

Capacitação comportamental de profissionais e estudantes de engenharia para a Indústria 4.0

Behavioral training of engineering professionals and students for Industry 4.0

Maria Ângela de S. Fernandes^{ORCID}, Ricardo C. Rodrigues^{ORCID} e Adelaide Maria S. Antunes^{ORCID}

Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Notas dos autores

Maria Ângela de S. Fernandes é agora avaliadora de maturidade de projetos de inovação da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia (Facto); Ricardo C. Rodrigues é agora coordenador da Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi); Adelaide Maria S. Antunes é agora especialista sênior da Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Inpi.

Correspondências sobre este artigo devem ser enviadas para Ricardo C. Rodrigues, Rua Mayrink Veiga, 9, Centro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, CEP 20090-910. E-mail: ricardo.rodrigues@inpi.gov.br

Para citar este artigo: Fernandes, M. Â. de S., Rodrigues, R. C., & Antunes, A. M. S. (2023). Capacitação comportamental de profissionais e estudantes de engenharia para a Indústria 4.0. *Revista de Administração Mackenzie*, 24(5), 1–30. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMR230084.pt>



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

This paper may be copied, distributed, displayed, transmitted or adapted for any purpose, even commercially, if provided, in a clear and explicit way, the name of the journal, the edition, the year and the pages on which the paper was originally published, but not suggesting that RAM endorses paper reuse. This licensing term should be made explicit in cases of reuse or distribution to third parties.

Este artigo pode ser copiado, distribuído, exibido, transmitido ou adaptado para qualquer fim, mesmo que comercial, desde que citados, de forma clara e explícita, o nome da revista, a edição, o ano e as páginas nas quais o artigo foi publicado originalmente, mas sem sugerir que a RAM endosse a reutilização do artigo. Esse termo de licenciamento deve ser explicitado para os casos de reutilização ou distribuição para terceiros.

Resumo

Objetivo: Apresentar meios de capacitação comportamental de profissionais e estudantes de engenharia para Indústria 4.0.

Originalidade/valor: Este estudo propõe um modelo de colaboração homem-máquina inteligente (aplicação de IA) para capacitação de profissionais de engenharia no local de trabalho. Identifica e qualifica evidências de competências comportamentais para Indústria 4.0 a serem desenvolvidas nos cursos de graduação em Engenharia da UFRJ.

Design/metodologia/abordagem: O modelo de colaboração engenheiro-máquina abrange o *Design Thinking* (Brown, 2010). Trata-se de uma modelagem cognitiva do engenheiro adaptada ao modelo para o raciocínio lógico (Paul & Elder, 2002), com a integração da modelagem cognitiva ajustada ao modelo de fluxo de informações de interação homem-máquina (Riley, 1989). A implementação do modelo de competência para Indústria 4.0 (Prifti et al., 2017), a entrevista com dirigentes da EQ e Poli (UFRJ) sobre o planejamento para implementação das novas DCN de Engenharia (Resolução nº 2, 2019) e a aplicação da abordagem GRADE (Balsheim et al., 2011) para qualificação do nível de confiança suportaram a identificação de evidências de competências comportamentais para Indústria 4.0 na graduação.

Resultados: Os profissionais de engenharia treinam análise crítica e tomada de decisão, enquanto a máquina busca/processa informação e realiza simulações. Os cursos de graduação da EQ/Poli da UFRJ apresentam baixa evidência quanto à qualificação dos alunos em “inteligência emocional, tomada de decisão e relação com cliente”. Não foram identificadas evidências quanto à capacitação dos estudantes em “autogestão, empreendedorismo e conhecimento de modelo de negócios”.

Palavras-chave: capacitação de engenheiros, colaboração engenheiro-máquina, competência comportamental, Indústria 4.0, IA

Abstract

Purpose: To present suggestions for behavioral competency development for engineers and Engineering students to work in Industry 4.0.

Originality/value: A human-machine collaboration model (with artificial intelligence application) is proposed for training engineering professionals for the workplace. The behavioral skills for Industry 4.0 to be developed in Engineering degree programs and the quality of evidence of their inclusion in such programs of the Federal University of Rio de Janeiro (Universidade Federal do Rio de Janeiro [UFRJ]) are assessed.

Design/methodology/approach: The engineer-machine collaboration model draws on Design Thinking (Brown, 2010) and cognitive modeling of engineers based on a model of logical reasoning (Paul & Elder, 2002), integrating the cognitive model with a model of information flows in human-machine interactions (Riley, 1989). A competency model for Industry 4.0 (Prifti et al., 2017), interviews with leaders of engineering schools of the UFRJ, addressing their planning for the implementation of the new National Curriculum Guidelines for Engineering programs (Resolução nº 2, 2019), and application of the GRADE approach (Balshem et al., 2011) supported the identification of evidence of behavioral competencies for Industry 4.0 in the undergraduate programs.

Findings: Engineering professionals train their critical analysis and decision-making skills while the machine searches for and processes information and performs simulations. Low quality evidence was found for the training of undergraduates in emotional intelligence, decision-making, and customer relations. No evidence was identified of training in self-management, entrepreneurship, and understanding of the business model.

Keywords: engineers training, engineer-machine collaboration, behavioral competencies, Industry 4.0, AI

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 engloba avanços nas áreas de automação, sensores, inteligência artificial, tecnologias da informação e comunicação, tendo por base hiperconectividade, elevado grau de digitalização e sensoriamento, de modo a tornar o mundo cada vez mais interconectado e interdependente (Hermann et al., 2016). A emergência de nova relação homem-máquina (Farooq & Grudin, 2016) com foco na colaboração entre humano e inteligência artificial (IA) apresenta potencial de remodelar a maneira como os engenheiros trabalharão no futuro, demandando a reformulação dos estudos de engenharia, de forma a enfatizar a aquisição de competências comportamentais além das competências técnicas.

Em relação à colaboração homem-máquina no local de trabalho, destaca-se o APPSist, desenvolvido por cientistas do Instituto Fraunhofer e implementado na empresa multinacional alemã Festo. Trata-se de um dispositivo móvel incorporado com um sistema de assistente inteligente que apoia capacitação de profissionais da área de produção para Indústria 4.0, com instruções para otimização de processos e solução de problemas (Ullrich et al., 2016).

Prifti et al. (2017) desenvolveram um modelo de competências para a Indústria 4.0 voltado para estudantes dos cursos de Sistemas de Informação, Ciência da Computação e Engenharia da Universidade de Munique. Apresentam lista de competências que os estudantes desses três cursos devem dominar para que possam trabalhar com sucesso na Indústria 4.0.

Um dos maiores desafios que despontam com a Indústria 4.0 é a capacitação de profissionais de engenharia para que possam atuar no ambiente de trabalho reconfigurado por esse novo paradigma (Marra et al., 2017). A qualificação do engenheiro deve ser abordada, primeiramente, nos cursos de graduação, a fim de preparar os alunos com as competências necessárias. Este artigo busca responder à seguinte questão de pesquisa:

- Como preparar profissionais e estudantes de engenharia para a Indústria 4.0?

O modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de IA ilustra o engenheiro treinando a análise crítica e a tomada de decisão, enquanto a máquina busca/processa informação e realiza simulações para o caso concreto de desenvolvimento de produto com foco em novos materiais. Os dois agentes (engenheiro e IA) comunicam-se por meio de interfaces inteligentes – reconhecimento de voz, gestos, expressão facial, linguagem corporal, rastrea-

mento de olhar –, dependendo do contexto. Os cursos de graduação da Escola de Química (EQ) e da Escola Politécnica (Poli) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) apresentam baixa evidência quanto à qualificação dos alunos em “inteligência emocional, tomada de decisão e relação com cliente”. Não foram identificadas evidências quanto à capacitação dos estudantes em “autogestão, empreendedorismo e conhecimento de modelo de negócios”.

Este estudo contribui para a pesquisa ao fornecer um ponto de partida para o aprofundamento das discussões e dos debates no tema qualificação profissional de engenheiros em ambientes de trabalho inteligentes, com crescimento exponencial de dados não estruturados. Espera-se que este artigo possa contribuir para ampliar a conscientização dos educadores sobre a importância do desenvolvimento de currículos que enfatizem o domínio de competências comportamentais para Indústria 4.0, a fim de que os estudantes de Engenharia possam fazer a transição, com sucesso, da escola para a prática profissional.

O artigo está estruturado em quatro seções, além deste texto introdutório: revisão bibliográfica, procedimentos metodológicos, apresentação e discussão dos resultados, e considerações finais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Indústria 4.0

Indústria 4.0, do alemão *Industrie 4.0*, abrange tecnologias de comunicação entre o mundo físico e digital, integrando máquinas, humanos e produtos. Entre as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, destacam-se o sistema *design* físico (*cyber-physical systems* – CPS), a internet das coisas (*internet of things* – IoT), a interação homem-máquina, o *big data* e a segurança de dados (Hermann et al., 2016; Brühl, 2015).

O CPS abrange o componente físico, referente ao objeto percebido pelos sentidos humanos, e um componente relacionado à representação virtual (*cyber*) do objeto físico (Roth, 2016). As decisões são baseadas na avaliação de informações de sensores internos e de outros sistemas cibernéticos. O CPS controla processos físicos por meio de *feedback*, adaptando-se a novas condições em tempo real (Sabella, 2018).

As “coisas” interligadas por IoT são chamadas de produtos inteligentes, capazes de comunicar e trocar informações uns com os outros e com o

ambiente, sem interação humana, criando a base para sistemas autônomos, que desempenham papel importante na Indústria 4.0 (Roth, 2016).

A interação homem-máquina ocorre por meio de *smartphones* e *tablets* equipados com tecnologias de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) como interfaces. Imerso em RV, o usuário não pode ver o mundo real ao seu redor, enquanto a RA permite que ele veja objetos virtuais sobrepostos ao mundo real.

Denomina-se *big data* a quantidade exponencial de dados não estruturados que podem ser capturados via objetos conectados entre si, armazenados e analisados. Com a criação exponencial de dados, confidencialidade e integridade são essenciais, requerendo proteção contra ataques cibernéticos (Zhuang et al., 2017).

Inteligência artificial

O campo de IA busca entender agentes capazes de agir de forma autônoma, como o *chatbot*, que é uma aplicação de IA incorporada em um *smartphone* para “conversas” mais longas, não estruturadas com humanos (Dale, 2016). As principais técnicas de IA são *machine learning*, *deep learning*, *computer vision* e *natural language processing* (Wang & Siau, 2019).

O algoritmo de *machine learning* (ML) melhora o desempenho da IA ao longo do tempo após ser treinado por meio de muitos dados, sem ser explicitamente programado Ertel (2017). O *deep learning* também denominado *artificial neural network* é um tipo de ML baseado em camadas de redes neurais artificiais. Assim como os estímulos são necessários para a aprendizagem em organismos biológicos, nas redes neurais artificiais eles são fornecidos por dados de treinamento contendo exemplos de pares de entrada-saída da função a ser aprendida (Aggarwal, 2018).

A *computer vision* é utilizada em aplicações industriais para reconhecimento óptico de caracteres (*optical character recognition* – OCR), uso de visão raio-X na inspeção de peças para garantir a qualidade, construção de modelos 3D a partir de fotografias aéreas, e reconhecimento de impressões digitais e biometria (Stone et al., 2016).

O *natural language processing* (NLP) envolve aplicativos e serviços capazes de entender a linguagem humana. Jurafsky e Martin (2020) apontam duas classes de agentes de algoritmos que interagem por voz/texto/diálogo: agentes que usam conversas com humanos para apoiá-los na execução de tarefas e agentes de diálogo em assistentes digitais, como Siri da Apple e Alexa da Amazon, que dão instruções, controlam aparelhos ou fazem chamadas telefônicas.

A adoção e a aplicação de IA introduzem desafios quanto às decisões de negócios, pois, com o uso de *deep learning*, não há compreensão do funcionamento do modelo para se chegar à tomada de decisão. Assim, emerge o paradigma da “inteligência artificial responsável”, que leva ao conceito de *Explainable AI* – XAI (Miller, 2019), que se refere à aplicação de IA com resultados compreensíveis por especialistas humanos. Contrasta, assim, com o conceito de “caixa-preta” em ML em que não se pode explicar por que IA chegou a determinada decisão (Edwards & Veale, 2017).

Colaboração homem-máquina

A interação entre homem e máquina surgiu em decorrência da popularização dos computadores pessoais e de investimentos de pesquisa no desenvolvimento de sistemas que pudessem ser utilizados por usuários não especializados em computação. A interface é a parte do sistema computacional com a qual as pessoas entram em contato para disparar ações e receber os resultados, os quais são interpretados pelo usuário para definição das próximas etapas de execução.

As interfaces inteligentes incorporam recursos associados a humanos, como percepção, interpretação, aprendizagem, uso da linguagem, racionalidade, planejamento e tomada de decisão. Maximizam a eficiência da comunicação entre humanos e máquinas por meio de voz, reconhecimento de gestos e imagem, rastreamento de olhares ou reconhecimento facial. Dessa forma, permitem que os usuários interajam com elas e sejam envolvidos em um ambiente colaborativo, no qual se comunicam, controlam eventos e executam tarefas para alcançar objetivos (Sonntag, 2015).

Entre os exemplos de interfaces inteligentes, destacam-se as tecnologias de RA e RV. O uso de óculos de RA sobrepõe elementos virtuais no ambiente real, enquanto os óculos de RV fazem a imersão do usuário num mundo 3D criado artificialmente. Máquinas interativas necessitam de dados em tempo real obtidos por meio de câmeras, microfones e sensores, bem como de informações geradas via radar, *laser* e ultrassom, para extrair informações do comportamento dos usuários e adaptá-lo a estes e ao ambiente.

Ao interagirem com o ambiente e os usuários, as máquinas inteligentes podem aprender e evoluir processando imagens, dados de linguagem ou sensores de forma autônoma, vinculando-os ao conhecimento existente. Essa habilidade de evolução tem potencial para tornar-se uma característica regular das máquinas no mundo real e de agentes de *software* no espaço digital (Acatech, 2016; Bahceci, 2016).

O estudo da Acatech (2016), intitulado *Innovation potential of human-machine interaction*, revela um cenário positivo para o futuro da colaboração homem-máquina, impulsionado pelo avanço tecnológico nos campos de sensores, atuadores, processamento/transmissão de dados e IA.

A Indústria 4.0 faz emergir o paradigma *Augmented Operator* (Weyer et al., 2015) em que a capacidade humana de perceber e agir no mundo físico é ampliada pela possibilidade de estar imerso num ambiente de RV. O CPS está transformando a forma como os humanos interagem com sistemas inteligentes, assim como a internet transformou o modo de as pessoas interagirem com a informação. À medida que a tecnologia digital amplia a capacidade humana de trabalho para atuação com foco mais estratégico, a natureza do trabalho muda (Sabella, 2018).

A era da interação homem-máquina caracterizada por estímulo-resposta dá lugar à colaboração, na qual humanos e IA são parceiros na execução de tarefas (Farooq & Grudin, 2016). Stone et al. (2016) destacam os esforços de pesquisa em IA direcionados para a construção de sistemas inteligentes tendo o homem como protagonista. A metodologia *Design Thinking* é uma poderosa ferramenta do *design* utilizada para projetar, selecionar opções, prototipar, testar e validar soluções. Combina necessidades humanas e viabilidade tecnológica para o desenvolvimento de soluções inovadoras em sessões de raciocínio associativo num processo iterativo (Brown, 2010).

Dignum e Dignum (2020) enfatizam que a visão da IA centrada no humano requer que os agentes tornem-se conscientes do contexto social em que operam. A Accenture Federal Services (2018) identificou tendências de colaboração homem-máquina que poderão remodelar a maneira como as pessoas trabalharão no futuro. Entre elas, destaca-se o treinamento de IA para desempenhar tarefas modelando o comportamento da máquina por meio de ações humanas.

Lauer et al. (2020) apontam que, no estágio atual de pesquisa sobre colaboração homem-máquina, os algoritmos de IA ainda não são capazes de emular a intuição humana, embora apresentem avanços em inteligência cognitiva. Destacam a relevância de estudos quanto à capacidade da IA em replicar competências humanas cognitivas e emocionais, principalmente no que se refere a julgamentos e tomada de decisão (Selwyn, 2019).

O trabalho do futuro consistirá em um conjunto de CPS, em que os humanos qualificados devem estar familiarizados com o sistema ciberfísico e terão *insights* das operações diretamente de máquinas inteligentes (Lu & Weng, 2018).

Desenvolvimento de competências comportamentais para a Indústria 4.0

O foco da Indústria 4.0 é criar produtos e processos inteligentes, representando um desafio para a educação em engenharia formar profissionais com perfil compatível ao demandado pelas empresas.

Hecklau et al. (2017) examinaram o impacto da digitalização nas competências requeridas pelas empresas no estudo intitulado “Human resources management: meta-study – analysis of future competences in Industry 4.0”. Para identificarem as competências em publicações com foco em Indústria 4.0, os pesquisadores utilizaram o conceito de competências técnicas e comportamentais para o trabalho.

O grupo de pesquisa Plattform Industrie 4.0, na Alemanha, tem pesquisado competências para Indústria 4.0 e formas de treinamento no contexto de digitalização do ambiente de trabalho desde 2015 (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017). A Siemens criou o projeto Industrie 4.0@SPE, tendo como foco analisar as mudanças decorrentes da crescente digitalização no mundo do trabalho para adaptar conteúdo, métodos de ensino, conhecimentos e habilidades dos instrutores da educação profissional. A *systems, applications, and products* (SAP) usa plataformas de aprendizagem acessíveis via dispositivos móveis que possibilitam a preparação de *roadmaps* de aprendizagem.

Senderek e Geisler (2015) assinalaram a contribuição de assistentes inteligentes no desenvolvimento de competências para Indústria 4.0 em ambientes de trabalho. Evidenciaram seu potencial na captura e combinação de dados, avaliação e disponibilização de informações sobre o ambiente, auxiliando humanos na tomada de decisão. Uma unidade do Instituto Fraunhofer em Stuttgart trabalhou no projeto de pesquisa APPSist (Ullrich et al., 2016), que exhibe informações para tratamento de falhas de máquinas em *tablets*, com demonstração de execução de tarefas via texto e vídeos. O sistema possui interface de RV/RA, o que permite ao colaborador direcionar o aprendizado conforme seu ritmo, solicitar vídeos com conteúdos aprofundados e pular explicações do sistema de assistência se já dominar o processo.

Prifti et al. (2017), pesquisadores da Universidade de Munique, desenvolveram um modelo de competência para Indústria 4.0 com foco nos cursos de Sistema de Informação, Ciência da Computação e Engenharia. Partiram do *Universal Competency Framework*, fundamentado no domínio de competências comportamentais e probabilidade de sucesso no ambiente de trabalho. O *Universal Competency Framework* é estruturado em três níveis hierárquicos:

o nível 1 consiste em oito grandes categorias de competências (Tabela 1), o nível 2 refere-se às dimensões de competências e o nível 3 contém as competências comportamentais. Oferece uma estrutura e uma visão geral das competências, alocadas em categorias (Bartram, 2012). Essa estrutura é muito utilizada na prática para elaborar modelos de competência para cargos/ contextos específicos (Kleindauer, 2012).

Tabela 1

Oito grandes categorias de competências comportamentais - nível 1

<i>Oito grandes categorias de competências</i>	Descrição
1. Suporte e cooperação	Apoia o trabalho com as equipes e demonstra respeito aos integrantes delas.
2. Interação e apresentação	Comunica-se com os outros e os influencia de forma confiante.
3. Análise e interpretação	Possui pensamento analítico para solução de problemas complexos e rapidamente assimila novas tecnologias.
4. Criatividade e conceituação	Busca oportunidades de aprendizado. Pensa de forma ampla e estratégica.
5. Organização e execução	Fornecer serviço ou produto de qualidade conforme os padrões acordados.
6. Adaptação e resiliência	Adapta-se e responde bem à mudança e à pressão.
7. Empreendedorismo e desempenho	Mostra compreensão de negócios e finanças. Busca oportunidades para autodesenvolvimento na carreira.
8. Liderança e decisão	Assume o controle e exerce liderança. Inicia ação, dá direção e assume responsabilidade.

Fonte: Adaptada de *Universal Competency Framework* (Bartram, 2012).

Para construção de seu modelo, Prifti et al. (2017) mantiveram a estrutura com a relação entre os elementos (níveis 1 e 2) e adaptaram o nível 3. Substituíram as competências gerais do *Framework* por competências para a Indústria 4.0 obtidas na revisão de literatura e nas sessões de grupos focal com professores, especialistas e consultores envolvidos em pesquisas no tema. A Tabela 2 apresenta o modelo de competências para a Indústria 4.0 de Prifti et al. (2017).

Tabela 2

Modelo de competências para a Indústria 4.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3			
Oito grandes	Dimensões de competências	Competências			
		Sistema de Informação	Ciência da Computação	Engenharia	
Suporte e cooperação	Adesão a princípios e valores	Ética, consciência ambiental e consciência ergonômica			
	Trabalha bem com pessoas	Trabalho em equipe, colaboração e comunicação			
Interação e apresentação	<i>Networking</i>	Compromisso, <i>network</i> e relação com o cliente			
	Influência	Negociação e inteligência emocional			
	Apresentação de informação	Apresentação e comunicação			
Análise e interpretação	Redação e reporte	Comunicação técnica e domínio oral e de escrita			
	Aplicação de conhecimento e tecnologia	Informação e tecnologia, economia, extrai valor de negócio de mídias			
		Orientação a serviços/oferta produto-serviço	Segurança de rede		
		Gestão de processo de negócios	Arquitetura de TI		
		Gestão de mudança de negócio	<i>Machine learning</i>		
		Coordenação de <i>workflow</i>			
			Desenvolvimento de sistemas e integração de tecnologias		
			Tecnologia móvel e sensores de sistema embarcado		
			Tecnologia de rede e comunicação M2M		
			Robótica e inteligência artificial		
		Manutenção preditiva			

(continua)

Tabela 2 (conclusão)

Modelo de competências para a Indústria 4.0

Nível 1	Nível 2	Nível 3		
Oito grandes	Dimensões de competências	Competências		
		Sistema de Informação	Ciência da Computação	Engenharia
Análise e interpretação	Aplicação de conhecimento e tecnologia	Modelagem e programação, <i>big data</i> e <i>data analysis</i>		
	Análise	Cloud computing/arquitetura e banco de dados		
Criatividade e conceitualização	Aprendizagem e pesquisa	Estatística e segurança de dados		
	Criatividade e inovação	Solução de problemas, otimização, <i>analytics</i> e cognição		
	Formulação de conceitos estratégicos	<i>Life-long learning</i> e gestão do conhecimento		
Organização e execução	Planejamento e organização	Inovação, criatividade, pensamento crítico e gestão de mudança		
	Entrega resultados e atende às expectativas de clientes	Estratégia de negócios, abstração e gestão de complexidade		
	Segue instruções e procedimentos	Gestão de projetos, planejamento e organização do trabalho, e gestão		
Adaptação e resiliência	Adaptação à mudança	Orientado a clientes e gestão de relacionamento com o cliente		
	Persuasão e influência	Legislação, segurança e responsabilidade individual		
Empreendedorismo e desempenho	Atinge metas e objetivos	Trabalha em ambiente interdisciplinar e intercultural, e tem flexibilidade e mente aberta		
	Mente empreendedora	Equilíbrio entre vida pessoal e trabalho		
Liderança e decisão	Decisão e proatividade	Autogestão		
	Liderança e supervisão	Conhecimento do modelo de negócio e empreendedorismo		
Liderança e decisão	Decisão e proatividade	Toma decisão e assume responsabilidade		
	Liderança e supervisão	Liderança		

Fonte: Adaptada de Prifti et al. (2017).

Observa-se que a maioria das competências comportamentais é compatível com os três cursos – Sistemas de Informação, Ciência da Computação

e Engenharia –, indicando que os profissionais deverão demonstrar elevado nível de competências interdisciplinares para que possam trabalhar com sucesso na Indústria 4.0. O engenheiro, por exemplo, terá de colaborar com especialistas de Ciência da Computação e Sistemas da Informação para entregar resultados.

Novas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Engenharia

A homologação das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para os cursos de graduação em Engenharia – por meio da Resolução do Conselho Nacional de Educação e da Câmara de Educação Superior (CNE/CES) nº 2/2019 – é uma iniciativa para elevar a qualidade do ensino em engenharia no Brasil e propiciar inovação nos modelos de formação. As novas DCN têm como processo (Tabela 3) a formação por meio de competências, metodologias inovadoras, indução de políticas institucionais inovadoras, ênfase na gestão do processo de aprendizagem, fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações e valorização da formação do corpo docente (Resolução nº 2, 2019).

Tabela 3

Processos das novas DCN para os cursos de graduação em Engenharia

Formação por meio do desenvolvimento de competências	A formação em engenharia deve ser baseada em competências, envolvendo pessoas com suas diversas expectativas e comportamentos. Devem-se utilizar técnicas para transformar a observação em formulação e solução economicamente viável de problemas, aplicando tecnologias para atender às demandas dos usuários e do mercado.
Metodologias inovadoras	Implica adotar metodologias de ensino mais adequadas à realidade global, aliada ao desenvolvimento de competências comportamentais e à motivação dos estudantes para buscar outras fontes de conteúdo. Busca-se dar maior dinamismo e autonomia ao processo de aprendizagem em engenharia, engajando o estudante na solução de problemas concretos que exijam conhecimentos interdisciplinares de forma a elevar a qualidade do ensino e combater a evasão.
Indução de políticas institucionais inovadoras	O foco é promover diversidade de perfis de engenheiros para atender às mais diversas demandas da sociedade, como habitação, segurança, educação, saúde. As novas DCN devem garantir flexibilidade para que a instituição de ensino superior (IES) estructure seus cursos de forma a promover o desenvolvimento de competências coerente com o perfil do egresso estabelecido no curso.

(continua)

Tabela 3 (conclusão)**Processos das novas DCN para os cursos de graduação em Engenharia**

Ênfase na gestão do processo de aprendizagem	As novas DCN devem estimular o desenvolvimento da cultura de gestão de processos de desenvolvimento de competências nas IES. Isso implicará a construção de perfil acadêmico e profissional compatível com referências internacionais, capacitando o estudante para atuar com eficácia nos segmentos da engenharia em qualquer parte do mundo.
Fortalecimento do relacionamento com diferentes organizações	Os cursos devem promover interação com organizações para desenvolvimento de projetos de interesse comum, bem como incentivar direcionamento do projeto final de curso para resolução de problemas concretos para as empresas.
Valorização da formação do corpo docente	É necessário priorizar a capacitação docente sobre novos métodos e estratégias de ensino/aprendizagem; capacitação didático-pedagógica e de gestão acadêmica; equilíbrio entre incentivos funcionais, acadêmicos, recursos para pesquisa, extensão e atividades de ensino; envolver profissionais de empresas em atividades acadêmicas.

Fonte: Resolução nº 2 (2019).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa tem natureza exploratória e qualitativa. Pesquisas exploratórias são realizadas quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil formular hipóteses precisas (Gil, 2008). A pesquisa qualitativa é interpretativa, pois o pesquisador interpreta os dados (Creswell, 2007).

Para pensar e sintetizar ideias para concepção das funcionalidades do modelo de colaboração engenheiro-máquina (IA), aplicou-se a técnica *Design Thinking* (Brown, 2010) em sessões iterativas. Primeiramente, foi realizada uma sessão de *brainstorming* com especialistas em fator humano, *design* de produtos e processos de engenharia, e, posteriormente, com especialistas em interfaces inteligentes, RV e RA. A Figura 1 apresenta o resultado dessas sessões.

Definidas as funcionalidades, partiu-se para a modelagem da colaboração engenheiro-máquina (Figura 4). Isso abrangeu a modelagem cognitiva do pensamento crítico do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA (Tabela 5) com a integração do modelo/*checklist* de pensamento crítico/raciocínio lógico (Paul & Elder, 2002; Paul et al., 2006) (Figura 2) ao modelo de Riley (1989) (Figura 3).

A implementação do modelo de competência para a Indústria 4.0 (Prifti et al., 2017), a entrevista com os dirigentes da (EQ e Poli da UFRJ sobre o planejamento para implementação das novas DCN de Engenharia (Resolução nº 2, 2019) e a aplicação da abordagem GRADE (Balschem et al., 2011) para a qualificação do nível de confiança suportaram a identificação de evidências de competências comportamentais para a Indústria 4.0 na graduação.

A escolha da UFRJ foi baseada em sua tradição, sua fama e seu prestígio na formação de engenheiros na EQ/Poli, reconhecidos nos âmbitos nacional e internacional. A EQ oferece cursos de graduação em Engenharia Química, Engenharia de Bioprocessos, Engenharia de Alimentos, além dos cursos compartilhados com a Poli e/ou Coppe (Engenharia de Petróleo, Engenharia de Controle e Instrumentação e Engenharia Ambiental). A Poli oferece 13 cursos de graduação em Engenharia: elétrica, eletrônica, de computação, mecânica, metalúrgica, de materiais, de controle e automação, de computação e informação, de petróleo, naval e oceânica, nuclear, de produção, ambiental e civil.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas com a diretora adjunta de graduação da EQ e a diretora da Poli com questões orientadas para o planejamento de implementação dos processos das novas DCN de Engenharia (Tabela 3). De acordo com Gil (2008, p. 11), “podem ser definidos diferentes tipos de entrevista, em função de seu nível de estruturação. As entrevistas mais estruturadas são aquelas que predeterminam em maior grau as respostas a serem obtidas”.

A aplicação do modelo de competências para a Indústria 4.0 de Prifti et al. (2017) consistiu, primeiramente, na transcrição e análise do conteúdo para extração de informação relevante. Posteriormente, partiu-se para o agrupamento nas oito grandes categorias de competências (nível 1). Na sequência, foi aplicada a abordagem GRADE (Balschem et al., 2011), em sessões individuais de avaliação do nível de qualidade de evidência (Tabela 4) da informação relevante na categoria. O resultado da avaliação via consenso está apresentado na Tabela 6. Finalmente, mantendo-se a estrutura do modelo de Prifti et al. (2017) (Tabela 2), essa avaliação do nível de qualidade de evidência realizada para o nível 1 foi desdobrada até o nível 3, extraíndo-se as competências comportamentais para a Indústria 4.0 referentes ao curso de Engenharia, como mostra a Figura 5.

Tabela 4**Níveis de qualidade de evidências e definição**

Nível de qualidade de evidência	Definição
Elevada	Muita confiança na qualidade da evidência.
Moderada	Confiança moderada na qualidade da evidência: a realidade se aproxima bastante da estimativa, mas há a possibilidade de que seja diferente.
Baixa	Confiança baixa na qualidade da evidência: a realidade talvez seja substancialmente diferente da estimada.
Muito baixa	Muito pouca confiança na qualidade da evidência: a realidade poderá ser substancialmente diferente da estimada.

Fonte: Balshem et al. (2011).

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se e discutem-se os meios de capacitação comportamental de profissionais e estudantes de engenharia para a Indústria 4.0.

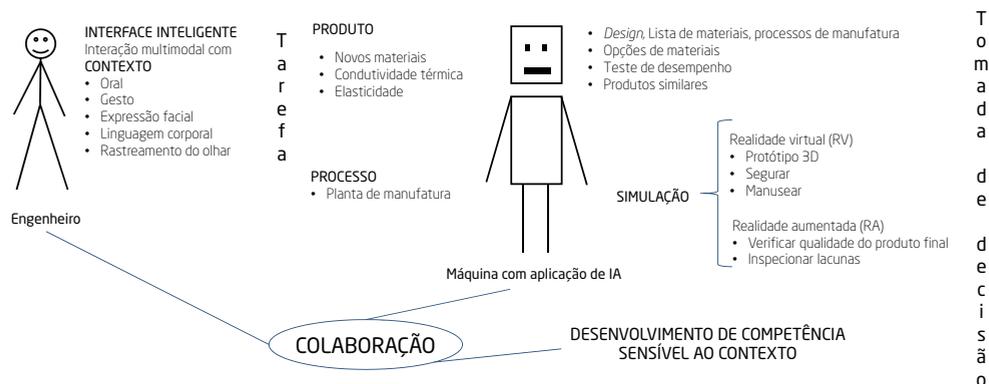
O modelo de colaboração entre engenheiro e aplicação de IA ilustra o engenheiro treinando análise crítica e tomada de decisão, enquanto a máquina busca/processa informação e realiza simulações. A concepção das funcionalidades do modelo de colaboração é ilustrada na Figura 1, em que dois agentes (engenheiro e IA) comunicam-se por meio de interfaces inteligentes – reconhecimento de voz, gestos, expressão facial, linguagem corporal e rastreamento de olhar, dependendo do contexto. Para exemplificar a colaboração engenheiro-máquina, optou-se pelo caso concreto de desenvolvimento de produto e desenvolvimento da competência tomada de decisão com foco em novos materiais:

- Engenheiro: solicita busca de produtos similares ao que deseja desenvolver.
- IA: apresenta o *design*, a lista e o tipo de material de produto similar.
- Engenheiro: informa parâmetros de condutividade térmica e elasticidade do material.
- IA: fornece opções de materiais, fornecedores e vídeo de teste com produto similar.
- Engenheiro: explora recursos de simulação oferecidos por tecnologias de RV e RA, obtendo *insights* sobre características de materiais e manu-

seio do produto. Com a RV, poderá desenvolver protótipos e manusear componentes/produto, e, com a RA, poderá inspecionar montagem de componentes.

Figura 1

Funcionalidades do modelo de colaboração engenheiro-máquina (IA)

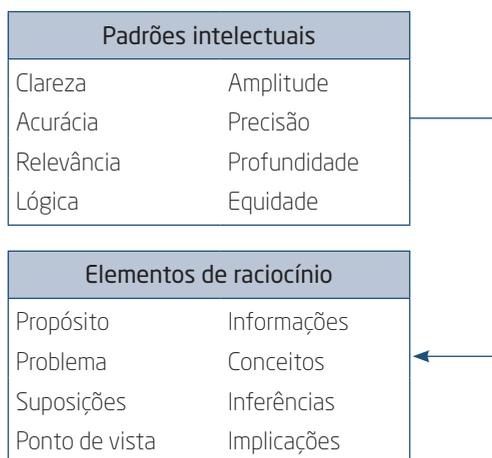


Fonte: Elaborada pelos autores.

A modelagem cognitiva do engenheiro para treinamento do algoritmo de IA foi baseada no modelo de pensamento crítico (Paul & Elder, 2002) apresentado na Figura 2 e na ferramenta *The thinker’s guide to engineering reasoning* (Paul et al., 2006).

Figura 2

Modelo de pensamento crítico



Fonte: Adaptada de Paul e Elder (2002).

Paul et al. (2006) aplicaram o modelo de pensamento crítico para a área de engenharia elaborando a ferramenta conhecida como *The thinker's guide to engineering reasoning*, um *checklist* que descreve os elementos de raciocínio (Figura 2) com instruções para guiar o raciocínio lógico e o pensamento crítico do engenheiro: 1. expressar o *propósito* de maneira clara; 2. fazer as *perguntas* certas para solucionar problemas; 3. estabelecer as *premissas* e *suposições*; 4. considerar os *pontos de vista* dos *stakeholders*; 5. basear-se em dados e informação validados por fontes confiáveis; 6. usar conceitos alternativos com precisão; 7. verificar *implicações* de inferências e interpretações. Eis o exemplo do *checklist*: 1. o engenheiro expressa o *propósito*: declarar o propósito, diferenciando-o de outros relacionados, e monitorar o progresso periodicamente. 2. o engenheiro busca resolver um *problema* específico: definir problema de forma precisa, representando-o de maneiras variadas para esclarecer seu escopo, e identificar se o problema requer raciocínio de mais hipóteses ou pontos de vista, e assim sucessivamente... para todos os elementos de raciocínio.

Aplicou-se a concepção do modelo com suas funcionalidades (Figura 1) ao *checklist* (Paul et al., 2006) para modelar o treinamento de IA, apresentado na Tabela 5. As ações do engenheiro estão descritas à esquerda e as da máquina à direita. Por exemplo, na primeira linha: o engenheiro define o problema e expressa o objetivo = tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de novos produtos. A máquina = checa permissão e infere intenção do engenheiro. Na segunda linha: o engenheiro expressa questionamentos = que tipo de material é mais adequado para os revestimentos superior e inferior do produto? A máquina = recebe/processa informação e apresenta desenho, lista de material.

Tabela 5

Modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro

Engenheiro	Máquina
Define o problema e expressa o objetivo: tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de novos produtos.	Checa permissão e infere intenção/ conhecimento do engenheiro.
Expressa questionamentos: que tipo de material é mais adequado para os revestimentos superior e inferior do produto?	Recebe/processa informação: apresenta desenho, lista de material.

(continua)

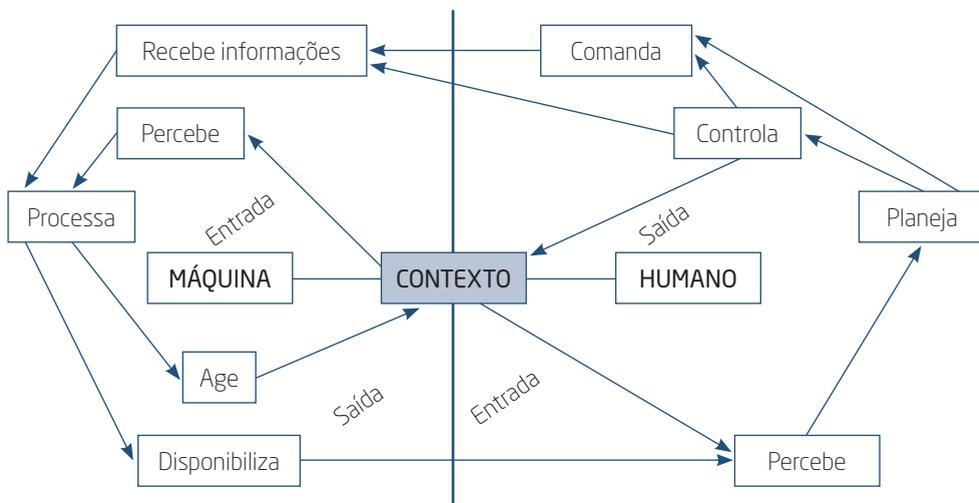
Tabela 5 (conclusão)**Modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro**

Engenheiro	Máquina
Fornece informações: faixa dos parâmetros de condutividade/elasticidade do material para os revestimentos superior e inferior do cilindro do produto.	Processa informação e oferece alternativas para tomada de decisão. Apresenta opções de tipo de material, sugerindo melhor opção. Apresenta vídeo com teste de desempenho, produto similar/respectivos fornecedores aguardando aprovação do engenheiro para implementação de ação.
Percebe comportamento da máquina. Percebe apresentação das informações. Monitora e requisita informações: simulação em ambiente de RV/protótipo 3D do produto para obter <i>insights</i> quanto à manipulação e ao desempenho do produto. Simulação de qualidade da montagem final do produto por meio de RA para inspecionar possíveis <i>gaps</i> .	Faz simulação. Gera protótipo 3D do produto. Adverte engenheiro quanto à forma correta de manusear o produto.
Checa inferências: custo de produção	Apresenta projeção holográfica da área de produção. Monitora movimentos de colega da produção/requisita colaboração
Decide	

Fonte: Elaborada pelos autores.

E assim sucessivamente até a última ação: “tomada de decisão”. O engenheiro aplica o raciocínio lógico e a análise crítica para treinar a máquina (aplicação de IA), que amplifica sua memória, busca e processa informação, realiza simulações, sugere ações e o apoia em tomadas de decisão.

A modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro (Tabela 5) foi integrada à adaptação do modelo de fluxo de informações da interação homem-máquina de Riley (1989) exposto na Figura 3.

Figura 3**Modelo de fluxo de informação da interação homem-máquina**

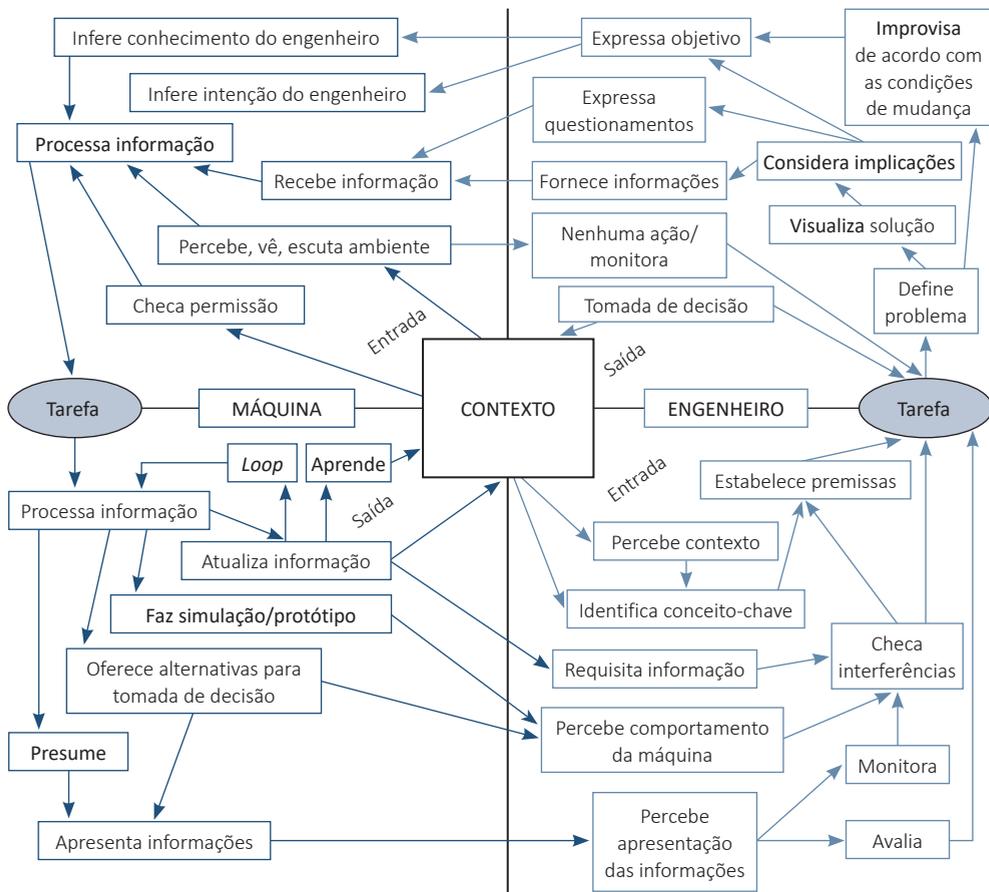
Fonte: Adaptada de Riley (1989).

Por fim, integrou-se a modelagem para treinamento de IA pelo engenheiro (Tabela 5) à adaptação do modelo de fluxo de informações interação homem-máquina de Riley (1989) exposto na Figura 3 para gerar o modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de IA (Figura 4).

O modelo de colaboração engenheiro-máquina abrange a máquina representada do lado esquerdo, o engenheiro representado do lado direito e o contexto no centro. Contexto, neste artigo, abrange as diversas interfaces inteligentes – reconhecimento de voz, gestos, expressão facial, linguagem corporal, rastreamento de olhar – utilizadas para interação engenheiro-máquina (aplicação de IA). Nos três *loops* – engenheiro-contexto; máquina-contexto e engenheiro-máquina –, ocorrem processamentos das informações referentes à colaboração entre os dois agentes, em que o contexto fornece informações à máquina e ao engenheiro; a máquina e o engenheiro fornecem informações ao contexto sob forma de ações, e há também um *loop* para troca de informações entre o engenheiro e a máquina. A máquina busca, processa informações e realiza simulações, enquanto o engenheiro aplica raciocínio lógico e análise crítica, e toma decisão.

Figura 4

Modelo de colaboração engenheiro-máquina com aplicação de IA



Fonte: Elaborada pelos autores.

A avaliação de evidências de competências comportamentais para a Indústria 4.0 a serem desenvolvidas nos cursos de Engenharia da UFRJ é apresentada na Tabela 6. As oito grandes categorias de competências (Tabela 1) do modelo de Prifti et al. (2017) são descritas na coluna 1; as informações relevantes extraídas das respostas das dirigentes estão na coluna 2; e a avaliação de qualidade de evidências das informações relevantes consta nas respectivas categorias da coluna 3.

Tabela 6

Qualidade de evidências das oito grandes categorias de competências

Oito grandes categorias de competências	Informações relevantes extraídas da entrevista com as dirigentes das escolas de engenharia da UFRJ (EQ/Poli)	Nível de qualidade de evidências
1. Suporte e cooperação	<i>As alianças têm sido com o Crea, o Clube de Engenharia e as empresas. O portfólio de alianças na universidade é feito através de projetos de pesquisa e da absorção de alunos pelas empresas parceiras, as quais veem na universidade a oportunidade de divulgar seus processos de vagas e requisitam os alunos para completar seus quadros.</i>	Confiança moderada na qualidade da evidência, mas há a possibilidade de a realidade ser diferente.
2. Interação e apresentação	<i>Um plano de ampliação de interação seria importante para mostrar o verdadeiro perfil de atuação dos alunos. Esta tarefa vem sendo planejada pela coordenação de estágios, e, após uma análise das empresas parceiras, será possível prospectar outras empresas.</i>	Confiança baixa na qualidade da evidência; a realidade talvez seja substancialmente diferente.
3. Análise e interpretação	<i>Em relação à Indústria 4.0/inteligência artificial na capacitação do engenheiro, esta envolve ações que implementem, nas disciplinas ministradas, computação científica e ferramentas que possam trazer esta expertise aos alunos. As ações deverão ser implementadas pelo corpo docente, desde que devidamente incorporadas no projeto pedagógico dos cursos e nas ementas das disciplinas que puderem usar tais artifícios.</i> <i>Muitas tarefas que o engenheiro exerce não são a essência do trabalho deste profissional, que é pensar sistemas, criar, propor soluções, identificar e analisar problemas, inovar, ou seja, tudo que uma máquina pode fazer não são funções de um engenheiro. Um engenheiro na sua educação continuada deve ter a meta de ser um maestro em que conduza uma orquestra de expertises, e todo regente virtuoso começa sendo especialista em um instrumento musical (habilitação em engenharia).</i>	Confiança moderada na qualidade da evidência, mas há a possibilidade de a realidade ser diferente.
4. Criatividade e conceituação	<i>A engenharia é, por sua natureza, multidisciplinar, foi esquartejada pelo excessivo método científico aplicado à área profissional, o método ótimo para pesquisa, mas péssimo para se fazer um projeto (design), é preciso voltar ao método de desenvolvimento de soluções de problemas, identificar os problemas, estudar os problemas, definir a demanda, elaborar a solução, dimensionar o projeto (design) e estudar sua viabilidade (agora multicritério sustentável) e detalhar sua execução. A reforma curricular está caminhando nessa direção.</i>	Confiança moderada na qualidade da evidência, mas há possibilidade de a realidade ser diferente.

(continua)

Tabela 6 (conclusão)**Qualidade de evidências das oito grandes categorias de competências**

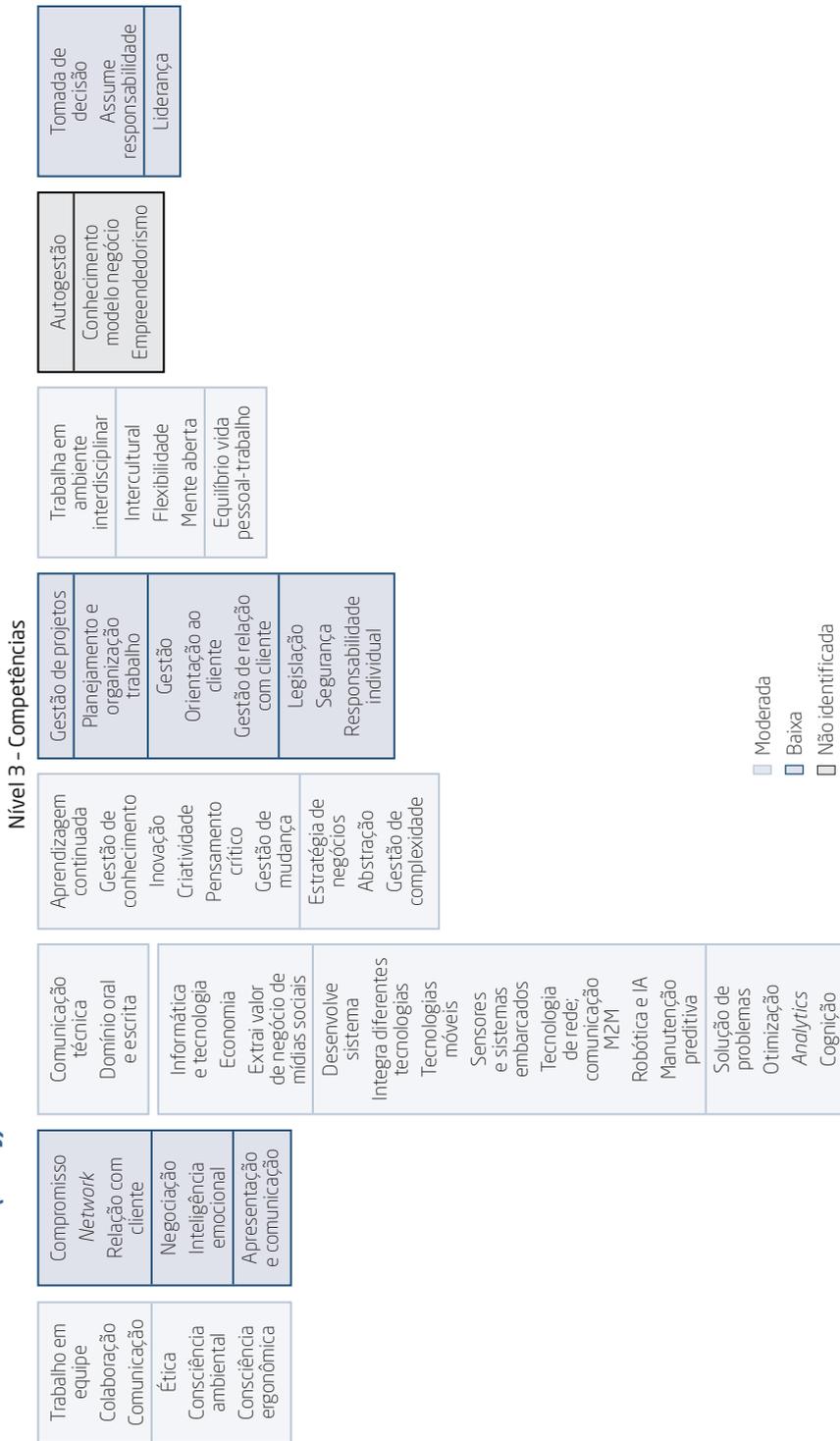
Oito grandes categorias de competências	Informações relevantes extraídas da entrevista com as dirigentes das escolas de engenharia da UFRJ (EQ/Poli)	Nível de qualidade de evidências
5. Organização e execução	<i>São muitas as metodologias que permitirão reformulação na forma de ensinar e formar de modo distinto estes profissionais, mantendo sempre a relação entre a prática e a teoria: metodologias ativas, projetos integradores, sala de aula invertida, uso de blogs, robótica, moodle, modelagem, vídeos, fóruns, resolução de problemas em grupo, oficinas.</i>	Confiança baixa na qualidade da evidência; a realidade talvez seja substancialmente diferente.
6. Adaptação e resiliência	<i>Os estudantes que abandonam o curso são aqueles que, por serem extremamente inteligentes, conseguem se sobressair, mesmo que em um curso que não foi sua primeira opção de escolha. Ao perceberem isso, evadem em busca de suas reais aptidões. Acredito que o principal meio de medir o sucesso de um aluno ao longo de um curso de Engenharia é a sua inserção no mercado, seja através de estágios ao longo do curso, ou mesmo sua absorção no mercado de trabalho após a conclusão do curso. Hoje cerca de 80% de nossos alunos realizam estágio em empresas, e, ao término do curso, 70% estão empregados e 10% realizando pós-graduação.</i> <i>Se construiu a tradição de analisar o Coeficiente de Rendimento Acadêmico, que na prática é valorizado mais pelos docentes e pelo mercado de trabalho, que avalia outras habilidades.</i>	Confiança moderada na qualidade da evidência, mas há a possibilidade de a realidade ser diferente.
7. Empreendedorismo e desempenho	Não há evidências.	
8. Liderança e decisão	<i>Quanto a encorajar o estudante a monitorar o próprio aprendizado/desempenho ao longo do curso, é complicado. Se não for um trabalho muito bem direcionado pedagogicamente e psicologicamente falando, pode gerar frustrações e até atrapalhar o processo. Um acompanhamento junto a um docente, acho que é o ideal, pois o aluno pode ter clareza de suas reais possibilidades, em função de seu momento de vida e necessidade atual.</i>	Confiança baixa na qualidade da evidência; a realidade talvez seja substancialmente diferente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Seguindo a estrutura do modelo de Prifti et al. (2017) (Tabela 2), essa avaliação do nível de qualidade de evidência realizada para o nível 1 foi dobrada até o nível 3. Neste estudo, foram extraídas somente as competências para a Indústria 4.0 referentes ao curso de Engenharia, como mostra a Figura 5.



Figura 5
Qualidade de evidências de competências comportamentais para a Indústria 4.0 na Escola de Química e na Escola Politécnica (UFRJ)



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados apontam que a maioria das competências comportamentais foram qualificadas com confiança *moderada* (azul claro). Há oportunidade para fortalecimento e diversificação de redes de relacionamento por meio de desenvolvimento de projetos academia-empresa. Assimilação e aplicação das tecnologias digitais podem escalar oportunidades para capacitação na solução de problemas complexos. Para isso, requer-se um redesenho curricular que treine aprendizagem continuada, colaboração com equipe multidisciplinar, criação de estratégias de negócios, flexibilidade, liderança, inovação, criatividade, domínio de comunicação oral e escrita para desenvolvimento, prototipação, testes e apresentação de soluções de valor para clientes e sociedade. O combate à evasão dos estudantes é ponto de atenção, pois, como apontado, o aluno pode apresentar elevado rendimento acadêmico e mesmo assim optar por abandonar o curso. Responder bem à pressão por resultados pode ser exercitado por meio de integração do estudante em times de projetos com foco em problemas reais. A reforma curricular apresenta oportunidades para isso e poderá potencializar resultados em curto prazo (um período letivo ou 120 dias) se recursos (conhecimento acumulado, talento e experiência docente), processos (governança, infraestrutura, laboratórios, pesquisa) e valores (aprendizagem do aluno como prioridade) forem devidamente mobilizados.

No que concerne às competências com confiança *baixa* (azul escuro), a ampliação de *network*, com o estabelecimento de parcerias entre o ambiente acadêmico e profissionais de empresas, pode propiciar oportunidades de aperfeiçoar habilidades de negociação comunicação oral/escrita e defender argumentos/pontos de vista de forma eficaz. Ser comprometido e organizado é um pré-requisito para fazer as coisas acontecerem com elevado padrão de qualidade. Para que o aluno seja protagonista do processo de aprendizagem, aprenda a dar direção e foco, lidere e assuma responsabilidade, é preciso muita prática. Para isso, o novo papel docente e o uso de novas metodologias para treinamento em situações reais em que o estudante irá vivenciar representam um grande desafio.

Não foram identificadas (cinza) evidências para “empreendedorismo, conhecimento de modelo de negócios e autogestão”. Para o desenvolvimento dessas competências, sugere-se a prospecção de parceiros externos complementares que possam apoiar na criação de estratégias para desenvolvimento dessas competências no médio prazo (dois períodos letivos ou 240 dias). Competências comportamentais com evidências de qualidade *elevada* não foram identificadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos maiores desafios que despontam com a Indústria 4.0 é a capacitação dos profissionais de engenharia para que possam atuar no ambiente de trabalho reconfigurado por esse novo paradigma. A qualificação do engenheiro deve ser abordada, primeiramente, nos cursos de graduação, a fim de preparar os alunos com as competências necessárias. Este artigo buscou responder à seguinte questão de pesquisa: “Como preparar profissionais e estudantes de engenharia para a Indústria 4.0?”.

Algumas limitações podem ser identificadas no processo subjetivo de avaliação da qualidade de evidências das competências comportamentais a partir das respostas das dirigentes das escolas de Engenharia. Ressalta-se, no entanto, que a abordagem GRADE fornece um *framework* robusto para a análise dos julgamentos.

Este estudo contribui para a pesquisa ao fornecer um ponto de partida para o aprofundamento das discussões e dos debates sobre o tema qualificação profissional de engenheiros em ambientes de trabalho inteligentes, com crescimento exponencial de dados não estruturados. Espera-se que este artigo possa contribuir para ampliar a conscientização dos educadores sobre a importância do desenvolvimento de currículos que enfatizem o domínio de competências comportamentais para a Indústria 4.0, para que os estudantes de Engenharia possam fazer a transição, com sucesso, da escola para a prática profissional, exercendo funções mais estratégicas.

Sugere-se para futuras pesquisas a ampliação do escopo da investigação de modo a abranger escolas de Engenharia de outros estados brasileiros. A realização de pesquisa de natureza quantitativa, comparando evidências de desenvolvimento de competências comportamentais para a Indústria 4.0 entre universidades federais e particulares, pode, também, contribuir para *insights* voltados a fóruns de qualificação e definição de funções a serem exercidas pelos engenheiros em ambientes inteligentes.

REFERÊNCIAS

Acatech (2016). Innovation potential of human-machine interaction. In acatech (Ed.), *Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion (acatech IMPULSE)*. Herbert Utz Verlag. https://en.acatech.de/publication/innovation-potential-of-human-machine-interaction/download-pdf/?lang=en_excerpt

- Accenture Federal Services (2018). *Process reimaged: Together, people and AI are reinventing business processes from the ground up*. https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-80/Accenture-Federal-Services-Process-Reimagined.pdf
- Aggarwal, C. C. (2018). *Neural networks and deep learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
- Bahceci, E. (2016). Discussion of human-computer interaction and its relevance to natural language procession in the context of IPAs.
- Balshem, H., Helfand, M., Schünemann, H. J., Oxman, A. D, Kunz, R., Brozek, J., Vist, G. E., Falck-Ytter, Y., Meerpohl, J., Norris, S., & Guyatt, G. H. (2011). GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *Journal of Clinical Epidemiology*, 64(4), 401–406. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.07.015>
- Bartram, D. (2012). The SHL Universal Competency Framework [White paper]. *The CEB Talent Measurement Solution*. <https://connectingcredentials.org/wp-content/uploads/2015/02/The-SHL-Universal-Competency-Framework.pdf>
- Brown, T. (2010). *Design Thinking: Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias*. Elsevier, Alta Books.
- Brühl, V. (2015). *Industrie 4.0 Wirtschaft des 21. Jahrhunderts: Herausforderungen in der Hightech-Ökonomie*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Creswell, J. W. (2007). *Projeto de pesquisa: Método qualitativo, quantitativo e misto*. Artmed.
- Dale, R. (2016). The return of the chatbots. *Natural Language Engineering*, 22(5), 811–817. <https://doi.org/10.1017/S1351324916000243>
- Dignum, V., & Dignum, F. (2020, May 9–13). Agents are dead. Long live agents! *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3398761.3398957>
- Edwards, L., & Veale, M. (2017). Slave to the algorithm? Why a “Rigth to an Explanation” is probably not the remedy you are looking for. *Duke Law and Technology Review*, 18–84. <https://scholarship.law.duke.edu/dltr/vol16/iss1/2>
- Ertel, W. (2017). *Introduction to artificial intelligence*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58487-4>
- Farooq, U., & Grudin, J. (2016). Human-computer integration. *Interactions*, 23(6), 26–32. <https://doi.org/10.1145/3001896>

- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2017). Shaping the digital transformation within companies – Examples and recommendations for action regarding basic and further training. https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/digital-transformation-training.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.
- Hecklau, F., Orth, R., Kidschun, F., & Kohl, H. (2017, December 11–12). Human resources management: Meta-study – Analysis of future competences in Industry 4.0. In M. Rich (Ed.), *Proceedings 13th European Conference on Management Leadership and Governance (ECMLG)* (pp. 163–174). Academic Conferences and Publishing International.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January 5–8). Design principles for Industry 4.0 Scenarios: A literature review. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Jurafsky, D., & Martin, J. (2020). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition* (3rd ed.). Prentice hall.
- Kleindauer, R., Berkovich, M., Gelvin, R., Leimeister, J. M., & Krcmar, H. (2012). Towards a competency model for requirements analysts 395 1.2. *Information System Journal*, 475–503.
- Lauer, T., Welsch, R., Abbas, S., & Henke, M. (2020). Behavioral analysis of human-machine interaction in the context of demand planning decisions. In T. Ahram (Eds.), *Advances in artificial intelligence, software and systems engineering* (pp. 130–141). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20454-9_13
- Lu, H.-P., & Weng, C.-I. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting & Social Change*, 133, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.005>
- Marra, R. M., Kim, S. M., Plumb, C., Hacker, D. J., & Bossaller, S. (2017). Beyond the technical: Developing lifelong learning and metacognition for the engineering workplace [Paper ID #17712]. *American Society for Engineering Education*.
- Miller, T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, 267, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>

- Organisation for Economic Cooperation and Development (2017). Computers and the future of skills demand. *Educational Research and Innovation*. <https://doi.org/10.1787/9789264284395-en>.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2018). The future of education and skills. *Education 2030*. <http://www.oecd.org/education/2030/oecd-education-2030-position-paper.pdf>.
- Paul, R., & Elder, L. (2002). *Critical thinking: Tools for taking charge of your professional and personal life*. Prentice-Hall.
- Paul, R., Niewoehner, R., & Elder, L. (2006). *The thinker's guide to engineering reasoning: Based on critical thinking concepts and tools*. Foundation for Critical Thinking.
- Pricewaterhouse Coopers-PwC. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*. <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf>
- Prifti, L. Knigge, M., Kienegger, H., Krcmar, H. (2017). A competency model for Industrie 4.0 employees. In J. M. Leimeister & W. Brenner (Hrsg.), *Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik* (pp. 46–60). St. Gallen. <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=wi2017>
- Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019 (2019). Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=112681-rces002-19&category_slug=abril-2019-pdf&Itemid=30192
- Riley, V. (1989). A general model of mixed-initiative human-machine system. *Proceeding of the Human Factors Society Annual Meeting*, 33(2), 124–128. <https://doi.org/10.1177/154193128903300227>
- Roth, A. (2016). Industrie 4.0 – Hype oder revolution? In A. Roth (Ed.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorehensmodell und Use Cases aus der Praxis* (pp. 1–15). Gabler Verlag.
- Sabella, R. (2018, October 2). What is a design-physical system? Ericson Blog. www.ericsson.com/en/blog/2019/12/design-physical-systems-technology-trend.
- Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers?: AI and the future of education*. Wiley.
- Senderek, R., & Geisler, K. (2015, September 1st). Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0. In S. Rahrhayer & H. Pongratz (Eds.), *Proceedings of DeLFI Workshops co-located with 13th e-Learning Conference of the German Computer Society* (pp. 36–46). <http://ceur-ws.org/Vol-1443/paper14.pdf>

- Sonntag, D. (2015). *Intelligent user interfaces will introduce you to the design and implementation of Intelligent User Interfaces (IUIs)*. German Research Centre for Artificial Intelligence (DFKI). dfki.de/~sonntag/courses/WS14/IUI.html
- Stone, P., Brooks, R., Brynjolfsson, E., Calo, R., Etzioni, O., Hager, G., Hirschberg, J., Kalyanakrishnan, S., Kamar, E., Kraus, S., Leyton-Brown, K., Parkes, D., Press, W., Saxenian, A., Shah, J., Tambe, M., & Teller, A. (2016). *Artificial intelligence and life in 2030: One hundred year study on artificial intelligence*. Stanford University. <http://ai100.stanford.edu/2016-report>
- Ullrich, C., Aust, M., Dietrich, M., Herbig, N., Igel, C., Kreggenfeld, N., Prinz, C., Raber, F., Schwantzer, S., & Sulzmann, F. (2016, September 11). APPSist Statusbericht: Realisierung einer Plattform für Assistenz- und Wissensdienste für die Industrie 4.0. In R. Zender (Hrsg.), *Proceedings of DeLFI Workshops 2016 co-located with 14th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2016)* (pp. 174–180). http://ceur-ws.org/Vol-1669/WS6_1_093_Paper.pdf
- Wang, W., & Siau, K. (2019). Artificial intelligence, machine learning, automation, robotics, future of work and future of humanity: A review and research agenda. *Journal of Database Management*, 30(1), 61–79. <https://doi.org/10.4018/JDM.2019010104>
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Goreck, D. (2015). Towards Industry 4.0 – Standardization as the crucial challenge for highly modular multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Zhuang, Y.-T., Wu, F., Chen, C., & Pan, Y.-H. (2017). Challenges and opportunities: From big data to knowledge in AI 2.0. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18, 3–14. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601883>

CORPO EDITORIAL

Editor-chefe
Gilberto Perez

Editor associado
Luis Pinochet

Suporte técnico
Gabriel Henrique Carille

PRODUÇÃO EDITORIAL

Coordenação editorial
Jéssica Dametta

Estagiária editorial
Victória Andrade Rocha

Preparação de originais
Carlos Villarruel

Revisão
Mônica de Aguiar Rocha

Diagramação
Emap

Projeto gráfico
Libro