working with robots? Searching for social dimensions in new human-robot interaction in industry. *Societies*, 6(23). doi: [10.3390/soc6030023](https://doi.org/10.3390/soc6030023).
- MONIZ, A. B., CANDEIAS, M. & BOAVIDA, N. (2022). Changes in productivity and labour relations: artificial intelligence in the automotive sector in Portugal. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 22(2), 222–244.
- NEUMANN, W., WINKELHAUS, S., GROSSE, E., & GLOCK, C. (2021). Industry 4.0 and the human factor: A systems framework and analysis methodology for successful development. *International Journal of Production Economics*, 233(107922). doi: [10.1016/j.ijpe.2020.107992](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107992).
- ROMERO, D., BERNUS, P., NORAN, O., STAHR, J., & Fast-Berglund, S. (2016a). The operator 4.0: human cyber-physical systems and adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 677–686. doi: [10.1007/978-3-319-51133-7_80](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80).

- ROMERO, D., NORAN, O., STAHR, J., BERNUS, P., & FAST-BERGLUND, Å. (2016b). Towards a human-centred reference architecture for next generation balanced automation systems: human-automation symbiosis. Em S. Umeda *et al.* (eds.), *Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth*. Springer. doi: [10.1007/978-3-319-22759-7_64](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_64)
- SHERIDAN, T. B. (2016). Human-robot interaction. *Human Factors*, 58(4), 525–532. [10.1177/0018720816644364](https://doi.org/10.1177/0018720816644364).
- SCHIRNER, G., ERDOGMUS, D., CHOWDHURY, K., & PADIR, T. (2013). The Future of Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems. *Computer*, 46, 36–45.
- SOWE, S. K., SIMMON, E., ZETTSU, K., DE VAULX, F., & BOJANOVA, I. (2016). Cyber-Physical-Human Systems: Putting People in the Loop. *IT Prof.*, 18, 10–13.
- THUN, S., KAMSVÅG, P. F., KLØVE, B., SEIM, E. A., & TORVATN, H. Y. (2019). Industry 4.0: Whose revolution? The digitalization of manufacturing work processes. *Nord. J. Work. Life Stud.* 9(e117777). doi: [10.18291/njwls.v9i4.117777](https://doi.org/10.18291/njwls.v9i4.117777).
- TSAROUCHI, P., MATTHAIAKIS, A. S., MAKRIS, S., & CHRYSOLOURIS, G. (2017). On a human-robot collaboration in an assembly cell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(6), 580–589. [10.1080/0951192X.2016.1187297](https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1187297).
- VANDERHAEGEN, F., NELSON, J., WOLFF, M., & MOLLARD, R. (2021). From Human-Systems Integration to Human-Systems Inclusion for use centred inclusive manufacturing control systems. *Proceedings of the 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, 7–9. https://ifac.papercept.net/conferences/scripts/rtf/INCOM21_ContentListWeb_1.html
- WALLHOFF, F. *et al.* (2010). A skill-based approach towards hybrid assembly. *Advanced Engineering Informatics*, 24(3) 329–339.
- WOBBE, W. (1990). *Anthropocentric Production Systems in the Context of CEC's*. FAST/MONITOR. p. 14. (edição posterior em https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-1967-8_7)

