

MARY ANNY MORAES SILVA LEMSTRA

Indústria 4.0 e o ensino de engenharia de produção: uma pesquisa com
professores brasileiros e com pesquisadores da indústria 4.0

São Paulo

2023

MARY ANNY MORAES SILVA LEMSTRA

Indústria 4.0 e o ensino de engenharia de produção: uma pesquisa com professores brasileiros e com pesquisadores da indústria 4.0

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 30 de outubro de 2023

Assinatura do autor: *Mary Anny M. S. Lemstra*

Assinatura do orientador: *Marcosquesito*

Catálogo na publicação

LEMSTRA, Mary Anny Moraes Silva

Indústria 4.0 e o ensino de engenharia de produção: uma pesquisa com professores brasileiros e com pesquisadores da indústria 4.0 / M. A. M. S. Lemstra. -- versão corr. -- São Paulo, 2023.

104 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Indústria 4.0 2. Digitalização 3. Competência Profissional 4. Ensino Superior 5. Engenharia de Produção I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

LEMSTRA, M. A. M. S. **Indústria 4.0 e o ensino de engenharia de produção**: uma pesquisa com professores brasileiros e com pesquisadores da indústria 4.0. 2023. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Aprovado em: 06/09/2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

Instituição: Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Marcel Andreotti Musetti

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Herlandí de Souza Andrade

Instituição: Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Dedico esta dissertação aos meus pais Elza e Francisco, meus grandes incentivadores e mentores na jornada da vida e ao meu esposo Jeroen, pelo completo suporte e compreensão durante todo esse processo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder sabedoria e discernimento durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Elza e Francisco, por sempre me encorajarem a alcançar os meus objetivos.

Ao meu esposo Jeroen, por sempre estar ao meu lado, oferecendo todo apoio e compreensão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita, pela excelente orientação proporcionada ao longo desses anos. Seus conhecimentos, paciência e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Mauro de Mesquita Spinola, minha profunda gratidão pela grande contribuição fornecida durante etapas muito importantes do meu mestrado.

Ao projeto “Aplicando a Quarta Revolução Industrial para os Cursos de Engenharia de Produção da USP: desafios de modernização curricular e oportunidades de integração entre departamentos, unidades e cursos”, coordenado pelo Prof. Dr. Mateus C. Gerolamo, onde desenvolvemos o questionário do *survey* com professores.

Por fim, aos professores e colegas que participaram diretamente ou indiretamente desta pesquisa.

RESUMO

LEMSTRA, M.A.M.S. **Indústria 4.0 e o ensino de engenharia de produção**: uma pesquisa com professores brasileiros e pesquisadores da indústria 4.0. 2023. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A indústria 4.0 representa a transformação digital da produção industrial em curso, sendo caracterizada pela intensa automação e digitalização dos processos de manufatura, logística e gestão, e que traz consigo novas tecnologias, como *Big Data Analytics*, Internet das Coisas, Computação em Nuvem e Manufatura Aditiva. Esta transformação muda a forma como as pessoas trabalham e como os processos são organizados, exigindo um novo perfil de engenheiro de produção. Para alcançar este novo perfil, as escolas de engenharia estão promovendo reformas nos currículos e nas práticas de ensino-aprendizagem. O objetivo desta dissertação é explorar quais são as competências necessárias para que os Engenheiros de Produção atuem em fábricas inteligentes e como incluir as tecnologias da indústria 4.0 nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia de Produção. Para isso, este trabalho apresenta dois *surveys*, um com professores brasileiros e outro com pesquisadores da indústria 4.0. O primeiro *survey* aborda como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção no Brasil. Um total de 95 professores responderam ao questionário, o que representa 17,9% do total de *e-mails* válidos. Os resultados mostram que, apesar de grande parte dessas tecnologias serem consideradas importantes na formação do novo engenheiro de produção, a maturidade do ensino dessas tecnologias é ainda, na maioria dos casos, muito baixa. Além disso, existem desafios relacionados a pessoas, equipamentos e instalações, que precisam ser superados para avançar. O segundo *survey*, direcionado aos pesquisadores, incluiu uma questão sobre as competências do engenheiro de produção para atuar nas fábricas inteligentes e excluiu a questão da maturidade do ensino das tecnologias 4.0 nos cursos. Um total de 70 pesquisadores responderam ao questionário, o que representa 11,1% do total de *e-mails* válidos. Na opinião dos respondentes, todas as competências apresentadas no *survey* são importantes para o engenheiro de produção. Tanto os professores como os pesquisadores validaram a lista de tecnologias habilitadoras apresentadas em ambos os *surveys*. Além disso, os desafios para a efetiva mudança dos cursos são semelhantes nos dois levantamentos. Com relação às estratégias de implantação, a maioria dos respondentes destacou a importância da parceria universidade-indústria. Os pesquisadores também destacaram que as práticas de aprendizagem ativa facilitam a inclusão da i4.0 nos cursos. Por último, assim como os professores, os pesquisadores consideram que as tecnologias da i4.0 devem ser incorporadas nos cursos de Engenharia de Produção. Pela análise dos resultados, observa-se que os dois grupos de respondentes apresentam uma visão comum sobre importância, desafios, estratégias e impactos das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.

Palavras-chave: indústria 4.0; transformação digital; competências 4.0; ensino de engenharia.

ABSTRACT

LEMSTRA, M.A.M.S. **Industry 4.0 and industrial engineering education**: a survey with brazilian professors and industry 4.0 researchers. 2023. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Industry 4.0 represents the ongoing digital transformation of industrial production, characterized by intense automation and digitalization of manufacturing process, logistics and management, which brings new technologies such as Big Data Analytics, Industrial Internet of Things, Cloud Computing, and Additive Manufacturing. This transformation changes the way people work and how processes are organized, demanding a new profile of industrial engineers. To achieve this new profile, engineering schools are promoting reforms in curricula and teaching-learning practices. The aim of this dissertation is to explore what skills are necessary for Industrial Engineers to work in smart factories and how to include industry 4.0 technologies in the curricula of graduate courses in Industrial Engineering. For this purpose, this work presents two surveys, one with Brazilian professors and the other one with industry 4.0 researchers. The first survey addresses how to include 4.0 technologies in Industrial Engineering courses in Brazil. A total of 95 professors responded to the survey, representing 17.9% of the total number of valid emails. The results show that, although most of these technologies are considered important in the training of new industrial engineers, the maturity of teaching these technologies is still, in most cases, very low. In addition, there are challenges related to people, equipments and facilities, that need to be overcome in order to move forward. The second survey, directed to researchers, included a question about the competencies of the industrial engineer to work in smart factories and excluded the question of the maturity of teaching 4.0 technologies in the courses. A total of 70 researchers responded to the questionnaire, representing 11.1% of the total number of valid e-mails. In the respondents' opinion, all competencies presented in the survey are important for the industrial engineer. Both professors and researchers validated the list of enabling technologies presented in both surveys. In addition, the challenges for effective course change are similar in both surveys. With regard to implementation strategies, most respondents highlighted the importance of university-industry partnerships. The researchers also highlighted that active learning practices facilitate the inclusion of i4.0 in courses. Finally, just like professors, researchers consider that i4.0 technologies should be incorporated into Industrial Engineering courses. By analyzing the results, it is observed that the two groups of respondents have a common view on the importance, challenges, strategies and impacts of i4.0 enabling technologies in Production Engineering courses.

Keywords: industry 4.0; digital transformation; competencies 4.0; engineering education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes do ensino 4.0.....	34
Figura 2 – Distribuição dos docentes por universidade.....	54
Figura 3 – Distribuição dos respondentes por área de atuação.....	55
Figura 4 – Opinião dos docentes sobre a lista de tecnologias habilitadoras.....	55
Figura 5 – Importância do ensino das tecnologias habilitadoras.....	57
Figura 6 – Prioridades de inclusão das tecnologias habilitadoras.....	58
Figura 7 – Grau de prioridade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras.....	58
Figura 8 – Maturidade do ensino das tecnologias habilitadoras.....	59
Figura 9 – Grau de maturidade médio do ensino das tecnologias habilitadoras.....	60
Figura 10 – Dificuldade de inclusão das tecnologias da i4.0.....	61
Figura 11 – Grau de dificuldade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras ...	61
Figura 12 – Desafios para inclusão das tecnologias da i4.0.....	62
Figura 13 – Grau de dificuldade dos desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras.....	62
Figura 14 – Estratégias para inclusão das tecnologias da i4.0.....	63
Figura 15 – Grau de adequação médio das estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras.....	64
Figura 16 – Impacto da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção.....	65
Figura 17 – Grau de impacto médio da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção.....	65
Figura 18 – Background dos pesquisadores.....	72
Figura 19 – Soft skills necessárias para o engenheiro de produção.....	74
Figura 20 – Grau de relevância médio das soft skills.....	74
Figura 21 – Hard skills necessárias para o engenheiro de produção.....	75
Figura 22 – Grau de relevância médio das hard skills.....	76
Figura 23 – Opinião dos pesquisadores sobre a lista de tecnologias habilitadoras ..	77
Figura 24 - Prioridades de inclusão das tecnologias habilitadoras.....	79
Figura 25 – Grau de prioridade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras.....	79
Figura 26 – Dificuldade de inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.....	81
Figura 27 – Grau de dificuldade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras ...	81

Figura 28 – Desafios para inclusão das tecnologias da i4.0	82
Figura 29 – Grau de dificuldade dos desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras	83
Figura 30 – Estratégias para inclusão das tecnologias da i4.0	84
Figura 31 – Grau de adequação médio das estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras	85
Figura 32 – Impacto das práticas de aprendizagem ativa	86
Figura 33 – Grau de impacto médio das práticas de aprendizagem ativa nos cursos de Engenharia de Produção.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Levantamento de artigos	33
Quadro 2 – Competências transversais (<i>soft skills</i>) para i4.0	39
Quadro 3 – Competências disciplinares (<i>hard skills</i>) para i4.0.....	40
Quadro 4 – Competências soft e hard escolhidas.....	41
Quadro 5 – Questionário do survey com professores	52
Quadro 6 – Questionário do survey com pesquisadores.....	69
Quadro 7 – Validação do survey com pesquisadores	70
Quadro 8 – Seleção dos respondentes.....	71
Quadro 9 – Resumo dos resultados dos surveys com professores e pesquisadores	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias que deveriam ser incluídas	56
Tabela 2 – Tecnologias que deveriam ser excluídas	56
Tabela 3 – Novos temas para inclusão ao campo da Engenharia de Produção	66
Tabela 4 – Principais linhas de pesquisa dos respondentes	73
Tabela 5 – Tecnologias que deveriam ser incluídas	77
Tabela 6 – Tecnologias que deveriam ser excluídas	78
Tabela 7 – Novas áreas que devem ser incluídas nos cursos de Engenharia de Produção.....	87

LISTA DE SIGLAS

AI – *Artificial Intelligence* – Inteligência Artificial
AM – *Additive Manufacturing* – Manufatura Aditiva
AR – *Augmented Reality* – Realidade Aumentada
BDA – *Big Data Analytics* – Análise de Big Data
BIM – *Building Information Modelling* – Modelagem da Informação da Construção
CBL – *Challenge-Based Learning* – Aprendizagem Baseada em Desafios
CPS – *Cyber-Physical System* – Sistema Ciberfísico
DT – *Digital Twin* – Gêmeo Digital
I4.0 – *Industry 4.0* – Indústria 4.0
I4TechLab – *Industry 4.0 Technologies Laboratory*
IBL – *Industry-Based Learning* – Aprendizagem Baseada na Indústria
IoT – *Internet of Things* – Internet das Coisas
IIoT – *Industrial Internet of Things* – Internet Industrial das Coisas
PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
UFF – Universidade Federal Fluminense
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UNESP – Universidade Estadual Paulista
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
UNIMEP – Universidade Metodista de Piracicaba
USP – Universidade de São Paulo
VR – *Virtual Reality* – Realidade Virtual
WoS – *Web of Science*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1.	Contexto	17
1.2.	Objetivos e questões de pesquisa	19
1.3.	Justificativa	20
1.4.	Estrutura do documento	21
2	REVISÃO TEÓRICA – INDÚSTRIA 4.0	23
2.1.	Conceitos da indústria 4.0	23
2.2.	Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0	25
2.2.1.	Análise de big data	25
2.2.2.	Manufatura aditiva	26
2.2.3.	Internet das coisas	26
2.2.4.	Realidade virtual e aumentada	27
2.2.5.	Robôs autônomos	28
2.2.6.	Integração horizontal e vertical de sistemas	28
2.2.7.	Simulação digital	29
2.2.8.	Computação em nuvem	30
2.2.9.	Segurança cibernética	30
2.2.10.	Inteligência artificial	31
3	REVISÃO TEÓRICA – ENSINO DE ENGENHARIA	32
3.1.	Levantamento de artigos	32
3.2.	Ensino 4.0	33
3.3.	Competências para a indústria 4.0	36
3.4.	Desafios relacionados ao currículo	41
3.5.	Reformulação dos cursos	43
3.5.1.	Inovação curricular	43

3.5.2.	Criação de fábricas de aprendizagem.....	45
3.5.3.	Modernização de laboratórios	47
3.5.4.	Parcerias universidade – empresa	47
3.5.5.	Atividades extracurriculares.....	48
3.6.	Impactos da transformação digital	49
4	MÉTODO E RESULTADOS 1 – SURVEY COM PROFESSORES	50
4.1.	Método de pesquisa.....	50
4.2.	Análise dos resultados	53
4.3.	Perfil do respondente	54
4.4.	Questão de pesquisa 2.1 – importância	55
4.5.	Questão de pesquisa 2.2 – maturidade	59
4.6.	Questão de pesquisa 2.3 – desafios.....	60
4.7.	Questão de pesquisa 2.4 – estratégias	63
4.8.	Questão de pesquisa 2.5 – impactos.....	64
5	MÉTODO E RESULTADOS 2 – SURVEY COM PESQUISADORES	68
5.1.	Método de pesquisa.....	68
5.2.	Análise dos resultados	72
5.3.	Perfil do respondente	72
5.4.	Questão de pesquisa 1.1 – competências	73
5.5.	Questão de pesquisa 1.2 – importância	76
5.6.	Questão de pesquisa 1.3 – desafios.....	80
5.7.	Questão de pesquisa 1.4 – estratégias	83
5.8.	Questão de pesquisa 1.5 – impactos.....	85
6	CONCLUSÃO	89
6.1.	Síntese e comparação dos resultados	89
6.2.	Limitações da pesquisa.....	92

6.3. Desdobramentos.....	92
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE – A – QUESTIONÁRIO: SURVEY COM PROFESSORES	99
APÊNDICE – B – E-MAIL CONVITE: SURVEY COM PROFESSORES.....	100
APÊNDICE – C – E-MAIL LEMBRETE: SURVEY COM PROFESSORES.....	101
APÊNDICE – D – QUESTIONÁRIO: SURVEY COM PESQUISADORES	102
APÊNDICE – E – E-MAIL CONVITE: SURVEY COM PESQUISADORES	103
APÊNDICE – F – E-MAIL LEMBRETE: SURVEY COM PESQUISADORES	104

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo inicia com uma contextualização sobre o tema de pesquisa desta dissertação. Em seguida, são apresentados os objetivos e as questões de pesquisa. Na seção seguinte, discute-se a relevância do trabalho. Por fim, apresenta-se a estrutura do trabalho.

1.1. Contexto

A Indústria 4.0 (i4.0) é a integração da tecnologia da informação com os avanços da gestão industrial para projetar e operar fábricas inteligentes, com processos de fabricação mais eficientes e sustentáveis, com maior personalização da produção (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

O termo foi utilizado pela primeira vez em 2011 para descrever uma iniciativa do governo alemão, que lançou um programa de inovação tecnológica, visando maior automação e digitalização da sua indústria. O objetivo do programa era alcançar um nível superior de produtividade e eficiência nas empresas de manufatura alemãs (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Depois disso, outros governos também apresentaram iniciativas semelhantes.

Em 2017, a Comissão Europeia publicou um levantamento de programas de governos europeus de fomento à i4.0. Esse levantamento mostrou que, naquele ano, 21 países já haviam divulgado suas iniciativas e cinco estavam planejando suas políticas (TASIGIORGOU, 2017).

A i4.0 aposta na intensificação da automação e digitalização dos processos de manufatura e gestão, onde as tecnologias são amplamente integradas para otimizar os processos. Ela está fundamentada em tecnologias digitais, tais como *Big Data*, Internet das Coisas (IoT), Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva (AM), entre outras (DAO et al., 2023).

A disseminação dessas tecnologias proporciona oportunidades de inovação nas práticas de produção e organização do trabalho (JERMAN; BACH; BERTONCELJ, 2018), demandando profissionais com novas competências, principalmente na área de engenharia, o que deve provocar mudanças no ensino de engenharia (RALPH et al., 2022; SOUZA; QUELHAS, 2020).

O conceito de competência tem sido usado em diversas áreas, com diferentes definições. Hecklau et al. (2016) definem competência como sendo o conjunto de habilidades, conhecimentos, atitudes e motivações que um indivíduo precisa para lidar eficazmente com as tarefas e desafios relacionados ao trabalho.

Coşkun, Kayikci e Gençay (2019) afirmam que a i4.0 requer profissionais especializados, principalmente engenheiros, gerando a necessidade de readequação do ensino superior. De acordo com Souza e Quelhas (2020), a Engenharia de Produção se apresenta como um dos cursos mais importantes na formação de profissionais para liderar a implantação da i4.0, visto que é um curso que integra tecnologia e gestão de processos.

No entanto, ainda há uma escassez de profissionais com as competências necessárias para promover a transformação digital da manufatura (JERMAN; BACH; BERTONCELJ, 2018; RALPH et al., 2022). Essa demanda tem estimulado educadores a questionarem quais são essas competências e como desenvolvê-las (MOTYL; FILIPPI, 2021). De acordo com Salah, Khan e Gjeldum (2020b), são necessárias pesquisas mais aprofundadas para identificar com maior precisão quais competências da i4.0 devem ser incorporadas nos currículos dos diferentes cursos.

Ao analisar a literatura de gestão de operações, identificam-se poucos artigos que abordam mudanças no ensino de engenharia. Alguns artigos analisam, com base em revisão de literatura, as competências esperadas dos profissionais da i4.0 e iniciativas de algumas escolas de engenharia para incluir essas competências em seus projetos pedagógicos (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ; GRANILLO-MACÍAS, 2020; HECKLAU et al., 2016; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; JERMAN; BACH; BERTONCELJ, 2018; LI, 2018; MOTYL; FILIPPI, 2021; NÚÑEZ; LANTADA, 2020; RAMIREZ-MENDOZA et al., 2018; ZHUANG; XU, 2018; BABIC et al., 2022; LÓPEZ et al., 2022; DAO et al., 2023).

Em outros estudos, a inclusão de conteúdos da i4.0 nos currículos de engenharia foi abordada por meio de *surveys* com professores, alunos e empresas (CHONG et al., 2018; BORDEL; ALCARRIA; ROBLES, 2019; ALABI et al., 2020; LEMSTRA; QUINAGLIA; MESQUITA, 2022; RALPH et al., 2022; MARTIN et al., 2019; PATTANAPAIROJ; NITISIRI; SETHANAN, 2021; SACKY; BESTER; ADAMS, 2017; CHAENGPROROMA; PATTANAPAIROJ, 2022; LUNA; CHONG; JURBURG, 2022; ELKOSANTINI et al., 2023).

Por fim, alguns autores apresentam também estudos de caso de inclusão de conteúdos da i4.0 nos currículos de engenharia (ARDASHKIN et al., 2019; BLOCK, 2018; BOTON; FORGUES; HALIN, 2018; CORDERO-GURIDI et al., 2022; COŞKUN; KAYIKCI; GENÇAY, 2019; GRODOTZKI; ORTELT; TEKKAYA, 2018; MIRANDA et al., 2021; PRIETO et al., 2019; RODIĆ-TRMČIĆ et al., 2017; SALAH et al., 2019; SALAH et al., 2020a; SALAH; KHAN; GJELDUM, 2020b; TERKOWSKY; FRYE; MAY, 2019; KONG et al., 2020; AHUETT-GARZA et al., 2022; MILIOU et al., 2022; YOSHINO et al., 2020; FUERTES et al., 2021; FUERTES et al., 2023; WANG et al., 2021).

1.2. Objetivos e questões de pesquisa

Este trabalho pretende contribuir com a discussão sobre a reformulação dos cursos de Engenharia de Produção para incorporar conceitos, métodos e tecnologias da indústria 4.0.

O objetivo desta dissertação é explorar quais são as competências necessárias para que os Engenheiros de Produção atuem em fábricas inteligentes e como incluir as tecnologias da i4.0 nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia de Produção. Esses objetivos serão buscados por meio de dois *surveys* estruturados.

O primeiro *survey* analisa a percepção dos professores de Engenharia de Produção das principais Instituições de Ensino Superior brasileiras sobre a inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de graduação, com relação a cinco dimensões: importância, maturidade, desafios, estratégias e impactos.

As informações obtidas contribuirão para uma compreensão aprofundada das percepções dos professores sobre a i4.0, fornecendo *insights* para aprimorar a integração dessas tecnologias nos programas de graduação em Engenharia de Produção e, por conseguinte, preparar melhor os estudantes para os desafios do mercado de trabalho contemporâneo.

O *survey* com pesquisadores (*survey 2*) visa analisar a opinião e experiências dos pesquisadores no campo da i4.0 com relação às competências necessárias para que os Engenheiros de Produção atuem eficazmente em fábricas inteligentes, bem como a inclusão das tecnologias da i4.0 nos currículos de Engenharia de Produção. As informações obtidas contribuirão para orientar futuras práticas educacionais e preparar os engenheiros de produção para os desafios do novo cenário da produção industrial.

O presente trabalho é orientado por duas questões gerais de pesquisa. A primeira questão geral refere-se às competências demandadas pela i4.0, que não foi tratada no primeiro levantamento (*survey 1*), tendo sido incluída apenas no *survey 2*. A segunda questão de pesquisa está relacionada ao ensino das tecnologias 4.0 e foi abordada nos dois levantamentos.

Questão Geral 1 – Quais são as novas competências do Engenheiro de Produção para atuar na Indústria 4.0?

Questão Geral 2 – Como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

Estas questões serão desdobradas em questões específicas nos capítulos 4 e 5, que apresentam os resultados dos *surveys 1* e *2*, respectivamente.

1.3. Justificativa

Conforme mencionado, a segunda questão geral de pesquisa refere-se à inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos. Apesar de muitos autores mencionarem quais são essas tecnologias habilitadoras da i4.0 (CHONG et al. 2018; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; RÜßMANN et al. 2015), poucos estudos relatam quais delas são mais importantes para os profissionais de engenharia e gestão de operações.

Além disso, somente alguns artigos mencionam quais são os desafios que as instituições enfrentam na implementação dessas tecnologias nos currículos e quais são as melhores estratégias para isso. Assim, os dois *surveys* realizados buscam preencher essa lacuna.

O *survey* com professores, trata apenas da inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos. Essas tecnologias estão diretamente ligadas com as competências técnicas (*hard skills*), que consistem em conhecer, aplicar e desenvolver tecnologias digitais para as fábricas inteligentes.

No segundo *survey*, foi incluída uma questão geral de pesquisa sobre o ensino baseado em competências. Essas competências, sejam elas gerais ou específicas da profissão, devem ser desenvolvidas inicialmente na graduação e, posteriormente, ao longo da trajetória profissional (educação continuada), para que o profissional possa atuar em diferentes ambientes e acompanhar a evolução do mercado de trabalho (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ; GRANILLO-MACÍAS, 2020).

Miranda et al. (2021) destacam que o conceito de ensino orientado ao desenvolvimento de competências deve ser usado como referência para o desenho de novos currículos. Essas competências, classificadas pelos autores como transversais (*soft skills*) e disciplinares (*hard skills*), definirão quais serão os conhecimentos, habilidades e valores que devem ser desenvolvidos nos cursos de engenharia.

Apesar de ser um conceito importante, atualmente, não existe um modelo compartilhado entre as universidades líderes para inclusão das competências da i4.0 nos cursos de engenharia, nem um consenso de quais são as competências mais importantes (TERKOWSKY; FRYE; MAY, 2019). Dessa forma, a primeira questão geral de pesquisa visa levantar a opinião de pesquisadores da i4.0 sobre quais são as novas competências desejadas para que os Engenheiros de Produção atuem na i4.0.

Outro ponto importante é como desenvolver essas competências. Analisando o movimento da transformação digital no ambiente educacional, surge a oportunidade de explorar o uso das tecnologias digitais como facilitadoras das práticas de aprendizagem ativa. No período da pandemia, houve um movimento no sentido da adoção massiva do ensino remoto. Essas experiências, planejadas e combinadas com técnicas presenciais podem contribuir bastante para a modernização dos cursos de engenharia.

Acredita-se que os dois levantamentos feitos para este trabalho podem trazer novas contribuições para a discussão sobre a i4.0 e o ensino de Engenharia de Produção, uma vez que os professores são os mediadores na construção das competências desses futuros profissionais. Já os pesquisadores interagem com diferentes públicos (alunos, professores, profissionais e empresários) e possuem uma visão diferenciada da questão.

Entende-se também, que os resultados do presente estudo serão do interesse de profissionais, pesquisadores e sobretudo de professores e coordenadores de cursos de Engenharia, por serem estes os agentes das mudanças necessárias nos programas de graduação.

1.4. Estrutura do documento

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. O capítulo 2 apresenta uma revisão de literatura sobre o tema Indústria 4.0. O capítulo seguinte traz uma revisão

de literatura sobre o Ensino de Engenharia. O capítulo 4 detalha o método de pesquisa e apresenta os resultados do *survey* com professores brasileiros. Já o capítulo 5 apresenta o método de pesquisa e os resultados do *survey* com pesquisadores da i4.0. Por fim, o capítulo 6 encerra o trabalho com as conclusões, incluindo uma discussão sobre suas contribuições, limitações e desdobramentos.

2 REVISÃO TEÓRICA – INDÚSTRIA 4.0

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão sobre a i4.0, buscando explicar os seus principais conceitos e tecnologias habilitadoras. Este capítulo é baseado nos artigos Lemstra, Quinaglia e Mesquita (2022) e Lemstra e Mesquita (2023), elaborados durante o desenvolvimento desta dissertação. Este capítulo está estruturado da seguinte forma: (i) conceitos da indústria 4.0; e (ii) tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

2.1. Conceitos da indústria 4.0

Conforme Lu (2017), a indústria 4.0 ou quarta revolução industrial é caracterizada por processos automatizados e digitalizados, que fazem uso intensivo das tecnologias de informação e automação. Ela pode ser entendida como uma revolução digital onde as tecnologias são amplamente integradas para otimizar os processos de produção (DAO et al., 2023). Mittal et al. (2018) destacam que o alto grau de digitalização é um dos principais fatores que diferencia a quarta revolução industrial da sua antecessora, sendo considerado pelos autores um dos seus princípios chave.

A i4.0, representa uma nova forma de organizar os recursos e processos industriais, tornando-os mais responsivos a um ambiente em constante mudança (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). Por isso, tornou-se rapidamente um dos temas de grande relevância nos meios acadêmico e profissional (LIAO et al., 2017) e, em particular, para os profissionais de engenharia e gestão de operações.

O uso de tecnologias digitais em diferentes áreas da empresa caracteriza a transformação digital na manufatura, onde fábricas tradicionais são transformadas em fábricas inteligentes. Além da manufatura, existem muitas aplicações em outros segmentos, como cidades inteligentes e serviços inteligentes (OSTERRIEDER; BUDDE; FRIEDLI, 2020; ROMERO et al., 2020).

A digitalização é responsável pelo surgimento das fábricas inteligentes, mais responsivas, flexíveis e auto-organizadas, que integram tecnologias e recursos de produção com sistemas de coleta de dados, comunicação, análise e decisão (DING, 2018; STROZZI et al., 2017).

A transformação digital abre uma nova perspectiva para a indústria, pois permite conectar diferentes tipos de dispositivos físicos, enriquecidos com eletrônica

embarcada, a uma rede local ou à internet, para que interajam durante processo de produção (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018).

Outro conceito fundamental para a i4.0 são os sistemas ciberfísicos (CPS, do inglês *cyber-physical system*). O CPS monitora os sistemas físicos a partir de cópias digitais, resultando em um processo decisório descentralizado e integrado (LU, 2017). Para este fim, o sistema ciberfísico coleta, transmite e analisa dados, além de se conectarem e comunicarem com outros sistemas (NAPOLEONE; MACCHI; POZZETTI, 2020), possibilitando a tomada de decisões de forma mais inteligente, tanto verticalmente quanto horizontalmente na cadeia de valor (DING, 2018).

Semelhante ao CPS, o Gêmeo Digital (DT, do inglês *Digital Twin*), tem um papel muito importante na i4.0. Um DT é uma cópia virtual ou réplica de um modelo físico. “O sistema físico e sua réplica estão diretamente interligados, de forma que haja uma retroalimentação entre eles, composta por informações dos elementos físicos (por exemplo, sensores) e de informações processadas ou avaliadas do DT para a parte física” (LÓPEZ et al., 2022, p. 3, tradução da autora¹).

De acordo com López et al. (2022), a principal característica do DT é estabelecer interações ou relacionamentos um-para-um, enquanto o CPS trabalha em relacionamento um-para-muitos ou muitos-para-muitos. Além disso, o CPS faz interações mais com a parte digital dos sistemas, enquanto o DT possui relacionamento e interage mais com os ativos físicos.

A integração homem-máquina e a interoperabilidade são outros dois importantes conceitos da i4.0 que resultam do uso intensivo de automação e tecnologias digitais (GALATI; BIGLIARDI, 2019; JERMAN; BACH; BERTONCELJ, 2018; LU, 2017; STROZZI et al., 2017; WAGIRE; RATHORE; JAIN, 2020). Lu (2017) caracteriza a i4.0 como um processo de manufatura integrado, otimizado, orientado a serviços e interoperável, que está associado a *big data analytics* e tecnologias avançadas de produção.

Sony e Naik (2020) caracterizam a i4.0 com cinco atributos principais: (i) digitalização, otimização e customização da produção; (ii) automação e adaptação;

¹ The physical system and its replica are directionally interconnected, so that there is a feedback between them composed of information from the physical elements (e.g., sensors), and from processed or evaluated information from the DT to the physical part.

(iii) interação homem-máquina; (iv) serviços e negócios de valor agregado; e (v) troca e comunicação automática de dados.

Em uma perspectiva mais ampla, as novas tecnologias da i4.0 permitem a criação de uma cadeia de valor digital, em que produtos, equipamentos e pessoas estão integrados no ambiente produtivo e com seus parceiros de negócios (GALATI; BIGLIARDI, 2019). Estas tecnologias proporcionam o desenvolvimento de novos modelos de negócios, impulsionados pelas necessidades dos clientes e requisitos de customização em massa (NOSALSKA et al., 2019).

Alguns autores tratam das questões de segurança digital, que se torna mais relevante com a intensificação do uso de tecnologia da informação e comunicação (TIC) (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018; LEZZI; LAZOI; CORALLO, 2018). Os estudos nessa área buscam caracterizar as vulnerabilidades dos sistemas e medidas de proteção contra os ataques cibernéticos (LEZZI; LAZOI; CORALLO, 2018).

Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018) destacam que, desde os primeiros passos da i4.0, as tecnologias habilitadoras são uma de suas principais características e, portanto, muitos esforços de pesquisas concentraram-se neste tópico, que é abordado a seguir.

2.2. Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0

O *Boston Consulting Group* definiu nove tecnologias consideradas pilares da i4.0: (i) Big Data Analytics, (ii) Manufatura Aditiva, (iii) Internet das Coisas, (iv) Realidade Virtual e Aumentada, (v) Robôs Autônomos, (vi) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas, (vii) Simulação Digital, (viii) Computação em Nuvem, e (ix) Segurança Cibernética (RÜßMANN et al. 2015).

Diversos autores consideram também a Inteligência Artificial como uma tecnologia habilitadora da i4.0 (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; LU et al., 2020; TAHIRU, 2021; ZHENG et al., 2018; ZHENG et al., 2020). Dessa forma, nesta dissertação, foram consideradas essas dez tecnologias citadas.

2.2.1. Análise de big data

Big data analytics (BDA) extrai informações do banco de dados das empresas

que sejam relevantes para a tomada de decisão em diferentes áreas da gestão (marketing, logística, produção, compras etc.). Cui, Kara e Chan (2020) explicam que a construção de uma plataforma BDA inclui nove componentes: (i) entrada de dados; (ii) armazenamento; (iii) cálculos; (iv) análises; (v) visualização; (vi) fluxo de trabalho e de dados; (vii) gerenciamento de dados; (viii) infraestrutura e modelo de implantação; e (ix) segurança cibernética.

Em relação à agenda de pesquisa, existem cinco direções promissoras: (i) modelagem e simulação, (ii) conectividade e interoperabilidade, (iii) *design* padronizado de plataforma de *big data*, (iv) análise de *big data* em tempo real e (v) segurança cibernética (CUI; KARA; CHAN, 2020).

2.2.2. Manufatura aditiva

Manufatura Aditiva (AM, do inglês *additive manufacturing*) ou impressão 3D é uma tecnologia para a construção de um objeto tridimensional a partir de um modelo digital, que é obtido por meio de processos aditivos, onde o objeto é criado pela deposição de sucessivas camadas de material (FLORÉN et al., 2020; FRANCO et al., 2020).

Franco et al. (2020) mostram que a redução da complexidade dos processos produtivos e a maior diversidade de produtos são efeitos comprovados da adoção da AM, enquanto a redução de estoques e maior agilidade são aspectos ainda não comprovados.

Florén et al. (2020) revisam como a AM afeta os modelos de negócios em termos de produção, distribuição, inovação e custos e discutem como as empresas estão reagindo a essa nova tecnologia. Os autores identificam que a adoção da AM está se tornando cada vez mais viável, inclusive com a possibilidade de sua utilização na produção em maior escala. No entanto, ainda faltam pesquisas que comprovem os ganhos na gestão de estoques e sua aplicabilidade em diferentes ambientes industriais.

2.2.3. Internet das coisas

Internet das Coisas (*IoT*, do inglês *internet of things*), é uma tecnologia que facilita a comunicação e a cooperação entre sistemas ciberfísicos (LÓPEZ et al.,

2022). Ainda, conforme López et al. (2022, p. 24, tradução da autora²):

IoT é uma tecnologia focada na conectividade de muitos dispositivos e aparelhos de computação. Muitas aplicações podem ser realizadas se os dispositivos puderem ser combinados ou integrados com inteligência artificial, modelos de aprendizado autônomo e várias técnicas de mineração de dados. Pode-se dizer que a IoT facilita a interação entre humanos e sistemas de computação.

A Internet Industrial das Coisas (IIoT, do inglês *industrial internet of things*) é a IoT com aplicações industriais e tem como função conectar agentes do chão de fábrica aos sistemas de planejamento e controle, de modo que os dados colhidos possam ser analisados e utilizados na tomada de decisão (LIAO; LOURES; DESCHAMPS, 2018). Os autores apontam o crescimento das pesquisas em IIoT na China e Estados Unidos e suas aplicações nas indústrias de alimentos, produtos eletrônicos e veículos.

2.2.4. Realidade virtual e aumentada

A Realidade Virtual (VR, do inglês *virtual reality*) é uma tecnologia que proporciona aos usuários várias sensações intuitivas, simulando mecanismos do mundo físico ou imaginário (GUO et al., 2020).

Por outro lado, a Realidade Aumentada (AR, do inglês *augmented reality*) é uma tecnologia que permite a interação entre o ser humano e a máquina e entre o ser humano e os sistemas inteligentes de manufatura por meio da sobreposição de elementos virtuais à visão da realidade (EGGER; MASOOD, 2020). VR e AR têm objetivos diferentes. Enquanto a VR leva o usuário a um novo ambiente criado pelo computador, a AR inclui projeções de conteúdo e informações complementares do mundo real.

Egger e Masood (2020) apresentam uma revisão da pesquisa sobre AR, que está mais avançada no campo da logística e concentrada na Europa e Ásia. A

² IoT is a technology that is focused on the connectivity of many computing devices and appliances. Many applications can be realized if the devices can be combined or integrated with AI, autonomous learning models and various data mining techniques. It can be said that IoT makes the interaction between humans and computing systems easier.

expectativa é que haja uma rápida difusão da AR devido ao crescente número de pesquisas em parcerias com empresas. No entanto, ainda existem desafios e limitações relacionados a *hardware* (capacidade de processamento) e *software* (usabilidade).

Em relação à VR, Guo et al. (2020) analisam sua aplicação na manutenção. Os autores mostram que a VR é uma ferramenta útil para otimizar os processos de manutenção, melhorar a eficiência e a segurança do processo e reduzir os custos operacionais. No entanto, como uma tecnologia emergente, a VR ainda apresenta desafios, como criar um design mais amigável e robusto.

2.2.5. Robôs autônomos

“Robôs autônomos são máquinas capazes de realizar uma tarefa com pouca ou nenhuma ajuda humana. Eles podem aprender sozinhos e tomar decisões, coletando e analisando grandes quantidades de dados” (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020, p. 790, tradução da autora³).

“Esses sistemas foram melhorando ao longo do tempo e, quando incorporados em linhas de produção, tornam-nas mais flexíveis e autônomas, permitindo uma estreita colaboração entre humanos e outros sistemas robóticos” (LÓPEZ et al., 2022, p.10, tradução da autora⁴).

Os robôs autônomos são essenciais para que as fábricas inteligentes alcancem o nível de flexibilidade desejada. Por meio da inteligência artificial, essa classe de robôs pode tomar decisões e executar tarefas de forma autônoma, sem intervenção do operador (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

2.2.6. Integração horizontal e vertical de sistemas

A Integração Horizontal e Vertical refere-se à integração de sistemas na i4.0. A integração horizontal consiste na integração de sistemas para troca de informações

³ Autonomous robots are machines able to perform a task with little or no human aid. They can learn by themselves and make decisions opportunely by collecting and analyzing Big Data quantities.

⁴ These systems have been improving over time and when incorporated into production lines they make them more flexible and more autonomous, allowing close collaboration between humans and other robotic systems.

entre empresas, sendo a base para uma colaboração estreita e de alto nível entre elas. Já a integração vertical é a base para a troca de informações e colaboração entre os diferentes níveis hierárquicos da empresa, através da digitalização de todos os processos (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

O principal benefício da integração Horizontal e Vertical, é dar autonomia a toda a rede do negócio (todos os departamentos da empresa, fornecedores e clientes), de forma que possam usufruir de todos os dados gerados, em tempo real, para otimizar processos, reduzir custos e produzir melhores produtos (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

Para que essa integração de sistemas ocorra, algumas tecnologias são necessárias. Entre elas IoT, redes de sensores sem fio, *big data*, serviços de computação em nuvem, sistemas embarcados e internet móvel (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

2.2.7. Simulação digital

Zheng et al. (2020, p.4, tradução da autora⁵) afirmam que a simulação é “uma tecnologia que espelha os dados do mundo físico, como máquinas, produtos e pessoas em um mundo virtual visando a simplificação e acessibilidade do design, implantação, teste e operação dos sistemas”. Ela é considerada como “uma das principais ferramentas utilizadas para estudar e avaliar o desempenho e a eficiência de um sistema, e para auxiliar na tomada de decisões humanas ou automatizadas” (LÓPEZ et al., 2022, p.25, tradução da autora⁶).

A simulação tem sido tradicionalmente usada na manufatura, principalmente na fase de projeto, economizando tempo e recursos. Devido aos muitos avanços das tecnologias, vem ganhando novas aplicações, que permitem simular de forma bastante realista novas configurações dos sistemas de produção, de processos ou serviços, com o objetivo principal de compreender suas configurações específicas

⁵ Technologies that mirror the physical world data such as machines, products and humans in a virtual world, aiming for simplification and affordability of the design, creation, testing and live operation of the systems.

⁶ Simulation is considered as one of the main tools used to study and evaluate the performance and efficiency of a system, and to assist humans and digital systems in decision making.

para melhoria de desempenho (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

2.2.8. Computação em nuvem

Computação em nuvem é uma arquitetura de sistemas que permite a alocação de recursos de computação em tempo real, com interação mínima com o provedor, maior compartilhamento de dados, redução das distâncias físicas, além de aumentar o poder computacional (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020).

Uma tendência observada por Hernandez-de-Menendez, Escobar Díaz e Morales-Menendez (2020) é o uso de plataformas em nuvem para realizar análises que utilizam um grande volume de dados e o compartilhamento de dados com diferentes parceiros de negócio.

Na manufatura, essa tecnologia integra os sistemas de informação já existentes na empresa com novas tecnologias como *IoT* e *Big Data*. A principal barreira ao uso está relacionada à questão de segurança de dados das empresas na plataforma. Outro ponto que merece atenção é a dificuldade de conexão em tempo real entre os agentes no chão de fábrica e os sistemas de gestão na nuvem (WAN et al. 2020).

2.2.9. Segurança cibernética

Para que os sistemas e processos funcionem de forma segura, as tecnologias de segurança digital também ganham um destaque na agenda de pesquisa no campo da *i4.0* (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). “A *i4.0* gera um intercâmbio constante de dados entre uma rede de empresas. Isso representa o desafio de garantir que os dados não serão roubados nem os sistemas manipulados” (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020, p. 792, tradução da autora⁷).

Segurança cibernética é um aspecto crítico para a *i4.0*, pois os sistemas (infraestrutura de comunicação e protocolos de rede, servidores de banco de dados, interfaces homem-máquina, controladores lógicos de programa, entre outros) se tornaram vulneráveis a ataques cibernéticos, que podem acarretar grandes perdas

⁷ I4 generates a constant interchange of data among a network of enterprises. This poses the challenge of making sure that the data is not going to be stolen or systems manipulated.

para os negócios (LEZZI; LAZOI; CORALLO, 2018). Quanto maior a digitalização dos processos corporativos, maior o impacto de eventuais ataques de *hackers*.

Dessa forma, as tecnologias de segurança cibernética têm por objetivo proteger os sistemas dessas ameaças através de contramedidas como o uso de *firewalls*, aplicação de várias camadas de defesa em toda a rede e no acesso remoto (LEZZI; LAZOI; CORALLO, 2018).

2.2.10. Inteligência artificial

A Inteligência Artificial (AI, do inglês *artificial intelligence*) é um campo da ciência que desenvolve algoritmos inteligentes que emulam raciocínio, aprendizagem, comunicação e percepção dos seres humanos, que permite controlar objetos físicos e auxilia o desenvolvimento de equipamentos inteligentes, que podem projetar, fabricar e controlar sistemas considerados inteligentes (DARKO et al., 2020).

A inteligência artificial processa uma grande quantidade de dados (*big data*) e, com base no processamento desses dados, faz associações, identifica diferenças e amplifica a capacidade de reconhecimento de padrões. Essas correlações, vínculos e inferências auxiliam os gestores na tomada de decisões (DARKO et al., 2020).

3 REVISÃO TEÓRICA – ENSINO DE ENGENHARIA

No capítulo anterior, realizou-se uma revisão sobre conceitos da indústria 4.0 e suas tecnologias. Para melhor responder as questões de pesquisa desta dissertação, a literatura relacionada aos seguintes tópicos é analisada neste capítulo: ensino 4.0, competências, desafios, estratégias e impactos da transformação digital no ensino de engenharia. O capítulo inicia-se com uma descrição do levantamento bibliográfico realizado.

3.1. Levantamento de artigos

Iniciou-se o levantamento com uma primeira pesquisa bibliográfica realizada em 04 de abril de 2023, no banco de dados da *Web of Science* (WoS), com as palavras-chave “*Industry 4.0*” e “*Engineering Education*”, considerando apenas artigos de revista acadêmica escritos em inglês.

Esta pesquisa inicial resultou em apenas 83 artigos. Foram analisados título, resumo e palavras-chave, resultando na seleção de 41 artigos. A seguir, excluindo um artigo indisponível, foi realizada a leitura da introdução e conclusão, e revisadas as figuras, tabelas e quadros desses artigos, sendo selecionados 30 artigos. Uma vez selecionados os artigos, realizou-se uma terceira leitura completa com anotações dos pontos principais de cada artigo. Nesta última etapa não ocorreu nenhuma exclusão de artigos.

Devido ao número reduzido de artigos encontrados na primeira pesquisa, foi realizada uma segunda busca no banco de dados da WoS em 26 de abril de 2023, utilizando apenas a palavra-chave “*Engineering Education*”. Novamente, a pesquisa foi limitada ao idioma inglês e documentos do tipo artigos, artigos de revisão e congresso. A pesquisa resultou em 1012 artigos. Foram selecionados os artigos com uma ou mais citações por ano, resultando em 212 artigos.

Após a comparação de ambas as amostras e exclusão dos artigos que já estavam na primeira base (artigos duplicados), foi realizado o mesmo processo da primeira busca. A primeira etapa de leitura resultou em apenas 38 artigos, uma vez que a maior parte deles eram relacionados a metodologias ativas de aprendizagem, que não é o escopo deste trabalho. Na segunda etapa, a amostra foi reduzida para 13 artigos. Uma vez selecionados os 13 artigos, foi realizada uma terceira leitura com anotações dos pontos principais de cada artigo. Nesta última etapa não ocorreu

nenhuma exclusão de artigos. Um resumo desses passos é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Levantamento de artigos

1. Base de Dados:		Web of Science (WoS)	
2. Critérios de Pesquisa		Primeira Busca	Segunda Busca
2.1 Documento:		Pesquisa o título, resumo, as palavras-chave do autor e o <i>Keywords Plus</i>	Pesquisa o título, resumo, as palavras-chave do autor e o <i>Keywords Plus</i>
2.2 Palavras-chave:		"Industry 4.0" e "Engineering Education"	"Engineering Education"
2.3 Ano:		Todos	2013 a 2023
2.4 Idioma:		Inglês	Inglês
2.5 Categoria(s) da WoS:		Todas	Engenharia de Produção e Engenharia de Manufatura
2.5 Tipo(s) de documento:		Artigo ou Artigo de Revisão	Artigo ou Artigo de Revisão ou Artigo de Conferência
2.6 Data da pesquisa:		04 de abril 2023	26 de abril de 2023
3. Seleção			
	Palavras-chave:	191	18.210
	E Ano de Publicação:	191	10.456
	E Idioma:	188	10.252
	E Categoria(s) da WoS:	188	7.134
	E Tipo(s) de documento:	83	1012
	Artigos selecionados para análise:	83	Artigos ≥ 1 citação / ano = 212 artigos
	Total após a eliminação de registros duplicados		272
4. Critérios de Exclusão			
	4.1 O artigo não aborda questões da i4.0 e ensino engenharia (escopo)		
5. Seleção			
	5.1 Após a primeira leitura (título, resumo e palavras-chave)	75	
	5.2 Após a segunda leitura (introdução, conclusão, figuras, tabelas e quadros)	43	
6. Análise			
	5.3 Análise de conteúdo (leitura completa do artigo)		

Fonte: Autora.

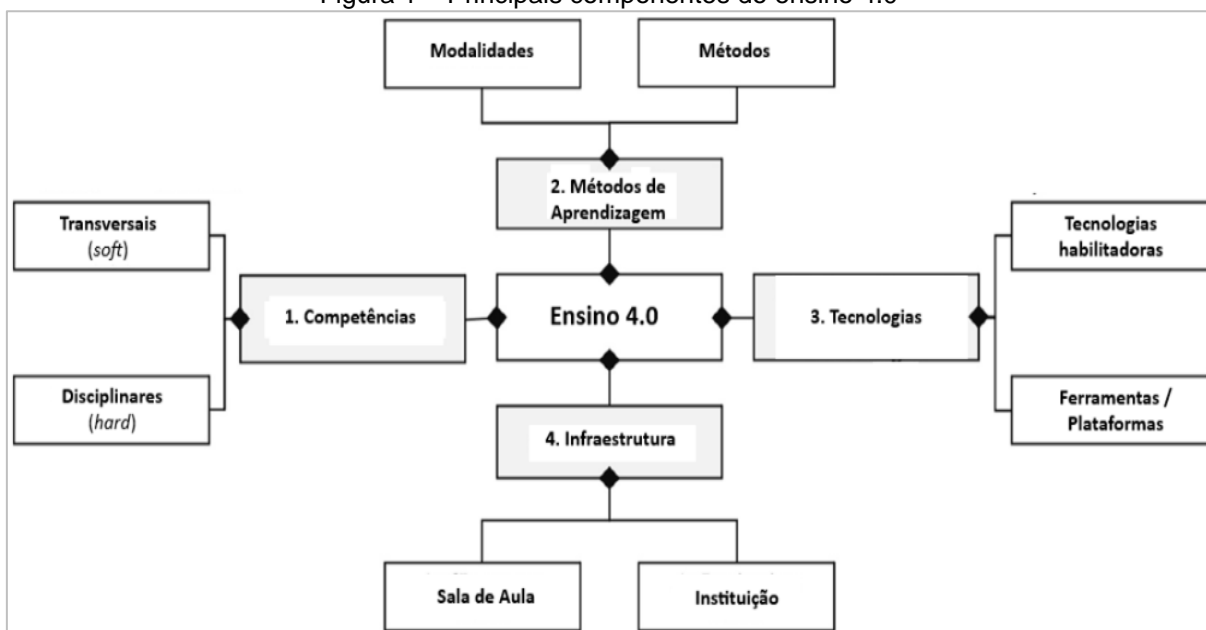
Este levantamento mostra que, embora cada tema isoladamente tenha uma grande quantidade de publicações, os trabalhos que tratam dos dois temas, ou seja, da renovação da pedagogia dos cursos para atender à demanda da i4.0, ainda são escassos.

3.2. Ensino 4.0

Atualmente, com a transformação digital em curso, o ensino também precisa passar por uma transformação em direção ao que vem sendo chamado de ensino 4.0. Nesta abordagem, a educação é mais personalizada, combina recursos físicos e virtuais para ensinar e aprender, utiliza estratégias pedagógicas inovadoras, além do professor ter um papel de mentor e o aluno um papel mais ativo (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

De acordo com a Figura 1, o ensino 4.0 é caracterizado por quatro componentes principais: (i) competências, (ii) métodos de aprendizagem (iii) tecnologias e (iv) infraestrutura (MIRANDA et al., 2021). A seguir são apresentados cada um desses componentes, ainda que nesta dissertação haja um aprofundamento na discussão de apenas dois deles: competências e tecnologias.

Figura 1 – Principais componentes do ensino 4.0



Fonte: Adaptado pela autora, baseado em Miranda et al. (2021, p. 3)

No que diz respeito a competências, a i4.0 trouxe o questionamento de como preparar os atuais e futuros profissionais para desempenhar novas funções, com um conjunto de competências e requisitos renovados (LUNA; CHONG; JURBURG, 2022). Além disso, Elkosantini et al. (2023) destacam que o perfil de competências dos recém-formados que entram no mercado de trabalho ainda possui limitações em relação ao que é demandado pela i4.0.

De acordo com López et al. (2022), a i4.0 demanda engenheiros capazes de realizar atividades mais complexas, pois robôs com inteligência substituirão operadores e engenheiros em diversas atividades industriais mais simples. Assim, a formação desses profissionais deve ser orientada para adquirir conhecimentos e melhorar as habilidades em tarefas e atividades que não podem ser executados por robôs. O tópico competências será mais aprofundado na seção 3.3.

O segundo componente, métodos de aprendizagem, pode ser dividido em duas partes: modalidades de entrega do ensino (presencial, à distância, híbrido, entre outras) e métodos de aprendizagem. Os métodos de aprendizagem ativa envolvem princípios, estratégias, estilos e procedimentos pedagógicos para o ensino-aprendizagem (MIRANDA et al., 2021).

Conforme já mencionado, este estudo não trata diretamente desse segundo componente, porém temos uma questão no *survey* com pesquisadores que busca medir o impacto de 6 importantes métodos de aprendizagem ativa no ensino da Engenharia de Produção. São eles:

- a) sala de aula invertida: ao invés das aulas expositivas serem dentro da sala de aula e os exercícios e resolução de problemas fora da sala de aula, ocorre ao contrário (YOSHINO et al., 2020);
- b) aprendizagem baseada em problemas: os alunos trabalham em pequenos grupos colaborativos dirigidos por um facilitador. Tais problemas impulsionam o processo de aprendizado, desperta o interesse dos alunos em aprender a trabalhar com os problemas, a identificar e pesquisar os conceitos e princípios de que precisam saber (MILIOU et al., 2022);
- c) aprendizagem baseada em projetos: os alunos devem resolver de maneira autônoma, problemas técnicos semelhantes aos enfrentados em sua vida profissional (YOSHINO et al., 2020);
- d) estudos de caso: exploram o conhecimento prático e as experiências do mundo real com as quais o aluno pode se relacionar e aprender (MANOHAR et al. 2015);
- e) aprendizagem baseada em equipe: baseada na interação de pequenos grupos para promover a aprendizagem profunda. Requer aprendizado dentro e fora da sala de aula (YEUNG et al. 2023);

- f) aprendizagem híbrida: combina aulas *on-line* com métodos tradicionais de sala de aula presencial (MIRANDA et al., 2021);
- g) gamificação: faz uso do aspecto lúdico para motivar os alunos a participarem das atividades (LEMSTRA; QUINAGLIA, MESQUITA, 2022). De acordo com Fuertes et al. (2023) a gamificação tem sido proposta para contextos acadêmicos e industriais, pois fornece conteúdos interativos, representação visual de conceitos, economia de tempo e o aumento da motivação.

Com relação às tecnologias da i4.0, apesar de serem comumente tratadas como ferramentas de suporte ao ensino 4.0, o objetivo nesta dissertação não é abordá-las dessa forma, mas analisar o ensino dessas tecnologias como um meio para qualificar profissionais para atuar nas fábricas inteligentes.

Elkosantini et al. (2023) destacam que a i4.0 trouxe um conjunto de novas tecnologias e práticas que estão substituindo as formas tradicionais de trabalho e de criação de valor. Como consequência, muitas empresas estão enfrentando dificuldades para encontrar mão de obra qualificada para atuar no ambiente da i4.0.

Diante disso, as universidades têm um papel essencial a desempenhar para que os alunos desenvolvam a capacidade de utilizar essas tecnologias. Fuertes et al. (2021) afirmam que as escolas de engenharia precisam adaptar os atuais projetos pedagógicos e currículos, além de desenvolver ambientes que facilitem o uso das novas tecnologias introduzidas na indústria.

Por último, o componente infraestrutura serve como suporte ao ensino 4.0 e pode ser virtual e/ou físico. A instituição e a sala de aula devem ser equipadas adequadamente, com móveis inovadores, recursos tecnológicos como realidade virtual e aumentada, laboratórios de modelagem e simulação, fábricas de aprendizagem entre outros (MIRANDA et al., 2021). A infraestrutura pode servir como estratégia para o ensino das tecnologias da i4.0, conforme será analisado nas seções 3.4 e 3.5 desta dissertação.

3.3. Competências para a indústria 4.0

A primeira questão geral de pesquisa tem como objetivo analisar quais são as novas competências necessárias para o Engenheiro de Produção atuar na i4.0. Existem trabalhos que apresentam, de maneira estruturada, como os estudantes

desenvolvem suas competências nos cursos superiores. Uma das mais conhecidas é a Taxonomia de Bloom, originalmente proposta em 1956, que relaciona objetivos de aprendizagem com habilidades cognitivas específicas, desde o conhecimento básico, que é lembrar, até o nível mais alto de criação (WENDE et al., 2020).

Posteriormente, Anderson et al. (2001) revisaram a Taxonomia de Bloom, e apresentaram os processos cognitivos em uma escala crescente de complexidade, utilizando os verbos: (i) lembrar; (ii) compreender; (iii) aplicar; (iv) analisar; (v) avaliar; e (vi) criar. Neste trabalho, foram utilizados verbos equivalentes aos da Taxonomia de Bloom revisada, para expressar as novas competências identificadas nos artigos analisados.

Elkosantini et al. (2023) declaram que o desenvolvimento sistemático de competências da i4.0 pode ser considerado como uma grande oportunidade para fortalecer a competitividade industrial. Contudo, conforme pontuado por Terkowsky, Frye e May (2019), atualmente, não existe um modelo compartilhado entre as universidades líderes para inclusão das competências para i4.0 nos cursos de engenharia. Alguns estudos, no entanto, fornecem pistas sobre as competências desejadas. Eles se baseiam principalmente em *surveys* com acadêmicos e profissionais das empresas.

Salah et al. (2020a), afirmam que as tecnologias habilitadoras da i4.0, apresentadas na seção 2.2 deste trabalho, devem ser consideradas na reformulação dos programas de engenharia. A partir de uma revisão de literatura, Ramirez-Mendoza et al. (2018) propõem um novo currículo para o que denominam ensino de engenharia 4.0. Esse currículo contempla disciplinas de modelagem e simulação, manufatura aditiva, sistemas ciberfísicos, conceitos de robótica, gêmeos digitais, computação em nuvem, *big data* e conceitos de segurança digital.

Miranda et al. (2021) destacam que o desenho de novos currículos deve ser baseado em competências. Os autores dividem essas competências em transversais (*soft skills*) e disciplinares (*hard skills*). Miliou et al. (2022) acrescentam que, com os avanços tecnológicos, desafios técnicos globais e um ambiente de trabalho dinâmico, os profissionais de engenharia precisam ter uma combinação de competências técnicas e socioemocionais, ou seja, *hard* e *soft skills*.

González-Hernández e Granillo-Macías (2020), realizaram uma revisão de literatura para identificar quais são as principais competências que um engenheiro

industrial deve ter. Posteriormente realizaram uma análise curricular do curso de engenharia industrial da *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México, e compararam com os resultados encontrados na literatura. Hernandez-de-Menendez, Escobar Díaz e Morales-Menendez, (2020) analisaram a literatura para definição das competências para trabalhar nas fábricas do futuro.

Jerman, Bach e Bertoncej (2018) também revisaram estudos que discutem as competências necessárias para atuar nas fábricas inteligentes. Os autores classificaram essas competências em técnicas, metodológicas, sociais e pessoais, conforme sugerido por Hecklau et al. (2016). Os autores concluem que os estudos revisados fornecem dados importantes tanto para as áreas de gestão de pessoas nas empresas, quanto para instituições de ensino superior interessadas em atualizar seus currículos.

Miranda et al. (2021) relatam um estudo de caso de uma parceria entre a Universidade Tecnológica de Monterrey e empresas mexicanas. Nessa parceria, os alunos analisaram alternativas para solucionar problemas de mobilidade em áreas de tráfego intenso na Cidade do México. Para isso, utilizaram técnicas de *big data* e simulação. Uma avaliação ao final do projeto mostrou que os alunos desenvolveram algumas *soft skills* (pensamento crítico, colaboração, comunicação, criatividade e inovação) e *hard skills* (análise de dados e gerenciamento de projetos).

López et al. (2022) pontuam que, para implantar o ensino orientado ao desenvolvimento de competências nas instituições de ensino, o ponto de partida deve ser contrastar o perfil do egresso dos projetos pedagógicos atuais com as expectativas das empresas nacionais e internacionais, encontrar semelhanças e diferenças, analisar e propor um novo projeto pedagógico. Essa prática pode ser observada em três artigos, analisados no tópico de inovação curricular, seção 3.5.1 desta dissertação (PATTANAPAIROJ; NITISIRI; SETHANAN, 2021; CHAENGPROMMA; PATTANAPAIROJ, 2022; ELKOSANTINI et al., 2023).

Com base nessa tendência de ensino baseado em competências, apontado por alguns autores, apresentamos uma relação das *soft* e *hard skills* identificadas nos artigos analisados. De um total de 43 artigos, 7 artigos abordam especificamente o tema competências. Após análise desses artigos, elaboramos duas tabelas, onde listamos 40 competências transversais (*soft*) e 31 competências disciplinares (*hard*).

Conforme destacado, foram utilizados verbos equivalentes ao da Taxonomia de Bloom revisada para padronizar e apresentar essas competências (Quadros 2 e 3).

As competências transversais (Quadro 2), incluem conhecimentos e habilidades comportamentais que estão relacionados ao pensamento crítico, cooperação, colaboração, comunicação, criatividade e inovação (MIRANDA et al., 2021).

Quadro 2 – Competências transversais (*soft skills*) para i4.0

#	O estudante deve ser capaz de:	Hecklau et al. (2016)	Jerman, Bach e Bertoneij (2018)	Ramirez-Mendoza et al. (2018)	Terkowsky, Frye e May (2019)	González-Hernández e Granillo-Macias	Miranda et al. (2021)	Elkosantini et al. (2023)
1	Adaptar-se a diferentes situações		x	x				
2	Demonstrar flexibilidade	x	x	x				
3	Demonstrar autodeterminação e organização				x	x		
4	Planejar e organizar o trabalho					x		
5	Trabalhar em equipe	x	x					
6	Trabalhar em situações estressantes	x	x					
7	Demonstrar tolerância à ambiguidade	x						
8	Auto avaliar seus conhecimentos e experiências				x			
9	Comprometer-se com a educação continuada	x	x		x			
10	Demonstrar comprometimento e cooperação	x		x	x		x	
11	Comunicar-se de forma eficaz	x	x		x		x	
12	Comunicar-se em diferentes idiomas	x	x					
13	Criar e inovar	x	x		x	x	x	
14	Demonstrar habilidades de pesquisa	x	x			x		
15	Demonstrar capacidade de dar sentido às coisas			x				
16	Demonstrar habilidades analíticas	x	x					x
17	Diferenciar informações essenciais das menos críticas		x					
18	Demonstrar pensamento crítico					x	x	x
19	Demonstrar habilidade de design thinking			x				
20	Demonstrar comprometimento com a eficiência	x						
21	Conhecer práticas de conformidade (compliance)	x						
22	Demonstrar habilidades com tecnologias da informação			x				x
23	Aprender a lidar com novas mídias			x				x
24	Demonstrar inteligência emocional					x		
25	Demonstrar inteligência social			x				
26	Demonstrar responsabilidade social		x					
27	Demonstrar mentalidade de sustentabilidade	x						x
28	Demonstrar visão sistêmica		x					x
29	Aplicar abordagens transdisciplinares			x				
30	Interagir em ambientes interdisciplinares de trabalho					x		
31	Gerenciar redes de relacionamentos (<i>networks</i>)	x	x					
32	Demonstrar habilidades de relacionamento intercultural	x			x			
33	Demonstrar pensamento empreendedor	x						
34	Liderar	x	x		x	x		
35	Gerenciar a própria carga de trabalho			x				
36	Resolver problemas complexos	x	x			x		x
37	Resolver conflitos	x	x					x
38	Transferir conhecimento	x	x					
39	Usar conhecimentos e experiências próprios				x			
40	Mediar processos de tomada de decisão	x	x			x		x

Fonte: Autora.

As competências disciplinares (Quadro 3) estão associadas aos conhecimentos técnicos e habilidades orientadas para execução de atividades específicas (MIRANDA et al., 2021).

Quadro 3 – Competências disciplinares (*hard skills*) para i4.0

#	O estudante deve ser capaz de:	Hecklau et al. (2016)	Jerman, Bach e Bertoneij (2018)	Ramirez-Mendoza et al. (2018)	Terkowsky, Frye e May (2019)	González-Hernández e Granillo-Macias (2020)	Miranda et al. (2021)	Elkosantini et al. (2023)
1	Demonstrar habilidades técnicas	x	x					
2	Aplicar métodos científicos			x				
3	Aplicar métodos estatísticos			x	x			
4	Aplicar ferramentas para decisão				x			
5	Compreender <i>big data</i>				x	x		x
6	Programar dispositivos	x	x	x				
7	Projetar interação homem-máquina				x			x
8	Integrar sistemas					x		x
9	Projetar processos				x			x
10	Simular processos					x		
11	Implantar processos de inovação				x			x
12	Gerenciar processos	x	x		x			x
13	Compreender manufatura avançada			x				
14	Compreender manufatura aditiva					x		x
15	Compreender internet das coisas					x		
16	Compreender gêmeos digitais				x			
17	Compreender sistemas ciberfísicos					x		
18	Compreender <i>blockchain</i>					x		
19	Compreender computação em nuvem					x		
20	Compreender segurança cibernética	x	x			x		
21	Compreender automação e controle industriais			x				x
22	Compreender robótica					x		
23	Compreender interação máquina-máquina					x		x
24	Compreender inteligência artificial					x		
25	Compreender realidade virtual e aumentada					x		
26	Analisar tecnologias da i4.0		x	x	x		x	x
27	Analisar mídias inteligentes	x						x
28	Analisar questões legais				x			
29	Resolver problemas de negócios			x				
30	Resolver problemas gerenciais			x				x
31	Resolver problemas de produção			x				x

Fonte: Autora.

As competências apresentadas pelos autores são diversas. No entanto, existem alguns pontos em comum, principalmente relacionadas à capacidade de trabalhar com dados, novas tecnologias e pessoas. A partir dos Quadros 2 e 3, foi feita a análise, síntese e padronização das competências, chegando ao número de doze *soft* e doze *hard skills*, com base nas competências mais citadas (Quadro 4). Essas competências relacionadas no Quadro 4 serão utilizadas para o questionário do segundo *survey*.

Quadro 4 – Competências *soft* e *hard* escolhidas

#	Competências Transversais (<i>Soft</i>)	Competências Disciplinares (<i>Hard</i>)
1	Trabalhar em equipe	Analisar dados
2	Comunicar-se	Programar dispositivos
3	Liderar	Criar algoritmos
4	Resolver problemas	Simular sistemas
5	Empreender	Compreender tecnologias digitais
6	Lidar com a diversidade profissional e cultural	Compreender tecnologias de produção
7	Demonstrar autonomia	Conhecer ciências de materiais
8	Demonstrar visão crítica	Projetar produtos
9	Demonstrar visão sistêmica	Projetar fábricas
10	Demonstrar visão econômica	Gerenciar processos
11	Demonstrar visão social	Gerenciar projetos
12	Demonstrar visão ambiental	Gerenciar negócios

Fonte: Autora.

3.4. Desafios relacionados ao currículo

Uma das questões específicas presente nos dois levantamentos analisa quais são os desafios para a inclusão de tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. Poucos trabalhos acadêmicos exploram esta questão.

Fuertes et al. (2021) afirmam que, embora tenha havido esforços para adaptar a educação para os requisitos da i4.0, ainda é um desafio introduzir novas tecnologias nos cursos, porque os recursos disponíveis são muitas vezes obsoletos ou limitados, dificultando o entendimento sobre como cada tecnologia interage com os sistemas em questão.

Ardashkin et al. (2019) destacam que muitas universidades russas já estão abordando ativamente conceitos da i4.0 e estão explorando as possibilidades de aplicação. No entanto, durante o processo de implantação, surgem barreiras de natureza administrativa, financeira, científica, tecnológica, social, entre outras.

Outra pesquisa mostra que na China, há também um problema de alocação de recursos para renovação dos cursos (ZHUANG; XU, 2018). Os autores defendem uma distribuição mais uniforme dos recursos para garantir que todas as instituições de ensino superior tenham os recursos necessários para a reforma dos seus cursos de engenharia. Além disso, a falta de professores com mais experiência prática, falta de sinergia entre os departamentos e o excesso de burocracia por parte do governo, são outros desafios que as instituições chinesas precisam superar.

Núñez e Lantada (2020) acrescentam que um desafio na implantação de AI no

ensino de engenharia está no fato de que a atual geração de professores de engenharia não conhece essa tecnologia. Assim, no processo de inclusão de tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia, as instituições de ensino superior devem pensar também na capacitação dos seus docentes.

Nesse sentido, Ahuett-Garza et al. (2022) apresentam um programa de treinamento para atualizar os professores de engenharia do Instituto Tecnológico de Monterrey, México, sobre conceitos e tecnologias da i4.0. A ideia foi alavancar a formação de professores da Faculdade de Engenharia para a inclusão efetiva das competências relacionadas à i4.0 nos cursos. Os autores destacam que essa experiência pode ajudar a desenvolver programas de treinamento semelhantes, para docentes de outras instituições.

Motyl e Filippi (2021) destacam que apesar de existir um forte interesse por parte das universidades em melhorar a formação dos estudantes de engenharia, ainda existem algumas restrições relacionadas a equipamentos adequados e a um corpo docente preparado para a mudança.

Em Lemstra, Quinaglia e Mesquita (2022), os professores de Engenharia de Produção brasileiros apontam que os maiores desafios para inclusão das tecnologias 4.0 nos cursos são conseguir recursos para laboratórios e estabelecer parcerias com empresas.

Boton, Forgues e Halin (2018) apontam que um dos maiores desafios para as universidades é o desenvolvimento de um currículo onde exista um equilíbrio entre temas relacionados à tecnologia, processos e negócios. É necessário também definir o nível de profundidade com que as tecnologias serão abordadas: introdutório, intermediário ou avançado.

Rodić-Trmčić et al. (2017) também questionam qual seria o nível de profundidade adequado no ensino de graduação para o futuro profissional trabalhar as tecnologias digitais. Em um projeto piloto de “*smart healthcare*”, na *University of Belgrade*, eles concluem que não é necessário aprofundar nos aspectos técnicos, mas que essa decisão depende das competências almeçadas no projeto pedagógico do curso.

Outro desafio diz respeito à pressão pela inclusão de novos conteúdos e simultaneamente para redução do número de horas de aula nas estruturas curriculares (BOTON; FORGUES; HALIN, 2018). Os autores também citam como

dificuldade, a rigidez das estruturas acadêmicas e pedagógicas, que tendem a criar uma forte resistência à mudança.

Por último, Chong et al. (2018) destacam alguns desafios relacionados a: capacitação de professores, investimento em instalações adequadas, espaço na grade curricular para inclusão de novos conteúdos e resistência à mudança.

3.5. Reformulação dos cursos

Outra questão específica analisa quais são as estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia. Kong et al. (2020) afirmam que a reformulação do ensino de engenharia precisa, além da revisão dos conteúdos, pensar na melhoria e adoção de novos métodos de ensino, para alcançar bons resultados.

Os artigos analisados apresentam cinco estratégias para a reformulação dos cursos, de modo a incluir as tecnologias da i4.0: (i) inovação curricular; (ii) criação de fábricas de aprendizagem; (iii) modernização de laboratórios; (iv) parcerias universidade – empresa; e (v) atividades extracurriculares.

3.5.1. Inovação curricular

A maioria dos artigos analisados cita mudanças curriculares como estratégia para inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0. Kong et al. (2020) afirmam que, o primeiro passo para fazer a reformulação dos cursos é modificar e/ou melhorar o conteúdo das disciplinas, de modo que reflita a realidade e as tendências da área, bem como eliminar conteúdo que esteja defasado. Os autores defendem um projeto de ensino que integre teoria e prática como forma de desenvolvimento de competências.

Um estudo conduzido por Babic et al. (2022) investiga o estado atual do ensino de tópicos da i4.0 entre os programas de Engenharia Industrial credenciados pelo Comitê de Acreditação para Engenharia e Tecnologia, nos Estados Unidos. Os resultados indicam que mais da metade das universidades respondentes cobrem ou cobrirão em breve os tópicos da i4.0 em seus programas. Os principais tópicos incluídos nos currículos são introdução à manufatura inteligente, aprendizado de máquina, inteligência artificial, análise de dados, conectividade e controle.

Hernandez-de-Menendez, Escobar Díaz e Morales-Menendez (2020) identificaram três universidades (*Massachusetts Institute of Technology; ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology e RWTH Aachen University*) que já oferecem disciplinas relacionadas à i4.0. Além das competências técnicas, os programas desses cursos permitem que os alunos desenvolvam capacidade de liderança, trabalho em equipe, análise e resolução de problemas.

Alabi et al. (2020) discutem a inclusão de disciplinas sobre AM no currículo de engenharia de universidades da África do Sul para formação de especialistas no assunto. Salah et al. (2020a) propõem uma metodologia para atualizar o currículo do Departamento de Engenharia Industrial da *King Saud University*, de modo a considerar as inovações tecnológicas da i4.0.

Boton, Forgues e Halin (2018) propõem módulos independentes para cada tecnologia específica nos currículos, para que os alunos possam primeiro compreender cada tecnologia e, em um segundo momento, essas tecnologias são integradas para compor um sistema típico da i4.0.

Para atender à demanda de capacitação tecnológica de profissionais da saúde, a *University of Belgrade, Sérvia*, desenvolveu um curso de pós-graduação piloto intitulado “*smart healthcare*” dentro da Faculdade de Ciências Organizacionais (RODIĆ-TRMČIĆ et al., 2017). O curso contempla computação em nuvem, *big data*, IoT, dispositivos móveis para a captação de dados de saúde, entre outras.

Pattanapairoj, Nitisiri e Sethanan (2021) analisaram a lacuna entre as expectativas das empresas e as competências dos atuais egressos do mestrado da Universidade Khon Kaen, na Tailândia, com relação a dez áreas de conhecimento da i4.0. A partir dos resultados, os coordenadores do programa propõem reformular a grade curricular do curso e adicionar mais disciplinas relacionadas à i4.0.

Posteriormente, Chaengpromma e Pattanapairoj (2022) fizeram uma pesquisa análoga, na mesma universidade, mas com alunos de graduação em Engenharia Industrial. Assim, como a pesquisa anterior, as empresas esperam que os graduados tenham todas as 25 competências analisadas no mais alto nível, enquanto os egressos têm domínio de poucas delas.

Elkosantini et al. (2023) fizeram um estudo semelhante aos dois anteriores, em que avaliaram as necessidades das indústrias da Tunísia e Marrocos e o que os currículos de cursos de pós-graduação de engenharias abrangiam. Dois aspectos

foram avaliados: competências e tecnologias da i4.0. Os resultados mostraram que os programas de ensino não cobrem todas as tecnologias e competências demandadas pela indústria. Portanto, para que esses cursos atendem às necessidades das empresas, precisam passar por readequação.

De uma forma mais abrangente, para atender a demanda por profissionais especializados em tecnologias da i4.0, o governo chinês promoveu uma reforma nacional no ensino de engenharia, visando a atualização dos currículos existentes, criação de novos programas e de cursos interdisciplinares, fortalecimento das parcerias entre indústria e universidades e melhoria dos mecanismos de garantia de qualidade (ZHUANG; XU, 2018).

3.5.2. Criação de fábricas de aprendizagem

Fuertes et al. (2023, p.1, tradução da autora⁸) definem:

A fábrica de aprendizagem é um ambiente de fabricação realista para educação, treinamento e pesquisa, buscando a convergência entre a indústria e academia. É construída como uma instalação industrial comum, mas dentro da universidade, fornecendo um ambiente de aprendizagem para benefício mútuo. As fábricas de aprendizagem tornam possível a aprendizagem experiencial e suas configurações devem poder ser alteradas para serem acomodadas às necessidades dos formandos.

Prieto et al. (2019) acrescenta que a fábrica de aprendizagem contribui para o ensino e a pesquisa, ao possibilitar o desenvolvimento de tecnologias de produção e, ao mesmo tempo, fornece uma plataforma para a avaliação de soluções. Os autores apresentam uma iniciativa da *Technical University of Catalonia*, Espanha, chamada *Industry 4.0 Technologies Laboratory (I4TechLab)*, apresentada como um instrumento para o ensino de engenharia 4.0.

⁸ A learning factory is a realistic manufacturing environment for education, training and research, achieving convergence between industry and academia. It is built as a common production facility for industry on a university, that provides a learning environment for mutual benefit. Learning factories make experiential learning possible and their settings should be changeable to be accommodated to the needs of the trainees.

Sackey, Bester e Adams (2017) analisam o desenvolvimento de fábricas de aprendizagem em instituições de ensino de engenharia industrial na África do Sul. A pesquisa mostra que ainda não existem muitas universidades com fábricas de aprendizagem. Mostra também que as universidades técnicas estão mais dispostas a desenvolver uma fábrica de aprendizagem da i4.0 do que os programas mais acadêmicos de engenharia.

Apesar da pouca adesão, um estudo de caso com alunos de Engenharia Industrial da *King Saud University* (Arábia Saudita) aponta que o uso de fábrica de aprendizagem pode potencializar o desenvolvimento das habilidades dos estudantes, além de integrar conhecimentos de várias disciplinas e aumentar a motivação deles (SALAH et al., 2019).

Posteriormente, Salah, Khan e Gjeldum (2020b) fazem, na mesma universidade, um estudo de caso na fábrica de aprendizagem, onde foi instalada uma linha de envase de iogurte utilizando princípios da i4.0, como AM, IIoT, robôs autônomos e sensores. Todas as etapas de produção (transporte, identificação, classificação de sabores e envase) foram sincronizadas utilizando controladores. Dessa forma, os alunos aprenderam conceitos e práticas da i4.0 com uma linha de produção inteligente.

Wang et al. (2021) e Fuertes et al. (2021) propõem o ensino das tecnologias habilitadoras da i4.0 através de fábrica de aprendizagem. O primeiro estudo aborda o tema manufatura inteligente e suas tecnologias, utilizando uma linha de produção baseada em robô móvel. O segundo faz um experimento com alunos de mestrado, onde as atividades propostas proporcionaram a compreensão da operação e da funcionalidade dessas tecnologias de forma integrada.

Adicionalmente, Fuertes et al. (2023) desenvolveram um guia de treinamento das tecnologias da i4.0 utilizando fábrica de aprendizagem. O modelo também foi testado com alunos de mestrado, que utilizaram uma célula robótica eletropneumática para seleção de peças. A experiência possibilitou aos alunos o aprendizado das tecnologias da i4.0 e a interação entre elas. A iniciativa gerou uma grande aceitação entre os alunos, porque os ajudou a adquirir novos conceitos práticos e aumentar sua motivação para aprender.

Embora haja poucos relatos de uso de fábrica de aprendizagem na literatura, acredita-se que o número de iniciativas ao redor do mundo seja muito maior e que

esteja aumentando. Um levantamento deste tipo de iniciativa em âmbito internacional seria uma pesquisa oportuna.

3.5.3. Modernização de laboratórios

Algumas iniciativas mostram a modernização de laboratórios como estratégia para inclusão das tecnologias i4.0 nos cursos de engenharia. Coşkun, Kayikci e Gençay (2019) apresentam um estudo de caso que envolve a construção de laboratórios para a adaptação de cinco cursos de Engenharia da *Turkish German University* aos requisitos da i4.0.

Segundo Li (2018), muitas universidades chinesas têm implantado laboratórios de simulação virtual. Nesses laboratórios, o professor pode projetar experimentos e deixar os estudantes operarem em um ambiente equivalente ao real, além de ser uma opção que pode reduzir consideravelmente os custos de construção e manutenção do laboratório.

Grodzki, Ortelt e Tekkaya (2018) relatam um projeto desenvolvido por três universidades alemãs (*RWTH Aachen University, Ruhr-Universität Bochum e TU Dortmund University*), com o objetivo de conectar a sala de aula e o chão de fábrica através de laboratórios remotos e ambientes de aprendizagem com realidade virtual no ensino de engenharia. Os autores concluem que essa abordagem é a mais adequada para preparar a próxima geração de engenheiros com as competências requeridas pelas empresas.

Cordero-Guridi et al. (2022) descrevem o desenvolvimento de um laboratório que faz o uso de tecnologias de realidade aumentada e virtual para apoiar o ensino e as práticas de alunos e professores da disciplina de manufatura aditiva para a indústria automotiva na *Universidad Popular Autonoma del Estado de Puebla*, no México.

Bordel, Alcarria e Robles (2019) descrevem um experimento realizado na *Technical University of Madrid*, em que os alunos simulam um cenário real da i4.0. Os resultados mostraram melhora na motivação dos alunos, nas notas e na aquisição de competências da i4.0.

3.5.4. Parcerias universidade – empresa

Apenas dois artigos falam da parceria universidade – empresa. Botton, Forgues e Halin (2018) destacam a importância da parceria entre as empresas e as

universidades. As empresas podem fornecer às universidades oportunidades de aprendizagem, de pesquisa e investimentos. Em troca, a indústria pode dispor de profissionais qualificados e conhecimentos gerados nos programas de ensino, pesquisa e extensão das universidades.

Yoshino et al. (2020) criaram um modelo multicritério para identificar qual é a estratégia mais adequada para o ensino das tecnologias da i4.0 nos cursos de graduação. Aplicando a ferramenta, foi identificado que a estratégia mais adequada é a parceria entre universidade e empresa.

Boton, Forgues e Halin (2018) relatam a estratégia da *ETS-Montréal*, para a inclusão da disciplina modelagem de informações de construção (BIM, do inglês *building information modelling*) nos currículos de Engenharia Civil. A instituição, em parceria com outra universidade, ofereceu dois cursos de curta duração multidisciplinares introdutórios que contou com a presença de estudantes e profissionais da área de construção, onde puderam interagir sobre o tema. Após essa fase, a *ETS-Montréal* desenvolveu uma disciplina de BIM para o mestrado.

3.5.5. Atividades extracurriculares

Motyl e Filippi (2021) recorrem a atividades extracurriculares (seminários e cursos de curta duração) para difundir conhecimentos de manufatura aditiva (AM). Ainda sobre AM, Alabi et al. (2020) relatam que, para os profissionais que já estão atuando no mercado de trabalho e desejam desenvolver habilidades nessa área, as melhores opções são os cursos de curta duração.

Já para aqueles que estão na graduação, uma atividade extracurricular muito comum são as competições entre estudantes de engenharia. De acordo com Núñez e Lantada (2020), uma forma dos estudantes desenvolverem habilidades em inteligência artificial é através de competições estudantis, como os *hackatons*, em que são desafiados a buscarem soluções, baseadas em AI, para resolver problemas reais das empresas. Os autores defendem que a participação nessas competições conte créditos para alunos de graduação.

Além disso, Núñez e Lantada (2020) citam a organização de escolas de verão, os estágios em departamentos de pesquisa e empresas com foco em AI, desenvolvimento de conferências, seminários e *workshops*, como possibilidades de atividades extracurriculares. Por fim, Ralph et al. (2022) relatam a experiência da

University of Leoben (Áustria), onde utilizam um programa de palestras para ensinar conceitos de i4.0.

3.6. Impactos da transformação digital

Nesta última seção, são discutidos os impactos da transformação digital no ensino de engenharia. Martin et al. (2019) afirmam que muitas tecnologias digitais estão impactando o ensino de engenharia e estão mudando significativamente as práticas de ensino-aprendizagem.

Durante a pandemia de COVID-19 os avanços da tecnologia e da digitalização foram acelerados, devido aos desafios não só da indústria, mas especialmente em todo o sistema educacional. Esses avanços desencadeados pela pandemia (aulas e plataformas *on-line*, laboratórios remotos, entre outros) agora exigem um chamado de inclusão de longo prazo (RALPH et al., 2022).

Conforme destacado ao longo deste capítulo, a transformação digital tem impacto nas competências, pois demanda novas competências dos profissionais. Como consequência, também impacta no planejamento dos cursos para que seja orientado ao desenvolvimento dessas competências (BLOCK, 2018).

Outro impacto está na forma de ensino, mais centrado no aluno e menos no professor; no conteúdo das disciplinas que compõem os cursos, que devem conter assuntos relacionados à transformação digital para formar profissionais qualificados para atuar nas fábricas inteligentes (RALPH et al., 2022).

Por último, Lemstra, Quinaglia e Mesquita (2022) mostram que, na opinião de professores de engenharia de produção brasileiros, praticamente todas as áreas da engenharia de produção (manufatura, *supply chain*, pesquisa operacional, engenharia de qualidade, engenharia de produto, engenharia organizacional, engenharia de fatores humanos, sustentabilidade e educação em engenharia) estão sendo altamente impactadas pela transformação digital.

4 MÉTODO E RESULTADOS 1 – SURVEY COM PROFESSORES

Neste capítulo, é apresentado o método e discutido os resultados da pesquisa realizada com professores dos cursos de graduação em Engenharia de Produção das principais instituições de ensino superior brasileiras. Esta pesquisa foi publicada em formato de artigo acadêmico (LEMSTRA; QUINAGLIA; MESQUITA, 2022).

4.1. Método de pesquisa

Esta subseção apresenta o método de pesquisa adotado, um *survey* com professores do ensino superior. Segundo Leedy e Ormrod (2015), um *survey* consiste em (i) coletar informações sobre um ou mais grupos de pessoas (suas características, opiniões ou experiências) através de um questionário auto aplicado, (ii) tabular as respostas e, por último (iii) analisar os dados coletados para responder às questões da pesquisa.

Neste primeiro levantamento, o objetivo é levantar a opinião dos docentes sobre a importância, maturidade, desafios, estratégias e impactos da inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção das principais instituições de ensino superior brasileiras. Conforme destacado no capítulo 1, o *survey* com professores busca responder apenas à segunda questão geral de pesquisa:

Questão Geral 2 – Como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

Esta questão geral é desdobrada em cinco questões específicas, formuladas a seguir.

2.1 Qual é o grau de **importância** da inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

2.2 Qual é o grau de **maturidade** do ensino das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

2.3 Quais são os **desafios** para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

2.4 Quais são as melhores **estratégias** para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

2.5 Quais são os **impactos** da transformação digital na Engenharia de Produção?

Para responder a essas questões, elaborou-se um questionário, seguindo as recomendações de Leedy e Ormrod (2015), para coletar as respostas dos docentes dos principais cursos de Engenharia de Produção do Brasil. O critério de escolha das instituições foi a avaliação nacional dos programas de pós-graduação das respectivas instituições, que é uma avaliação consolidada no país, e que tem uma forte correlação com a qualidade dos cursos de graduação.

Utilizou-se o aplicativo de pesquisas *Google Forms* para coletar e salvar as respostas em uma planilha eletrônica. O questionário tem dez questões, sete delas fechadas e três abertas. Nas questões fechadas, utilizou-se uma escala de *Likert* de 5 pontos para quantificar as respostas.

Antes do envio do questionário, conforme sugerido por Leedy e Ormrod (2015), realizou-se um teste piloto com três professores dos cursos de pós-graduação em Engenharia de Produção da USP (Escola Politécnica da USP, Escola de Engenharia de São Carlos e Escola de Engenharia de Lorena) que já possuíam conhecimento prévio sobre os temas ensino e indústria 4.0. Esses professores avaliaram as perguntas quanto à clareza, relevância e coerência com os objetivos da pesquisa.

Essas críticas e sugestões foram incorporadas em uma nova versão do questionário, que foi novamente validada pela equipe de pesquisa formada por mim, um colega do programa de pós-graduação e o nosso orientador. O Quadro 5 e o Apêndice - A apresentam a versão final do questionário.

Quadro 5 – Questionário do *survey* com professores

<p>Questão 1 – Esta pesquisa considera dez tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Você teria alguma inclusão ou exclusão desta lista? (Sim/Não) Quais?</p>
<p>Questão 2 – Avalie a prioridade de inclusão (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 3 – Avalie a maturidade (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) no ensino das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 4 – Avalie a dificuldade (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) de inclusão das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 5 – Avalie a dificuldade dos seguintes desafios (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) para incluir as tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Formação de Professores; (2) Recursos para Laboratórios; (3) Apoio Institucional; (4) Parcerias com Empresas; (5) Outros (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 6 – Avalie a adequação das seguintes estratégias (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) de inclusão das tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Incluir nas obrigadoriedades existentes cursos; (2) Criar disciplinas obrigatórias, (3) Criar disciplinas eletivas, (4) Utilizar disciplinas de outros departamentos ou faculdades, (5) Incluí-las em atividades extracurriculares, (6) Outras (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 7 – Avalie a importância (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) do ensino das tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição. Comentários?</p>
<p>Questão 8 – Avalie o impacto da transformação digital (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Manufatura, (2) Cadeia de Suprimentos, (3) Pesquisa Operacional, (4) Engenharia de Qualidade, (5) Engenharia de Produto, (6) Engenharia Organizacional, (7) Engenharia Econômica, (8) Engenharia de Fatores Humanos, (9) Sustentabilidade, (10) Educação em Engenharia.</p>
<p>Questão 9 – Sobre a pergunta anterior, quais novas áreas devem ser incluídas na área de Engenharia de Produção?</p>
<p>Questão 10 – Sinta-se à vontade para complementar sua participação com quaisquer sugestões e comentários adicionais sobre esta pesquisa.</p>
<p>Perfil do respondente</p>
<p>Nome (opcional):</p>
<p>e-mail (obrigatório):</p>
<p>Qual é o seu <i>background</i> principal?</p>
<p>Em qual universidade você mais trabalha?</p>
<p>Em qual faculdade você trabalha principalmente?</p>
<p>Em qual curso você trabalha principalmente?</p>
<p>Qual disciplina você ensina principalmente?</p>

Fonte: Autora.

Em seguida, foi preparado um cadastro contendo instituição, nome e *e-mail* dos docentes. Com base nos critérios citados anteriormente, foram selecionadas 20 faculdades para participar da pesquisa, porém os dados dos docentes de cinco delas não estavam disponíveis.

Dessa forma, o cadastro final teve 15 universidades e 532 professores: As universidades estão listadas abaixo, por ordem alfabética:

- a) Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR);
- b) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ);
- c) Universidade de São Paulo (USP);
- d) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP);
- e) Universidade Estadual Paulista (UNESP);
- f) Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI);
- g) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- h) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- i) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar);
- j) Universidade Federal de Uberlândia (UFU);
- k) Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- l) Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ);
- m) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
- n) Universidade Federal Fluminense (UFF);
- o) Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP).

O questionário ficou aberto entre o período de 22/07/2021 a 12/10/2021. O envio foi feito em três momentos (primeiro envio e dois lembretes). O *e-mail* convite e o *e-mail* lembrete estão nos Apêndices – B e C desta dissertação, respectivamente. Ao final, foi recebido o total de 95 respostas ao questionário, o que corresponde a 17,9% de participação. Os resultados são apresentados na próxima seção.

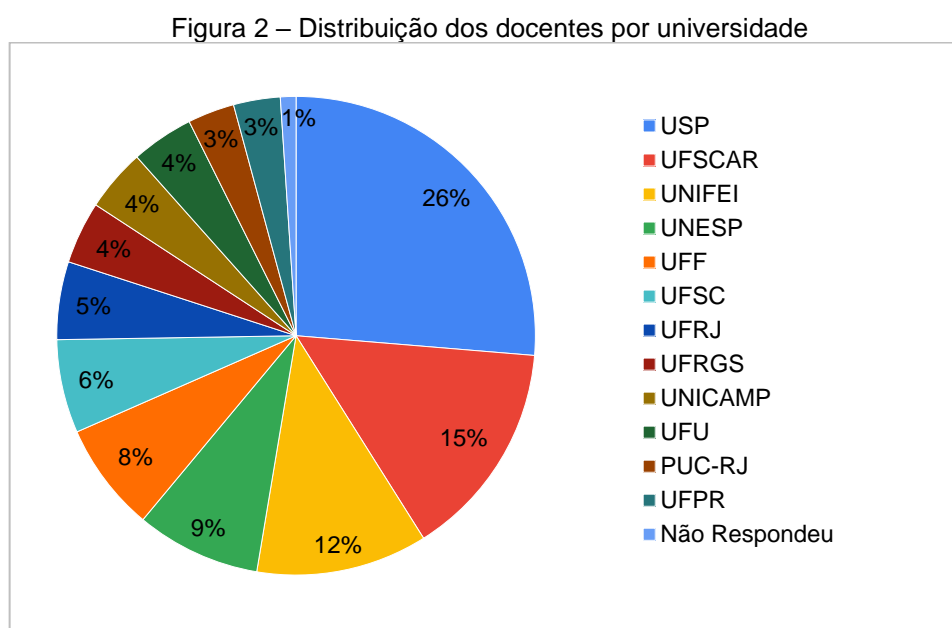
4.2. Análise dos resultados

Nesta subseção, são apresentados e discutidos os resultados do primeiro levantamento. Ela está dividida em seis subseções: (i) perfil do respondente, (ii) importância, (iii) maturidade, (iv) desafios, (v) estratégias e (vi) impactos das tecnologias nos cursos de graduação.

4.3. Perfil do respondente

Nesta subseção, analisa-se o perfil do respondente com relação a dois aspectos: (i) participação dos respondentes por universidade, e (ii) participação dos respondentes por área de atuação.

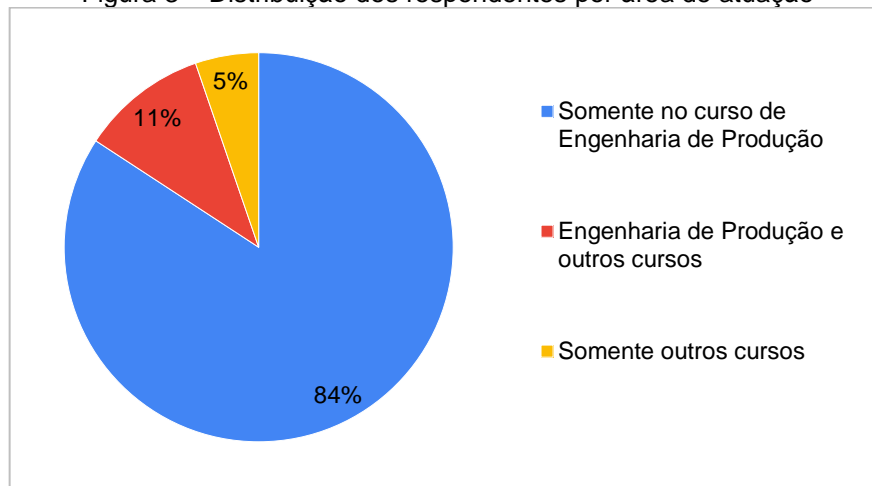
Conforme destacado na seção anterior, o questionário foi enviado para professores de 15 universidades. Foram obtidas respostas de professores em 12 delas, sendo que um respondente não indicou a universidade em que atua. A Figura 2 apresenta a participação dos respondentes por universidade.



Fonte: Autora.

Com relação à participação desses docentes por área de atuação, foram consideradas três alternativas: (i) atuação apenas no curso de Engenharia de Produção; (ii) atuação no curso de Engenharia de Produção e em outros cursos; e (iii) atuação apenas em outros cursos. Os resultados são mostrados na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição dos respondentes por área de atuação



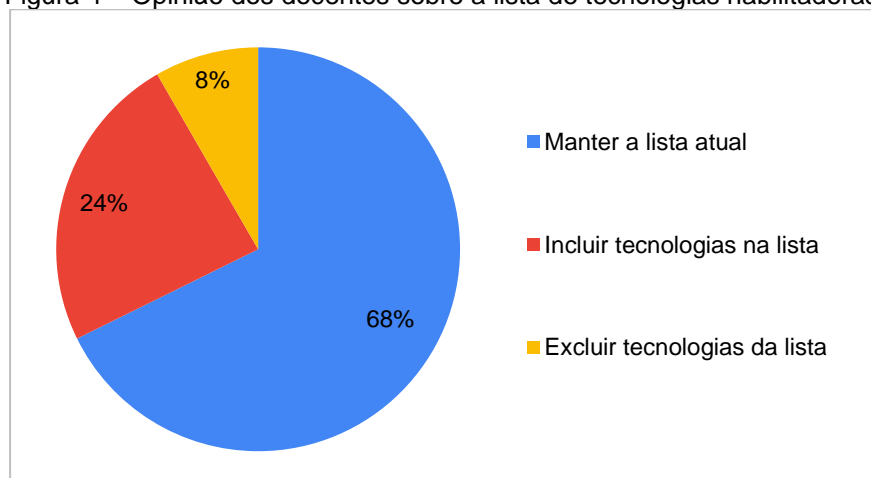
Fonte: Autora.

4.4. Questão de pesquisa 2.1 – importância

A questão específica de pesquisa 2.1 tem como objetivo avaliar o quão importante é a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção na opinião dos professores.

Primeiramente, buscou-se validar a lista das dez tecnologias habilitadoras apresentadas no questionário, perguntando sobre a necessidade de inclusão ou exclusão de tópicos da lista (questão 1). A Figura 4 mostra que a maior parte dos professores concorda com a relação das tecnologias habilitadoras conforme apresentadas.

Figura 4 – Opinião dos docentes sobre a lista de tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Quase um quarto dos respondentes apontaram a necessidade da inclusão de alguma tecnologia não listada. A Tabela 1, lista os tópicos citados, com destaque para o *Blockchain*, tecnologia que habilita transações e compartilhamento de informação entre empresas de uma cadeia de suprimentos.

Tabela 1 – Tecnologias que deveriam ser incluídas

#	Tecnologias que deveriam ser incluídas	Frequência
1	<i>Blockchain</i>	8
2	Manufatura inteligente	2
3	Robô colaborativo	2
4	Sistema ciberfísico	2
5	Análise de pessoas	1
6	Aprendizado de máquina	1
7	Computação cognitiva	1
8	Controle de produção inteligente	1
9	Ética digital	1
10	Fatores humanos	1
11	Gêmeos digitais	1
12	IoT para serviços	1
13	Organização para i4.0	1
14	Rede elétrica inteligente	1
15	Sistemas autônomos	1
16	Veículos autônomos	1
Total		26

Fonte: Autora.

Alguns respondentes sugeriram exclusões na lista, principalmente o tópico segurança cibernética. Houve um comentário pontuando que a Engenharia de Produção é usuária dessas tecnologias, não desenvolvedora e, portanto, não deveriam constar do currículo. A Tabela 2 apresenta quais tecnologias deveriam ser excluídas.

Tabela 2 – Tecnologias que deveriam ser excluídas

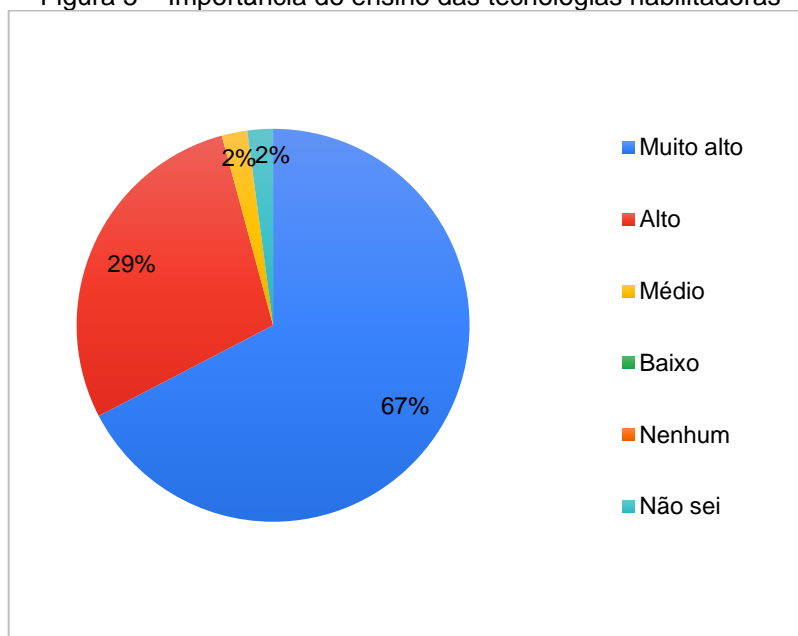
#	Tecnologias que deveriam ser excluídas	Frequência
1	Segurança cibernética	3
2	Manufatura aditiva	2
3	Robôs autônomos	2
4	Análise de <i>big data</i>	1
5	Computação em nuvem	1
6	Inteligência artificial	1
Total		10

Fonte: Autora.

De modo geral, os comentários apontaram que os engenheiros de produção devem apenas conhecer estas tecnologias mais *hard*, que serão objeto de estudo de outras habilitações da engenharia. Analisando estas respostas (frequência e comentários), considera-se que a lista original de tecnologias está adequada para a esta pesquisa.

Seguindo com o questionário, a pergunta 7 trata do grau de importância do ensino das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. A maior parte dos professores considerou muito importante o ensino de tais tecnologias, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Importância do ensino das tecnologias habilitadoras

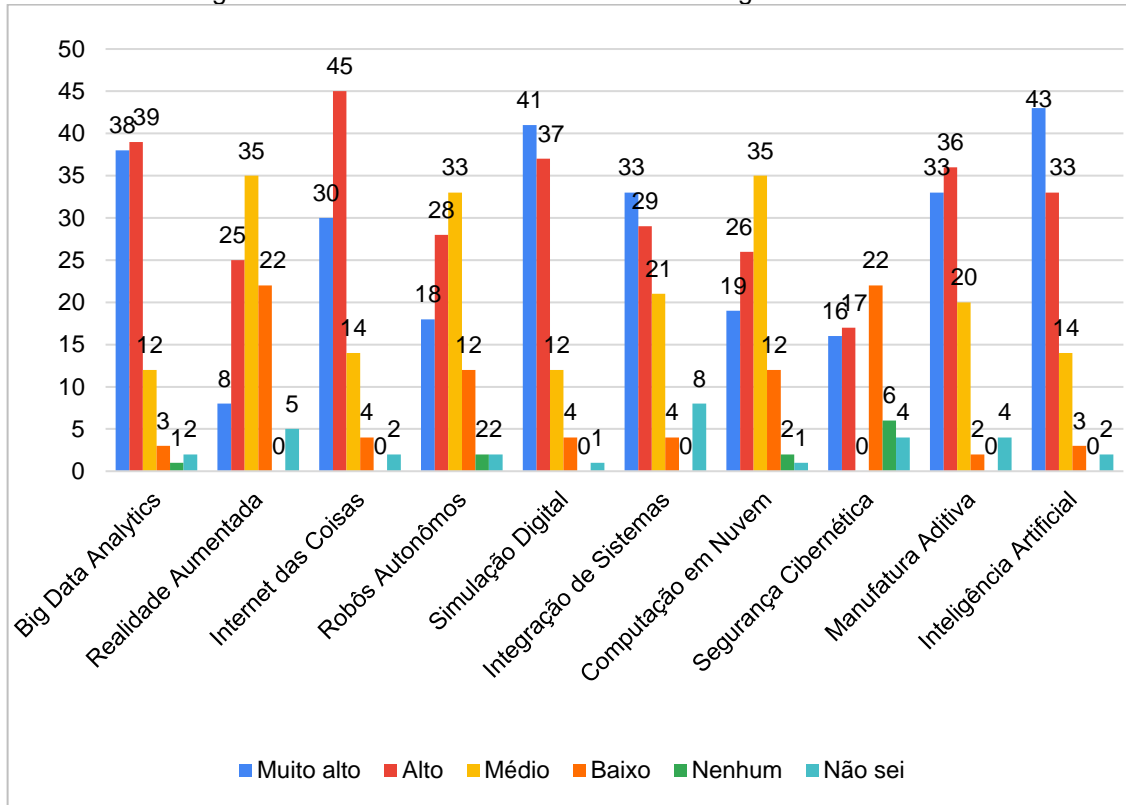


Fonte: Autora.

Em adição, para entender melhor esta questão, perguntou-se sobre o grau de prioridade de inclusão de cada uma das tecnologias (pergunta 2). A Figura 6 mostra que, com prioridade muito alta de inclusão, estão: inteligência artificial, simulação digital e *big data analytics*.

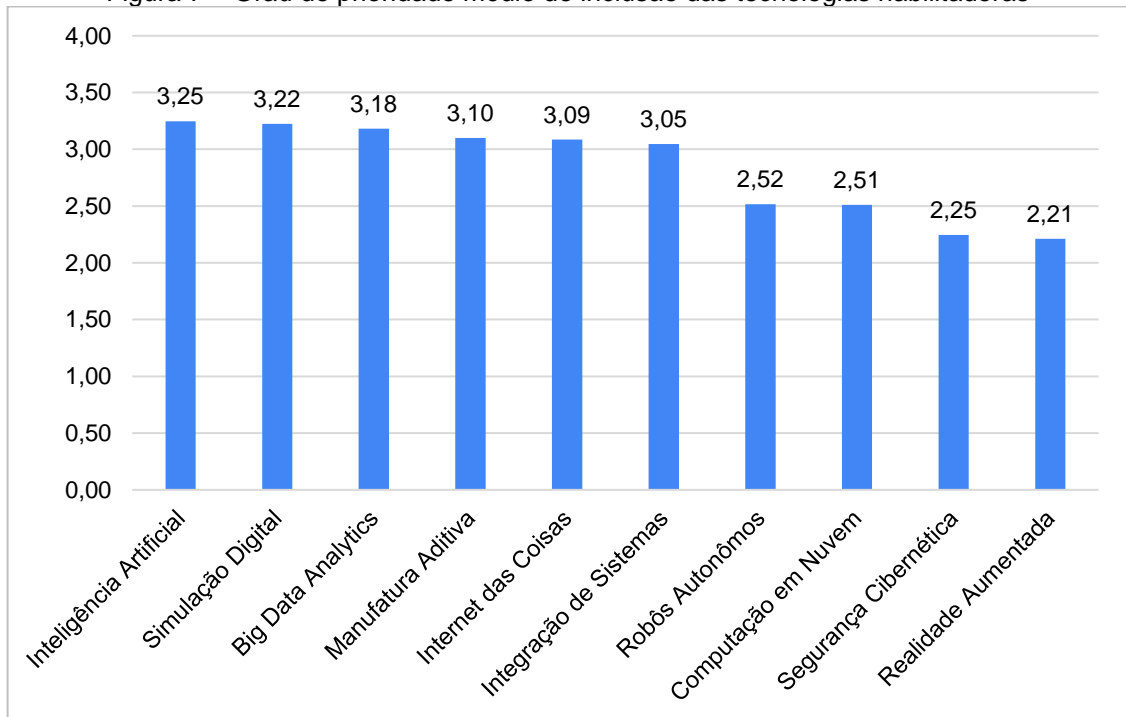
Para complementar a análise, calculou-se o grau de prioridade médio de cada tecnologia, em uma escala de 0 a 4, considerando as respostas "nenhum" igual a 0, "baixo" igual a 1, "médio" igual a 2, "alto" igual a 3 e "muito alto" igual a 4. O resultado está apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Prioridades de inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Figura 7 – Grau de prioridade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras



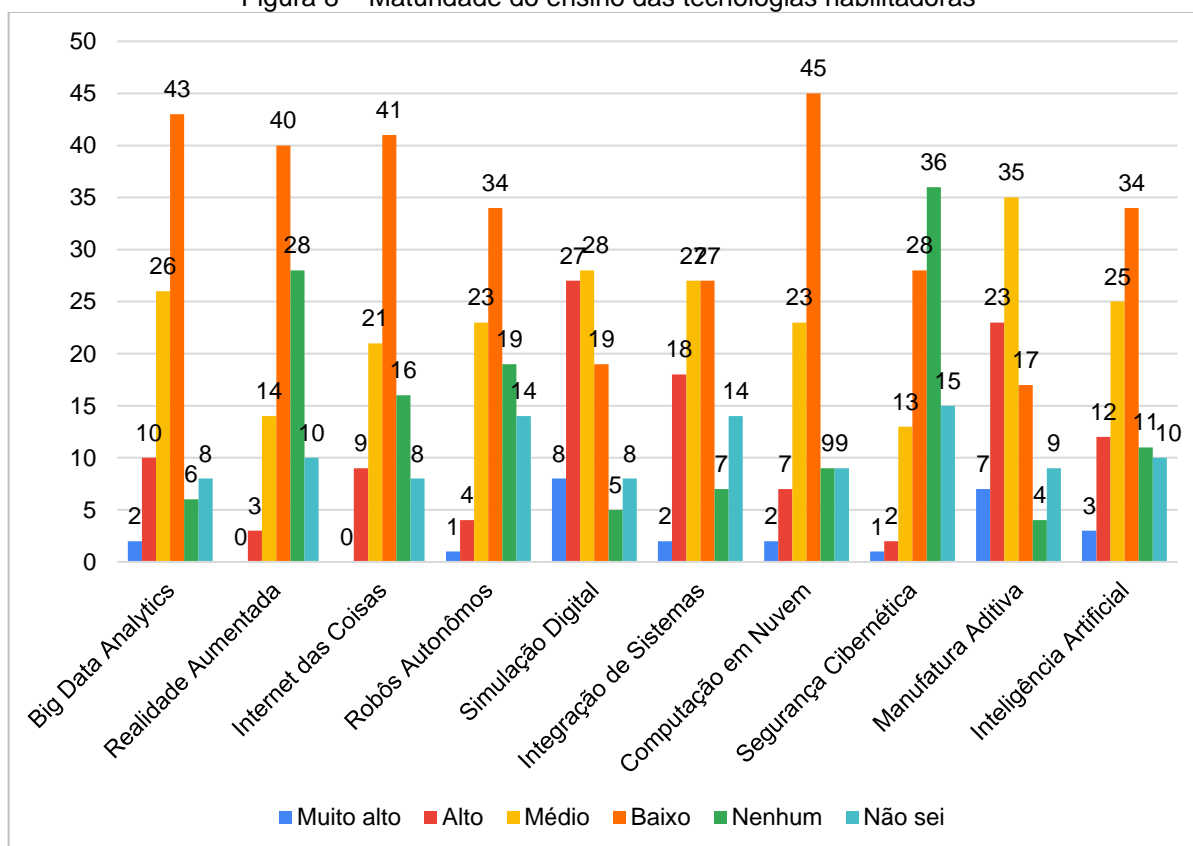
Fonte: Autora.

4.5. Questão de pesquisa 2.2 – maturidade

A questão de pesquisa específica 2.2 tem como objetivo analisar a maturidade do ensino das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. A pergunta 3 do questionário abordou esta questão.

A Figura 8 mostra que, de forma geral, o grau de maturidade é baixo na percepção dos docentes. Considerando as respostas mais frequentes, as tecnologias com maior maturidade, manufatura aditiva e simulação, foram avaliadas apenas como grau de maturidade "médio"; Integração de sistemas foi classificado entre "médio" e "baixo"; as demais foram classificadas com "baixo", exceto segurança cibernética, que foi classificada como "nenhum". Nenhuma das tecnologias foi apontada com grau de maturidade "alto" ou "muito alto".

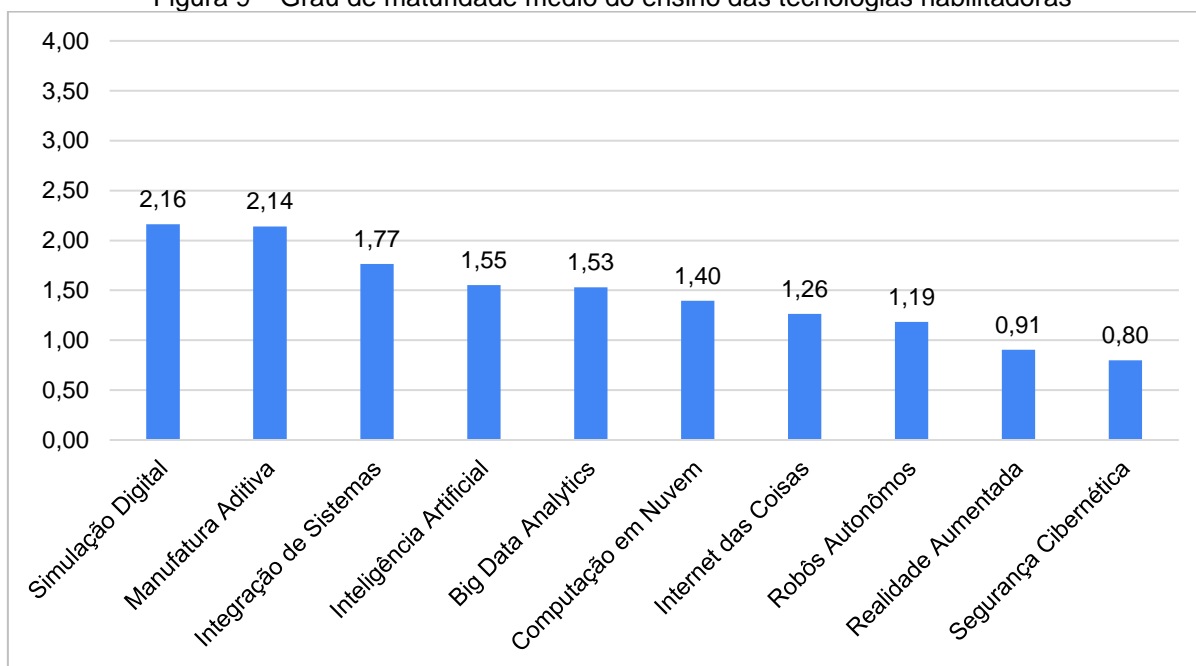
Figura 8 – Maturidade do ensino das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

A Figura 9 apresenta o nível médio de maturidade do ensino das tecnologias.

Figura 9 – Grau de maturidade médio do ensino das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

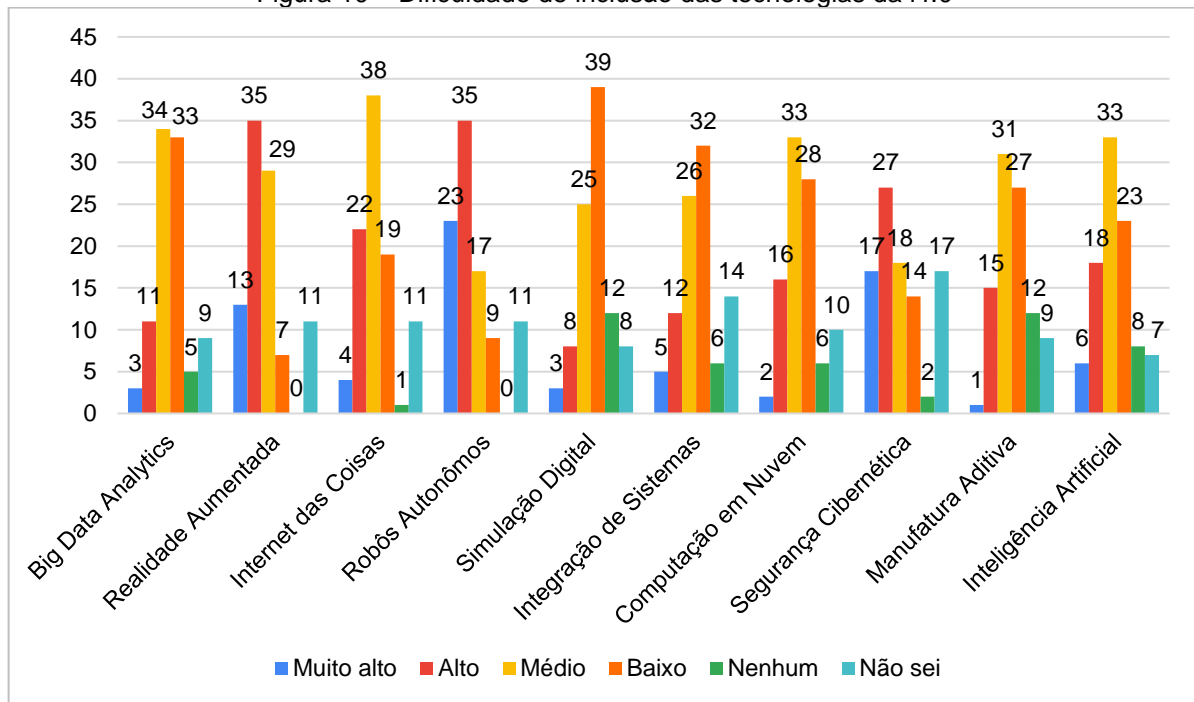
4.6. Questão de pesquisa 2.3 – desafios

A questão de pesquisa específica 2.3 aborda os desafios para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. As perguntas 4 e 5 do questionário remetem a essa questão.

Na pergunta 4, avaliou-se o grau de dificuldade para inclusão de cada uma das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. A Figura 10 mostra que, robôs autônomos, realidade aumentada e segurança cibernética são as tecnologias apontadas com maior dificuldade para inclusão, enquanto simulação digital e integração horizontal e vertical de sistemas foram indicadas como tecnologias de baixo grau de dificuldade para inclusão.

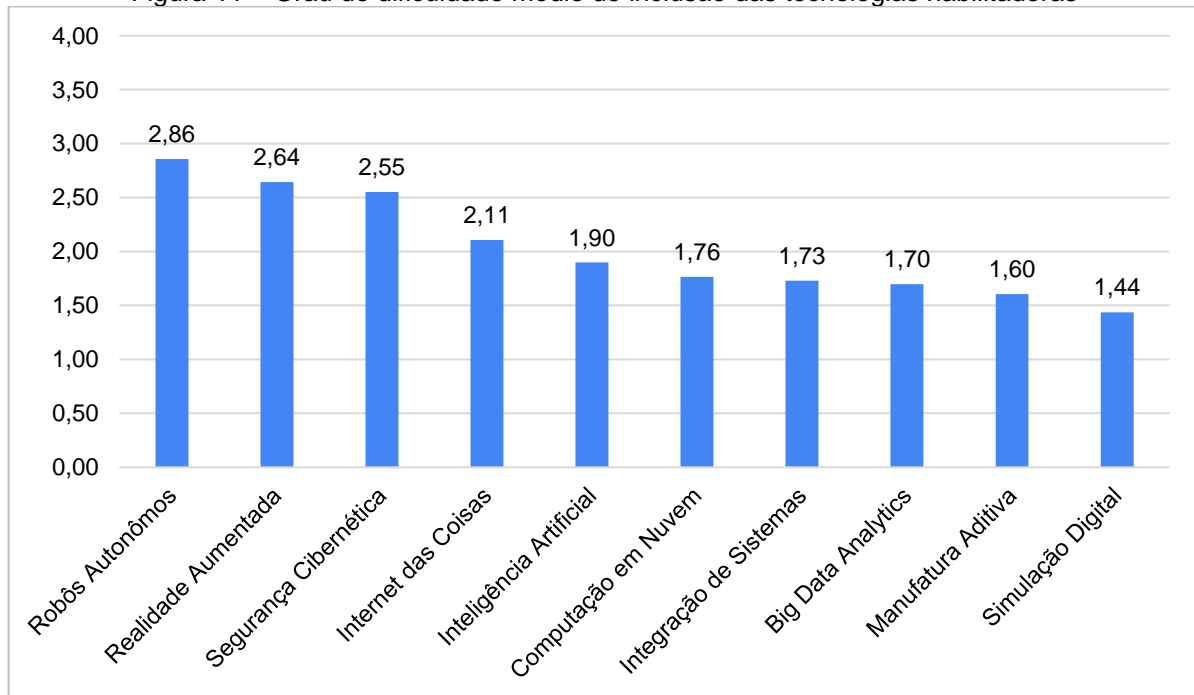
A Figura 11 mostra o grau de dificuldade médio por tecnologia. Na pergunta 5, pediu-se para que os respondentes que avaliassem quatro desafios para a inclusão dessas tecnologias nos cursos de Engenharia de Produção. De acordo com a Figura 12, o maior desafio é conseguir recursos para laboratórios. A Figura 13 mostra o grau de dificuldade médio dos desafios listados.

Figura 10 – Dificuldade de inclusão das tecnologias da i4.0



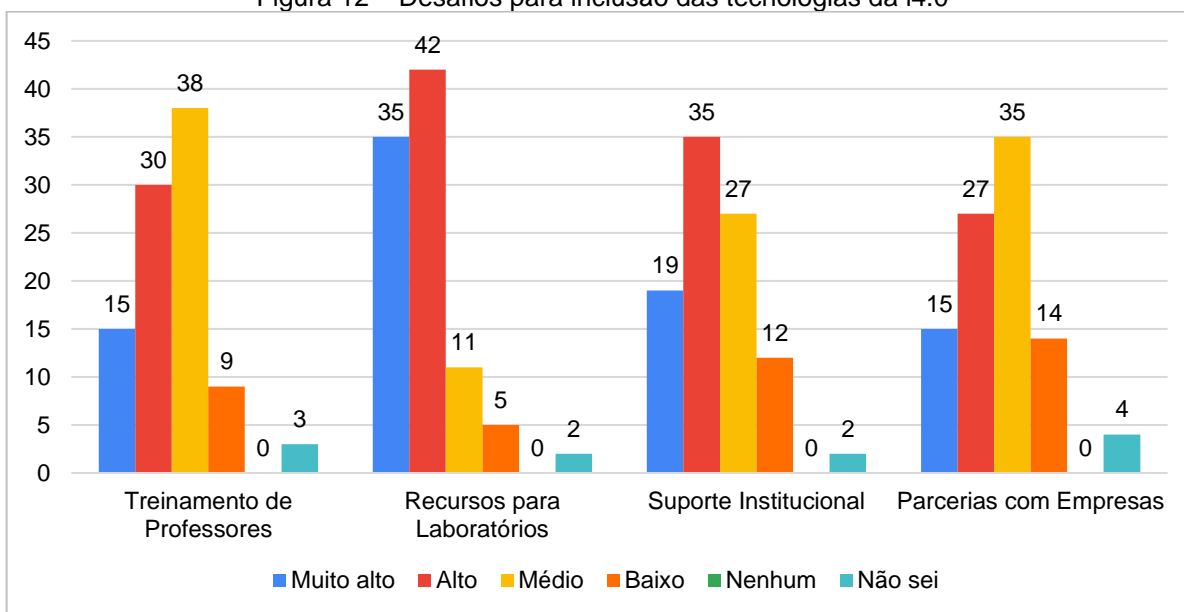
Fonte: Autora.

Figura 11 – Grau de dificuldade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras



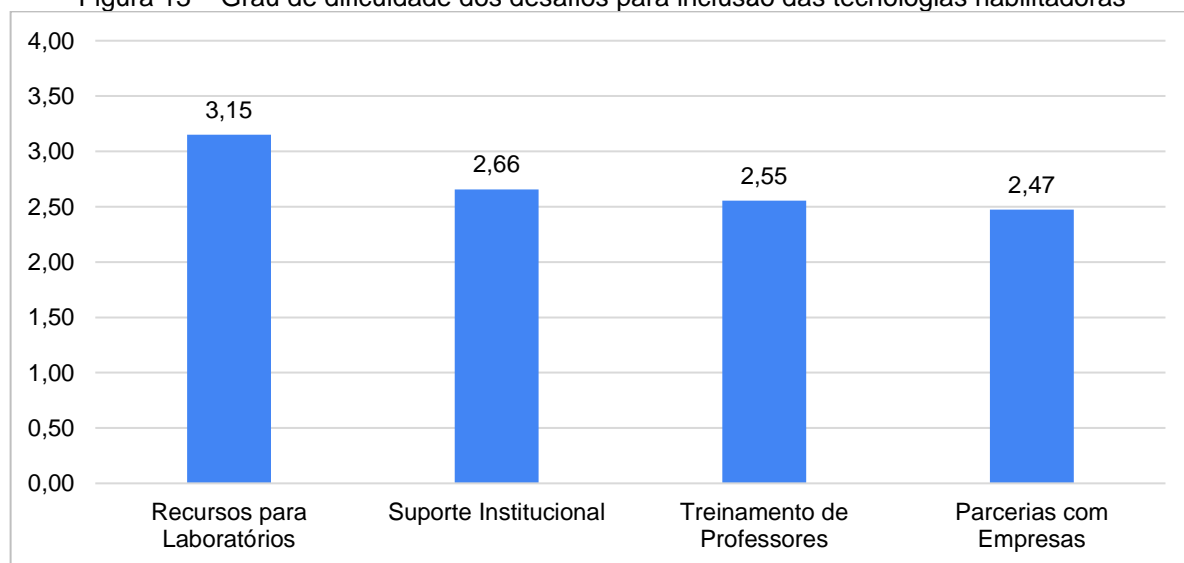
Fonte: Autora.

Figura 12 – Desafios para inclusão das tecnologias da i4.0



Fonte: Autora.

Figura 13 – Grau de dificuldade dos desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Outros desafios citados pelos respondentes foram:

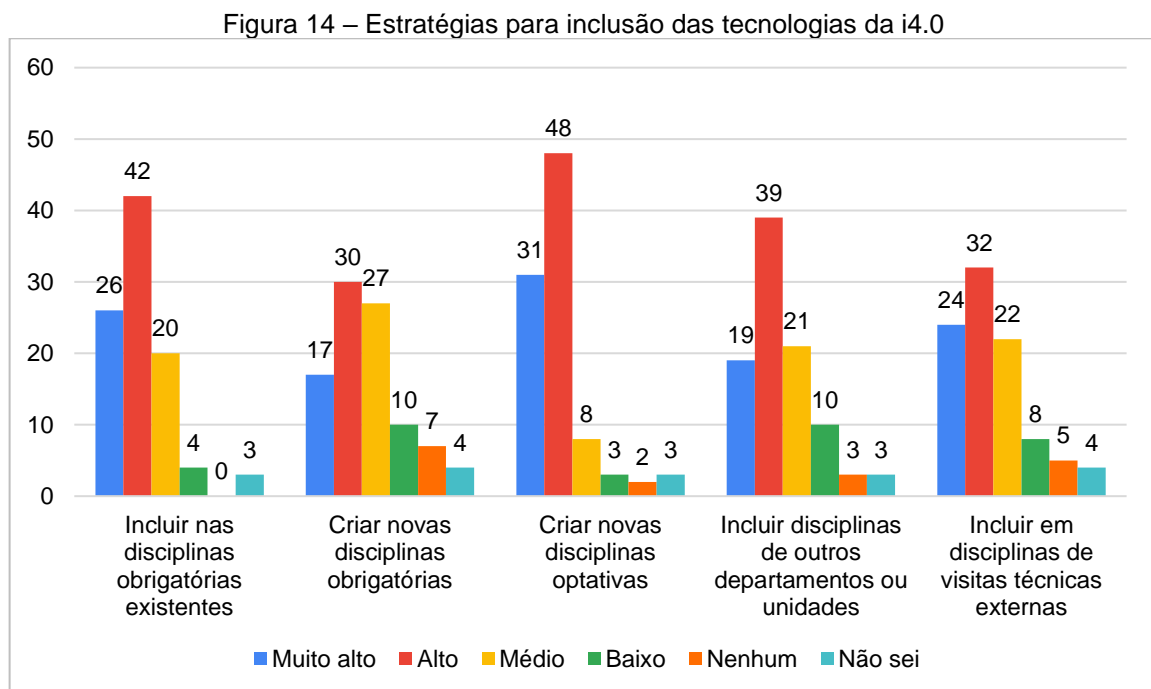
- criar uma cultura de planejamento e melhoria contínua dos currículos;
- reduzir a carga horária das disciplinas existentes para inclusão de novas disciplinas na grade;
- compartilhar disciplinas entre diferentes unidades da universidade;
- integrar as atividades de graduação, pós-graduação, pesquisa e extensão;
- adequar os espaços de laboratório para novas disciplinas de graduação;

- f) contratar professores com competências específicas em algumas dessas tecnologias;
- g) vencer a resistência do corpo docente em realizar mudanças significativas nos cursos.

4.7. Questão de pesquisa 2.4 – estratégias

A questão de pesquisa específica 2.4 tem como objetivo analisar quais são as melhores estratégias para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.

Na pergunta 6, questionou-se a adequação de algumas estratégias de inclusão das tecnologias da i4.0 no curso de graduação em Engenharia de Produção. A Figura 14 mostra que todas as estratégias citadas são consideradas adequadas.

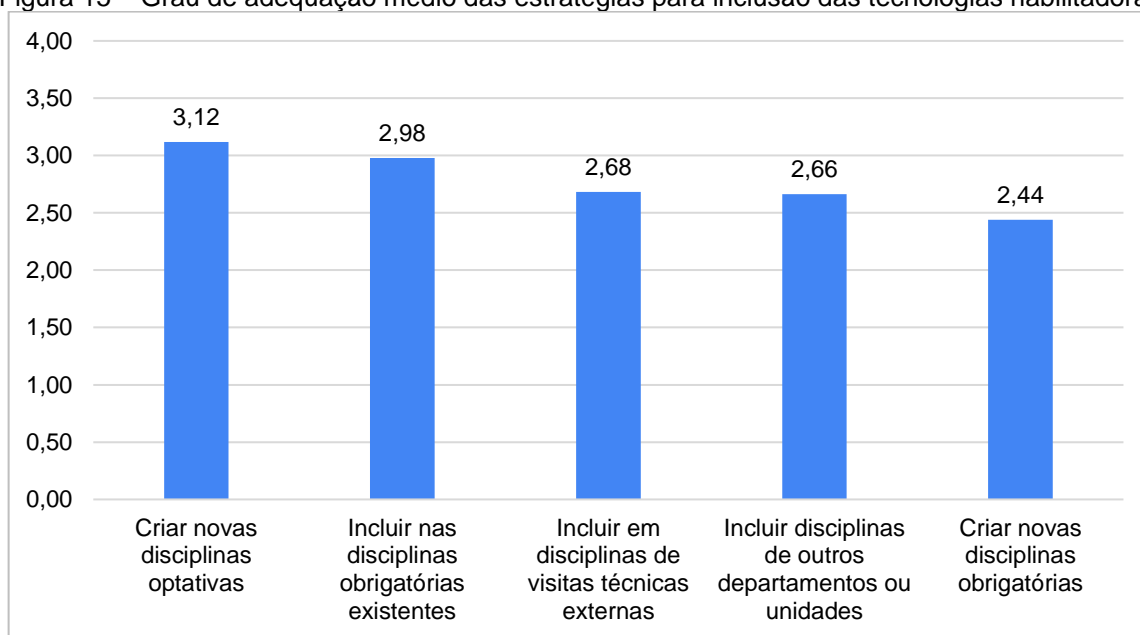


Fonte: Autora.

A Figura 15 mostra o grau de adequação médio dessas estratégias. Foram sugeridas duas estratégias adicionais pelos respondentes:

- a) dialogar com as empresas para acompanhar a evolução e inclusão destas tecnologias nos currículos de engenharia;
- b) flexibilizar a trajetória de formação do estudante, visando uma formação empreendedora e orientada à inovação.

Figura 15 – Grau de adequação médio das estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

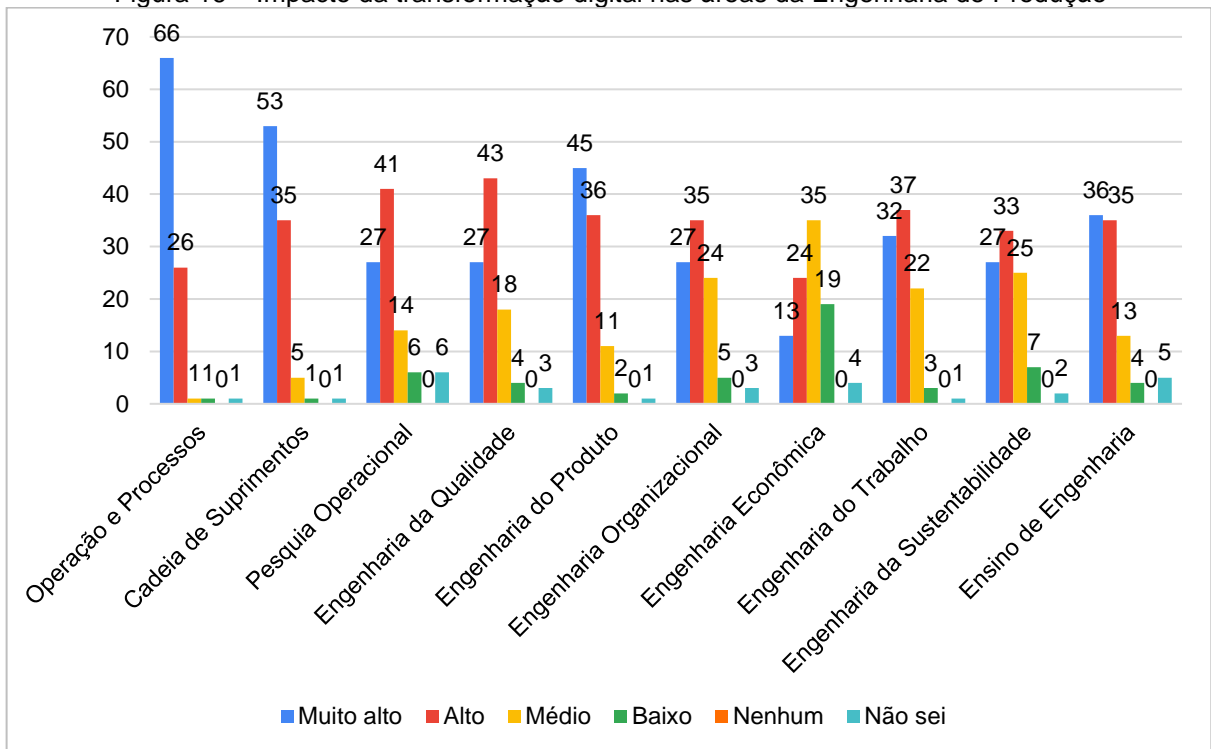
4.8. Questão de pesquisa 2.5 – impactos

A última questão de pesquisa específica 2.5 tem como objetivo analisar o impacto da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção. Para isso, foram formuladas as perguntas 8 e 9 do questionário.

Na pergunta 8, os docentes avaliaram o impacto da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção, utilizando a definição de áreas apresentada pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021).

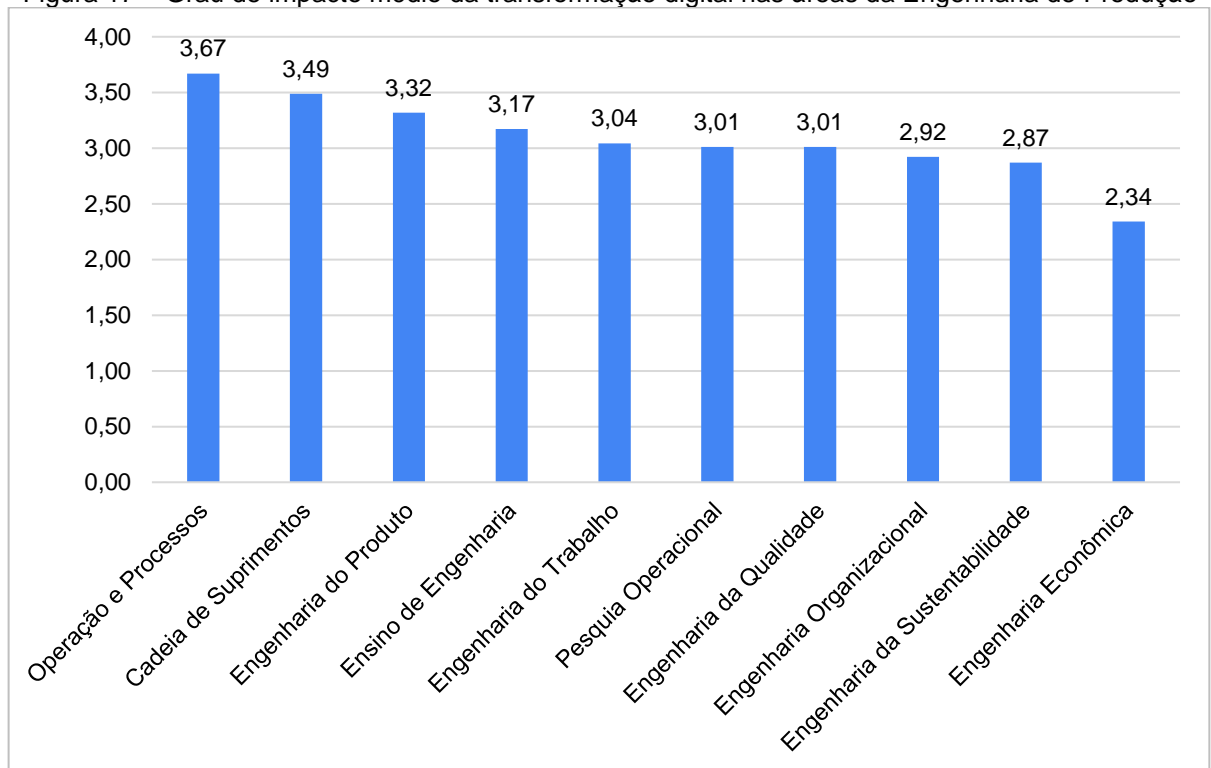
De acordo com a Figura 16, com exceção de Engenharia Econômica, todas as áreas terão impactos altos ou muito altos provocados pela transformação digital. A Figura 17 apresenta o grau de impacto médio na opinião dos docentes.

Figura 16 – Impacto da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção



Fonte: Autora.

Figura 17 – Grau de impacto médio da transformação digital nas áreas da Engenharia de Produção



Fonte: Autora.

Na pergunta 9, os docentes indicaram temas que deveriam ser incorporados ao campo de Engenharia de Produção. A Tabela 3 relaciona os temas citados.

Tabela 3 – Novos temas para inclusão ao campo da Engenharia de Produção

#	Novos temas para inclusão ao campo da Engenharia de Produção	Frequência
1	Transformação digital	5
2	Engenharia de dados	4
3	Análise de <i>big data</i>	3
4	Inteligência artificial	3
5	Manufatura 4.0	3
6	Arquitetura de sistemas	1
7	Automação	1
8	Engenharia de sistemas humanos	1
9	Gestão da inovação	1
10	Internet das coisas	1
11	Modelagem de negócios	1
Total		24

Fonte: Autora.

Por fim, a última pergunta do questionário é uma pergunta aberta para comentários gerais sobre a pesquisa. Dentre as respostas, destacam-se as seguintes sugestões adicionais:

- a) buscar um currículo que seja um híbrido das disciplinas tradicionais com os novos conteúdos da transformação digital, de forma que a Engenharia de Produção mantenha sua capacidade de olhar de maneira integrada para as organizações;
- b) criar ênfases ou trilhas de forma que os alunos possam se especializar em um tópico mais específico de transformação digital do seu interesse;
- c) promover uma discussão nacional sobre a atualização dos currículos de engenharia de produção;
- d) buscar uma maior integração interna e externa à unidade, que permita aproveitar disciplinas já existentes em inteligência artificial e outros temas da indústria 4.0;
- e) a preocupação principal de um curso de Engenharia da Produção no contexto brasileiro deve ser a difusão de tecnologias industriais básicas para a maioria das empresas, muito mais do que um conjunto de técnicas e métodos avançados para empresas de tecnologias avançadas (*high techs*);

- f) a Engenharia de Produção precisará passar por uma revolução para se adequar aos novos paradigmas de produção, tanto quanto as empresas. A transformação digital exigirá uma nova formação de competências, começando pelos professores e pela revisão curricular dos cursos. Teremos mais chances de sucesso se houver um trabalho integrado que estabeleça um conjunto de diretrizes para a transformação dos cursos de Engenharia de Produção do país.

5 MÉTODO E RESULTADOS 2 – SURVEY COM PESQUISADORES

Neste capítulo, apresentam-se a metodologia da pesquisa e os resultados do segundo levantamento feito com pesquisadores da i4.0.

5.1. Método de pesquisa

Conforme definido na introdução, esta dissertação de mestrado é orientada por duas questões de pesquisa:

Questão Geral 1 – Quais são as novas competências do Engenheiro de Produção para atuar na Indústria 4.0?

Questão Geral 2 – Como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

No capítulo 4, que apresenta o primeiro *survey* realizado com professores, tratou-se apenas da segunda questão. Para o segundo *survey*, apresentado neste capítulo, considerando as críticas de um revisor do artigo baseado no primeiro *survey* (LEMSTRA; QUINAGLIA; MESQUITA, 2022), foi incluída a primeira questão geral acima sobre as competências.

Da mesma forma que no capítulo 4, as questões gerais serão desdobradas em cinco questões de pesquisa específicas para o segundo *survey*, formuladas a seguir:

1.1 Quais são as novas **competências** do engenheiro de produção para atuar na i4.0?

1.2 Qual é o grau de **importância** de inclusão de tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

1.3 Quais são os maiores **desafios** para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

1.4 Quais são as melhores **estratégias** para inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?

1.5 Quais são os **impactos** da transformação digital no ensino de Engenharia de Produção?

Para o levantamento empregou-se um questionário composto de 10 questões, sete delas fechadas e três abertas (Quadro 6, ver versão original em inglês no apêndice D). Nas questões fechadas, foi utilizada uma escala de *Likert* de 5 pontos para quantificar as respostas. Utilizou-se o aplicativo de pesquisas *Google Forms* para coletar e salvar as respostas em uma planilha eletrônica.

Quadro 6 – Questionário do survey com pesquisadores

<p>Questão 1 – A Indústria 4.0 exige novas competências do engenheiro para trabalhar em fábricas inteligentes. Por favor, avalie a importância (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) das seguintes doze soft skills: (1) Trabalho em Equipe; (2) Comunicação; (3) Liderança; (4) Resolução de Problemas; (5) Empreendedorismo; (6) Abertura à Diversidade; (7) Autonomia; (8) Pensamento Crítico; (9) Pensamento Sistêmico; (10) Visão Econômica; (11) Visão social; (12) Preocupação Ambiental. Além dessas, gostaria de acrescentar alguma competência geral? Qual(is)?</p>
<p>Questão 2 – A Indústria 4.0 exige novas competências do engenheiro para trabalhar em fábricas inteligentes. Por favor, avalie a importância (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) das seguintes doze hard skills: (1) Análise de Dados; (2) Programação de Computadores; (3) Desenho de Algoritmos; (4) Simulação de Sistemas; (5) Tecnologias Digitais; (6) Tecnologias de Produção; (7) Ciência dos Materiais; (8) Projeto de Produto; (9) Projeto de Fábrica; (10) Gestão de Processos; (11) Gestão de Projetos; (12) Gestão de Negócios. Além dessas, gostaria de acrescentar alguma competência específica? Qual(is)?</p>
<p>Questão 3 – Esta pesquisa considera dez tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0: (1) Análise de Big Data; (2) Manufatura Aditiva; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Realidade Virtual e Aumentada; (5) Robôs Autônomos; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Simulação Digital; (8) Computação em Nuvem; (9) Segurança cibernética; (10) Inteligência artificial. Você teria alguma inclusão ou exclusão desta lista? (Sim/Não) Qual(is)?</p>
<p>Questão 4 – Por favor, avalie a prioridade de inclusão (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção: 1) Análise de Big Data; (2) Manufatura Aditiva; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Realidade Virtual e Aumentada; (5) Robôs Autônomos; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Simulação Digital; (8) Computação em Nuvem; (9) Segurança cibernética; (10) Inteligência artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 5 – Por favor, avalie a dificuldade de inclusão (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção: (1) Análise de Big Data; (2) Manufatura Aditiva; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Realidade Virtual e Aumentada; (5) Robôs Autônomos; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Simulação Digital; (8) Computação em Nuvem; (9) Segurança Cibernética; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 6 – Por favor, avalie os seguintes desafios (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) para incluir as tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção: (1) Apoio Institucional; (2) Recursos para Laboratórios; (3) Infraestrutura Adequada; (4) Corpo Docente Treinado; (5) Gerenciamento dos Programas de Ensino; (6) Resistência à Mudança; (7) Parcerias Internas; (8) Parcerias com a Indústria; (9) Outros (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 7 – Por favor, avalie a adequação das seguintes estratégias (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) de inclusão das tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção: (1) Modernização dos Laboratórios; (2) Implementação de Fábricas de Aprendizagem; (3) Inovação Curricular; (4) Parceria Universidade-Indústria; (5) Atividades Extracurriculares; (6) Cursos Online. Outros (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 8 – A Aprendizagem Ativa é uma tendência no ensino de engenharia. Por favor, avalie o impacto das seguintes práticas de aprendizado ativo (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) nos cursos de Engenharia Industrial: (1) Sala de Aula Invertida (2) Aprendizagem Baseada em Problemas (3) Aprendizagem Baseada em Projetos (4) Estudos de Caso (5) Aprendizagem baseada em equipe (6) Aprendizagem Híbrida (6) Gamificação. Outros (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 9 – O currículo tradicional de Engenharia de Produção inclui: (1) Manufatura, (2) Cadeia de Suprimentos, (3) Pesquisa Operacional, (4) Engenharia da Qualidade, (5) Engenharia de Produto, (6) Engenharia Organizacional, (7) Engenharia Econômica, (8) Engenharia de Fatores Humanos, (9) Sustentabilidade, (10) Educação em Engenharia. Considerando o cenário i4.0, quais novas áreas você acha que deveriam ser incluídas nos cursos de Engenharia de Produção?</p>
<p>Questão 10 – Sinta-se à vontade para complementar sua participação com quaisquer sugestões e comentários adicionais sobre esta pesquisa.</p>
<p>Perfil do respondente</p>
<p>Nome (opcional):</p>
<p>e-mail (obrigatório):</p>
<p>Qual é o seu <i>background</i> principal?</p>
<p>Qual assunto você pesquisa principalmente?</p>

Fonte: Autora.

As perguntas do questionário são baseadas na revisão de literatura apresentada nos capítulos 2 e 3 deste trabalho. O questionário foi dividido em sete

seções e empregou-se a validação sugerida por Leedy e Ormrod (2015), apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Validação do *survey* com pesquisadores

Tópicos	Questões	Qual é a razão para dessa pergunta?	Tipo de pergunta		Com qual questão de pesquisa ela se relaciona?
			Questão Aberta	Questão Fechada	
Competências	1	Identificar as <i>soft skills</i> mais importantes para o engenheiro de produção atuar na i4.0.		X	2.1
	2	Identificar as <i>hard skills</i> mais importantes para o engenheiro de produção atuar na i4.0.		X	
Prioridades	3	Identificar se há a necessidade de incluir ou excluir alguma tecnologia habilitadora da i4.0 na lista elaborada.	X		2.2
	4	Analisar as prioridades de inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.		X	
Desafios	5	Analisar as dificuldades de inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.		X	2.3
	6	Identificar os desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.		X	
Estratégias	7	Identificar as estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.		X	2.4
Impactos	8	Avaliar os impactos da aprendizagem ativa nos cursos de Engenharia de Produção.		X	2.5
	9	Identificar novas áreas para inclusão no currículo de Engenharia de Produção.	X		
Comentários	10	Coletar outras questões não contempladas nas perguntas anteriores.	X		Não está diretamente relacionada
Identificação	Perfil do respondente	Identificar e caracterizar os respondentes.	X		

Fonte: Autora.

Antes do envio do questionário aos respondentes, conforme sugerido por Leedy e Ormrod (2015), foi realizado um teste piloto com cinco professores, que avaliaram as perguntas quanto à clareza, relevância e coerência com os objetivos da pesquisa. As críticas e sugestões foram incorporadas na versão final do questionário (Quadro 6).

Os respondentes da pesquisa são autores de artigos relevantes sobre i4.0. Esses artigos foram levantados da seguinte forma. Primeiro, foi realizada uma pesquisa bibliográfica no banco de dados da WoS, com a palavra-chave “*industry 4.0*”, documentos do tipo: artigos, artigos de revisão e conferência; no idioma inglês e nas categorias: engenharia industrial e engenharia de manufatura. Essa busca resultou em 3.760 artigos, que foram exportados para uma planilha eletrônica.

Uma vez selecionados, os artigos foram classificados em ordem decrescente de citações por ano, e registrados os autores dos 400 artigos mais citados para compor a base de cadastro dos respondentes. Após exclusão dos *e-mails* duplicados, o cadastro inicial resultou em 732 pesquisadores. Porém, após o primeiro envio, 103 *e-mails* foram inválidos, assim, a base final ficou com 629 pesquisadores. O Quadro 8 apresenta todas essas etapas.

Quadro 8 – Seleção dos respondentes

1. Base de Dados:		Web of Science (WoS)
2. Critérios de Pesquisa		
2.1 Documento:	Pesquisa o título, resumo, as palavras-chave do autor e o <i>Keywords Plus</i>	
2.2 Palavras-chave:	"Industry 4.0"	
2.3 Ano:	2012-2023	
2.4 Idioma:	Inglês	
2.5 Categoria(s) da WoS:	Engenharia Industrial e Engenharia de Manufatura	
2.5 Tipo(s) de documento:	Artigo ou Artigo de Revisão ou Artigo de Conferência	
2.6 Data da pesquisa:	15 de fevereiro de 2023	
3. Seleção de artigos		
Palavras-chave:	16.611	
E Ano de Publicação:	16.611	
E Idioma:	16.023	
E Categoria(s) da WoS:	4.117	
E Tipo(s) de documento:	3760	
4. Seleção de pesquisadores		
Artigos selecionados para coleta de <i>e-mails</i> :	Artigos \geq 10 citações / ano = 400 artigos	
Total de <i>e-mails</i> obtidos:	840	
Total após a eliminação de <i>e-mails</i> duplicados:	732	
Total de <i>e-mails</i> válidos:	629	

Fonte: Autora.

O questionário ficou aberto entre o período de 15/02/2023 a 09/05/2023. O envio foi feito em quatro momentos (primeiro envio e três lembretes). O *e-mail* convite e o *e-mail* lembrete estão nos Apêndices – E e F desta dissertação, respectivamente. Depois dos quatro envios, foram obtidas 71 respostas ao questionário, sendo uma delas descartada por estar incompleta. Considerando as 70 respostas válidas obteve-se uma taxa de respostas de 11,1%. Os resultados são apresentados na próxima seção.

5.2. Análise dos resultados

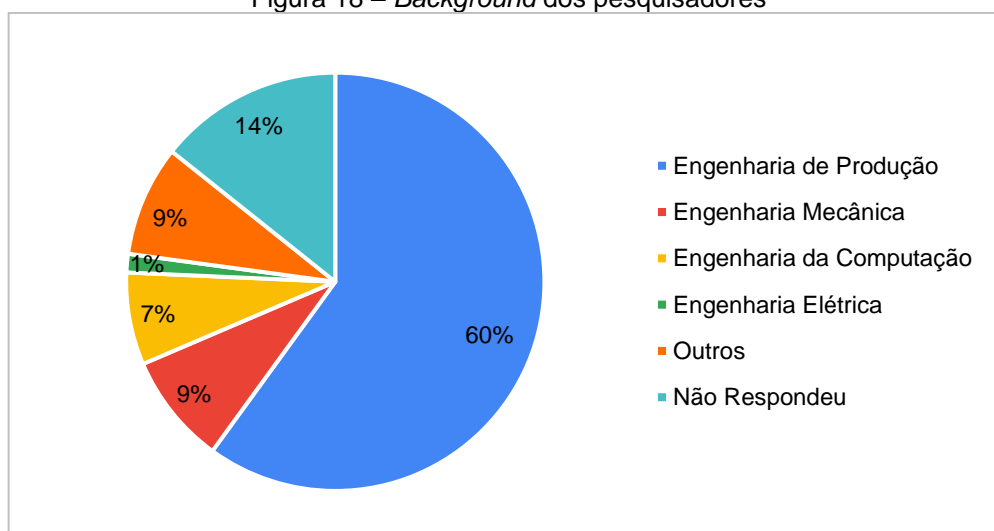
Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Ela está dividida em seis subseções: perfil do respondente, competências (questão específica 1.1), importância (1.2), desafios (1.3), estratégias (1.4) e impactos (1.5).

5.3. Perfil do respondente

Nesta subseção, analisa-se o perfil do respondente com relação a dois aspectos: (i) formação básica e (ii) área de pesquisa principal.

As áreas mencionadas pelos respondentes foram agrupadas em 4 áreas principais: (i) Engenharia de Produção; (ii) Engenharia Mecânica; (iii) Engenharia da Computação e (iv) Engenharia Elétrica. Dos 70 respondentes, 9 não informaram a área de formação e 6 informaram outras áreas. A Figura 18 apresenta a distribuição dos respondentes por *background*.

Figura 18 – *Background* dos pesquisadores



Fonte: Autora.

A Tabela 4 apresenta as linhas de pesquisas dos respondentes.

Tabela 4 – Principais linhas de pesquisa dos respondentes

#	Principais Linhas de Pesquisa	Frequência
1	Tecnologias habilitadoras da i4.0	18
2	Indústria 4.0	16
3	Gerenciamento de operações	7
4	<i>Supply Chain</i>	7
5	Ergonomia	2
6	Logística	2
7	Planejamento e controle de produção	2
8	Competências humanas	1
9	Controle de qualidade	1
10	Design centrado no ser humano	1
11	Design de produto	1
12	Educação em engenharia	1
13	Esforço cognitivo	1
14	<i>Lean manufacturing</i>	1
15	Sistema produto-serviço	1
16	Sustentabilidade	1
17	Não respondeu	7
Total		70

Fonte: Autora.

5.4. Questão de pesquisa 1.1 – competências

A questão específica de pesquisa 1.1 avalia quais são as novas competências (*hard e soft*) que o engenheiro de produção precisa desenvolver para atuar nas fábricas inteligentes. As perguntas 1 e 2 do *survey* com pesquisadores abordam as competências *soft e hard*, respectivamente.

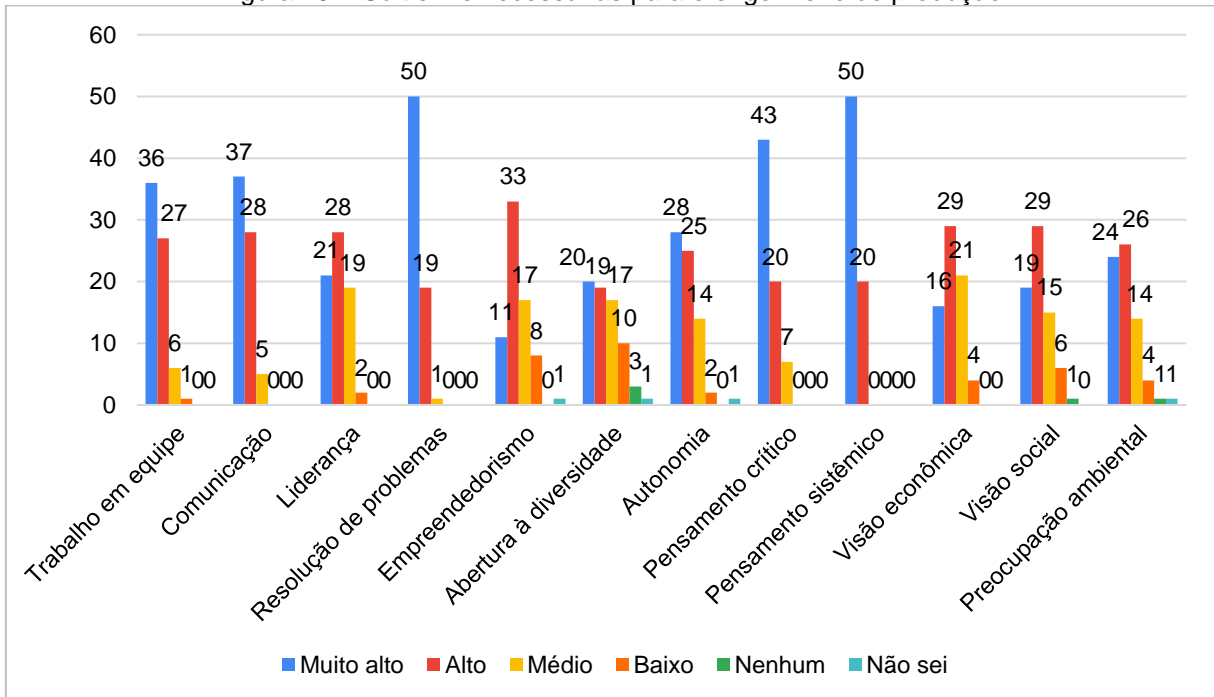
A Figura 19 mostra que todas as *soft skills* foram consideradas com grau de relevância “alto” ou “muito alto”, com destaques para habilidades de resolução de problemas e pensamento sistêmico. A Figura 20 apresenta o grau de relevância médio das *soft skills* na opinião dos pesquisadores.

Outras *soft skills* foram citadas pelos respondentes:

- a) trabalhar em equipe multi e interdisciplinar (não apenas trabalhar em equipe);
- b) ter empatia e respeito ao ser humano;
- c) inteligência emocional, financeira e corporal;
- d) habilidade de aprender, ensinar e pesquisar;
- e) habilidade de tomar decisões;
- f) visão social e do negócio (não apenas empreendedorismo);
- g) criatividade;

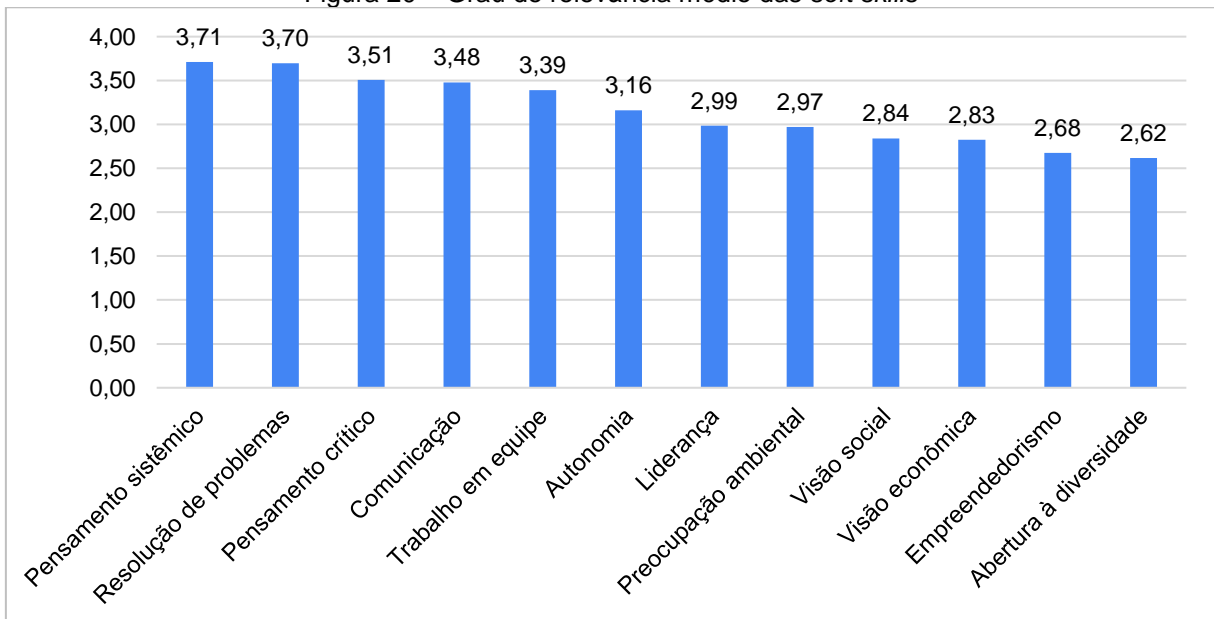
- h) habilidade de abstração e compreensão em situações difíceis;
- i) *lean thinking*;
- j) confiança e comprometimento.

Figura 19 – *Soft skills* necessárias para o engenheiro de produção



Fonte: Autora.

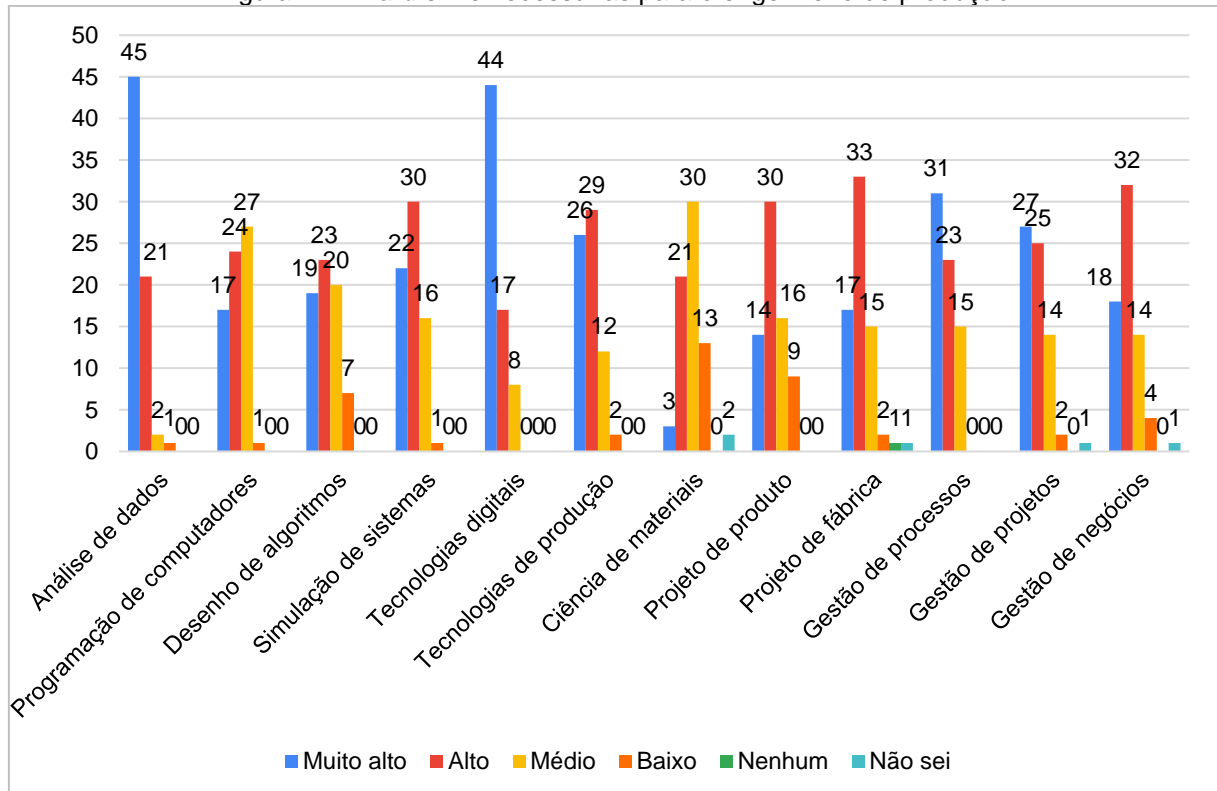
Figura 20 – Grau de relevância médio das *soft skills*



Fonte: Autora.

Com relação às *hard skills*, a Figura 21 mostra que, com exceção de programação de computadores, ciência de materiais e desenho de algoritmos, todas as competências tiveram grau de relevância “alto” ou “muito alto” como resposta mais frequente, com destaques para análise de dados, tecnologias digitais, gestão de processos e projetos.

Figura 21 – *Hard skills* necessárias para o engenheiro de produção



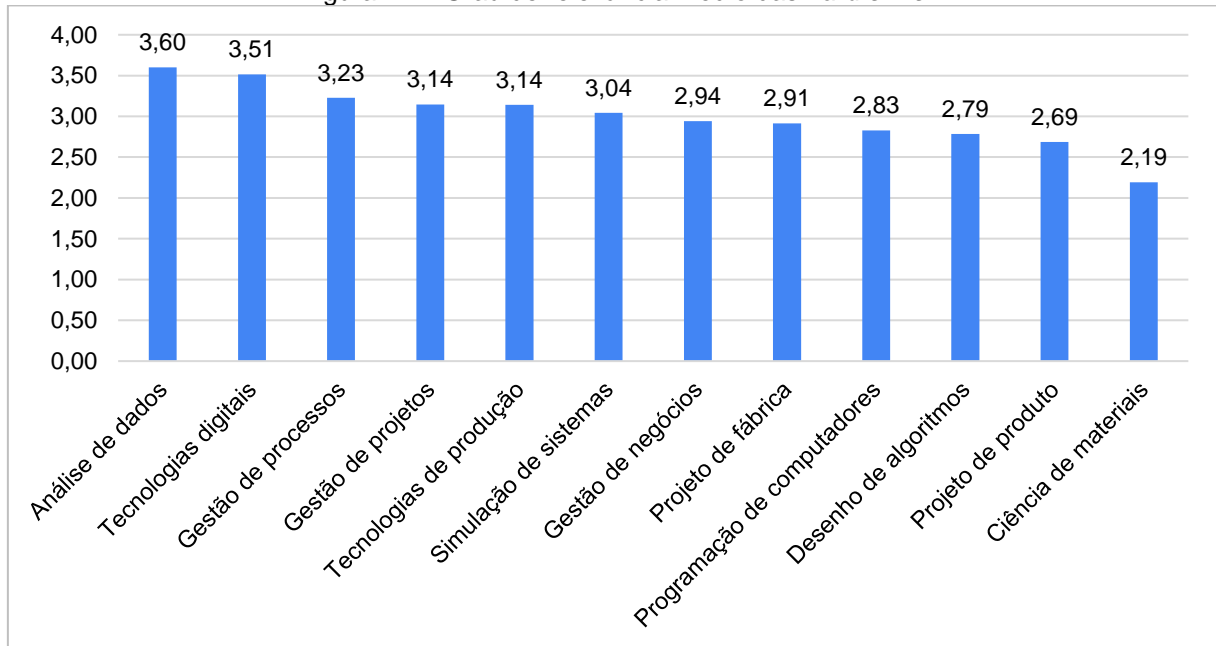
Fonte: Autora.

A Figura 22 apresenta o grau de relevância médio das *hard skills* na opinião dos pesquisadores. Outras *hard skills* foram citadas pelos respondentes:

- gestão de mudanças;
- design de negócios, sistemas e organizações;
- design de sistemas flexíveis e reconfiguráveis;
- design centrado na sustentabilidade e economia circular;
- design centrado no ser humano;
- competências básicas de matemática, estatística e computação;
- competências básicas de robótica e automação;
- facilidade de relacionamento com profissionais de computação;

- i) visão ampla da análise de dados, projeto de produtos e sistemas circulares de produto-serviço;
- j) competências para atuar no governo digital.

Figura 22 – Grau de relevância médio das *hard skills*



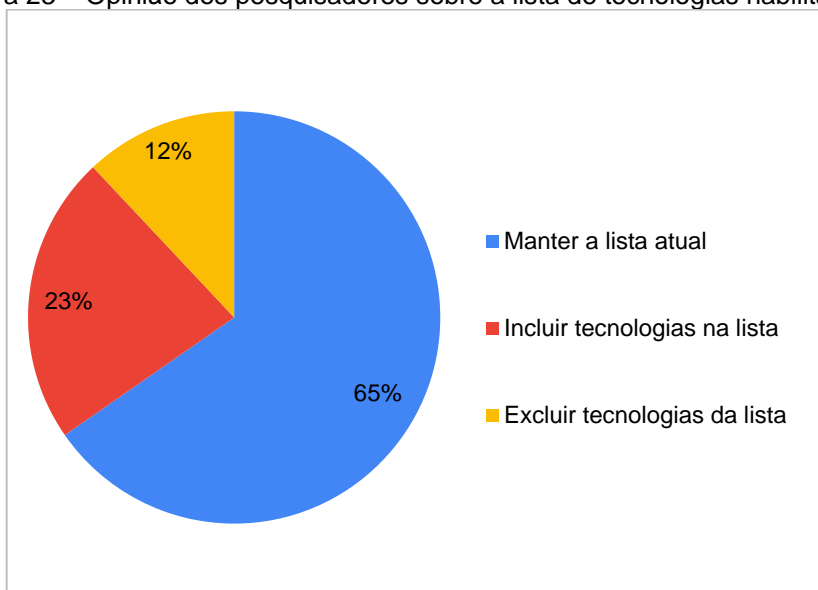
Fonte: Autora.

5.5. Questão de pesquisa 1.2 – importância

A exemplo do primeiro *survey*, as quatro questões seguintes, tratam da inclusão das tecnologias nos cursos. A questão específica de pesquisa 1.2 avalia o quão importante é a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção na opinião dos pesquisadores.

Primeiramente, buscou-se validar a lista das dez tecnologias habilitadoras apresentadas no questionário (as mesmas do primeiro levantamento), perguntando sobre a necessidade de inclusão ou exclusão de tecnologias da lista (questão 3). A Figura 23 mostra que a maior parte dos pesquisadores concorda com a relação das tecnologias habilitadoras conforme apresentadas.

Figura 23 – Opinião dos pesquisadores sobre a lista de tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Quase um quarto dos respondentes apontaram a necessidade da inclusão de alguma tecnologia nessa lista. A Tabela 5, lista os tópicos citados, com destaque para gêmeos digitais e sistema ciberfísico. A primeira tecnologia possibilita a criação de uma versão digital de um produto físico ou sistema, enquanto a segunda visa controle, monitoramento, transferência e intercâmbio de dados em tempo real.

Tabela 5 – Tecnologias que deveriam ser incluídas

#	Tecnologias que deveriam ser incluídas	Frequência
1	Gêmeos digitais	7
2	Sistema ciberfísico	6
3	Blockchain	4
4	Robôs autônomos e colaborativos	2
5	Informática industrial	1
6	Metaverso	1
7	Processamento de linguagem natural	1
8	Raciocínio baseado em casos	1
9	Rede de sensores sem fio	1
10	Soluções 'físicas' avançadas (ex.: drones)	1
11	Tecnologias de registro distribuído	1
12	Veículos autônomos	1
13	Visão computacional	1
14	5G	1
Total		29

Fonte: Autora.

Alguns respondentes sugeriram exclusões na lista, principalmente o tópico integração horizontal e vertical de sistemas. A Tabela 6 apresenta os tópicos citados para exclusão.

Três respondentes pontuaram que integração horizontal e vertical de sistemas deveria ser excluída da lista, pois essa integração não configura propriamente uma tecnologia da i4.0, ela caracteriza formas de funcionalidade e integração das tecnologias.

Outro respondente sinalizou que, apesar dessas tecnologias serem as mais relevantes, existem classificações diversas na literatura. Por último, um respondente comentou que é melhor incluir gêmeos digitais ao invés de vez de simulação digital, por se tratar de uma abordagem mais geral, que inclui a simulação.

Tabela 6 – Tecnologias que deveriam ser excluídas

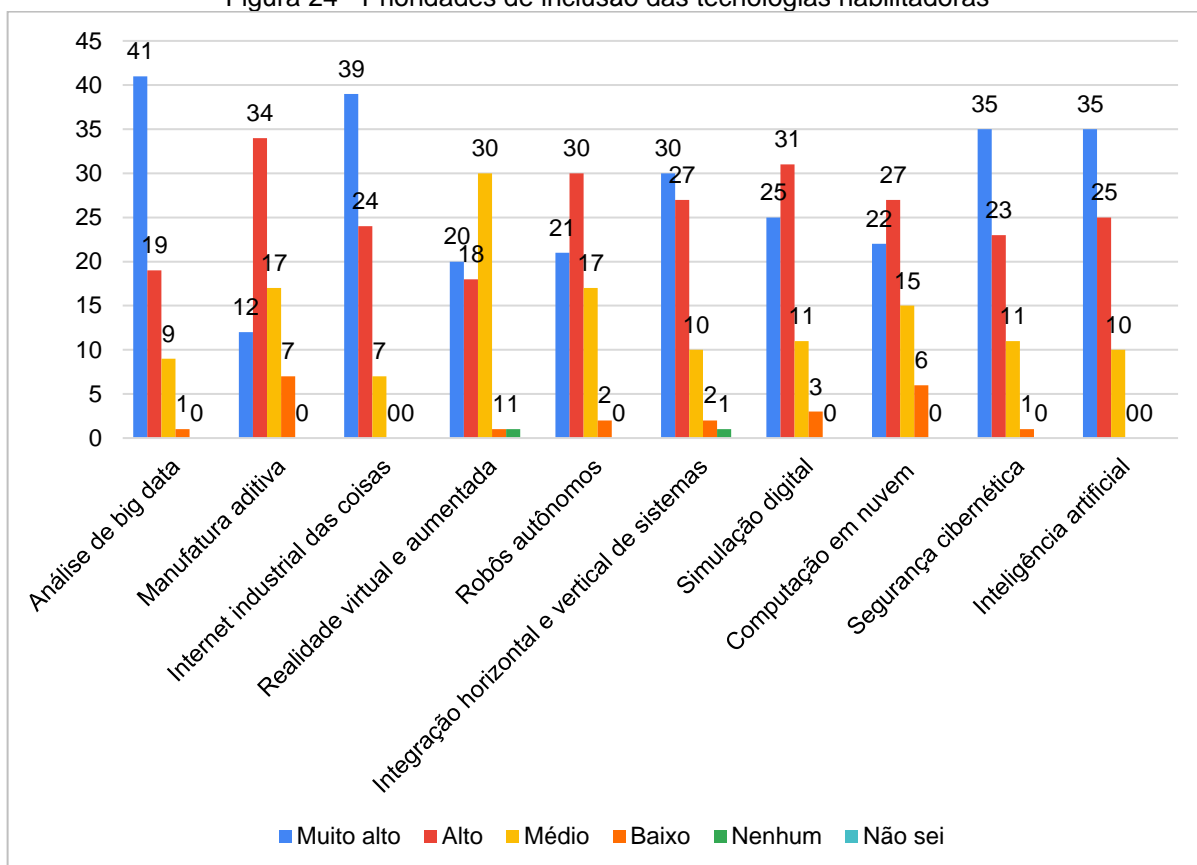
#	Tecnologias que deveriam ser excluídas	Frequência
1	Integração vertical e horizontal de sistemas	4
2	Realidade virtual e aumentada	2
3	Simulação digital	2
4	Inteligência artificial	1
5	Manufatura aditiva	1
6	Robôs autônomos	1
7	Segurança cibernética	1
Total		12

Fonte: Autora.

A seguir, perguntou-se sobre o grau de prioridade de inclusão de cada uma das tecnologias (pergunta 4). A Figura 24 mostra que, com exceção de realidade virtual e aumentada, todas as tecnologias possuem prioridade muito alta e alta de inclusão como resposta mais frequente.

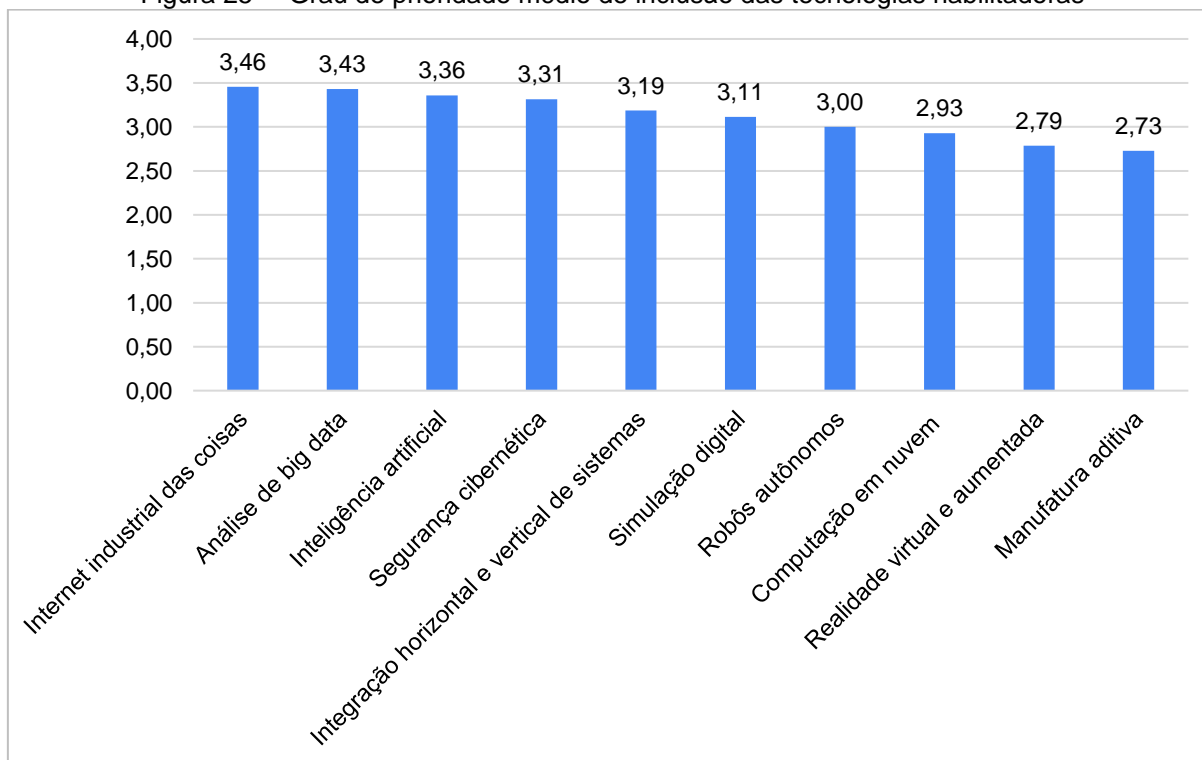
Para explorar melhor esta questão, calculou-se o grau de prioridade médio de cada tecnologia, em uma escala de 0 a 4, considerando as respostas "nenhum" igual a 0, "baixo" igual a 1, "médio" igual a 2, "alto" igual a 3 e "muito alto" igual a 4. O resultado está apresentado na Figura 25.

Figura 24 - Prioridades de inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Figura 25 – Grau de prioridade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

Alguns comentários sobre o grau de importância de inclusão dessas tecnologias foram feitos. Dentre os comentários, destacam-se os seguintes:

- a) o engenheiro de produção precisa compreender essas tecnologias e os desafios de implantação;
- b) o engenheiro de produção não precisa ser especialista nessas tecnologias, o conhecimento básico já é suficiente, mas ele precisa ser capaz de escolher e entender as aplicações dessas tecnologias;
- c) com as diversas tecnologias disponíveis para os alunos, é adequado que eles tenham um entendimento básico de tudo;
- d) esses tópicos são melhores para serem estudados em cursos de mestrado;
- e) algumas dessas tecnologias podem ser consideradas, dependendo a ênfase do curso em questão.

5.6. Questão de pesquisa 1.3 – desafios

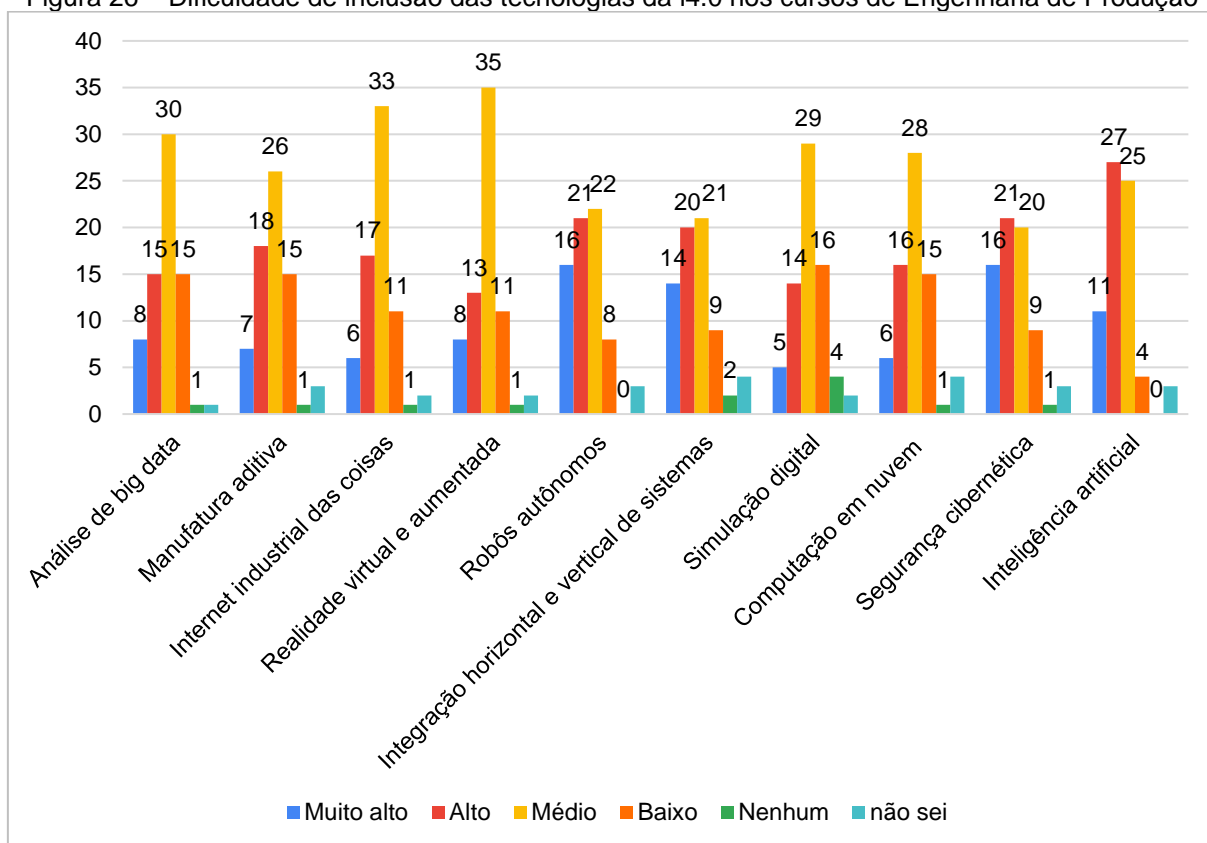
A questão de pesquisa específica 1.3 aborda os desafios para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. As perguntas 5 e 6 do questionário remetem a essa questão.

Na pergunta 5, questionou-se sobre a dificuldade de incluir cada uma das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção. A Figura 26 mostra que, inteligência artificial e segurança cibernética, são as tecnologias apontadas com maior dificuldade para inclusão, enquanto as demais foram indicadas como tecnologias de grau de dificuldade mediano para inclusão. A Figura 27 mostra o grau de dificuldade médio por tecnologia.

Alguns comentários sobre a dificuldade de inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção foram feitos. Dentre os comentários, destacam-se os seguintes:

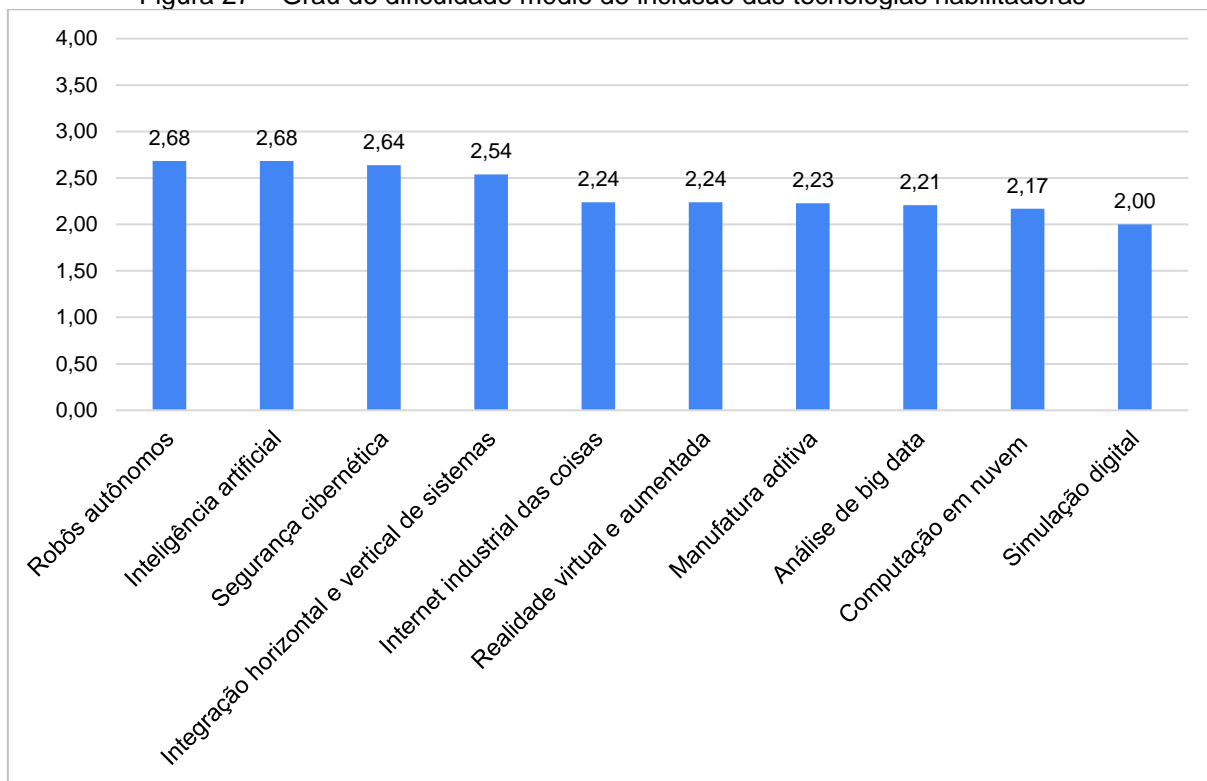
- a) o grau de dificuldade depende do nível de profundidade no ensino dessas tecnologias;
- b) a maioria dessas tecnologias requerem conhecimentos prévios, que não fazem parte do currículo;
- c) a dificuldade depende do orçamento;
- d) algumas dessas tecnologias, como manufatura aditiva, dependem do acesso a espaço, equipamentos e materiais.

Figura 26 – Dificuldade de inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção



Fonte: Autora.

Figura 27 – Grau de dificuldade médio de inclusão das tecnologias habilitadoras



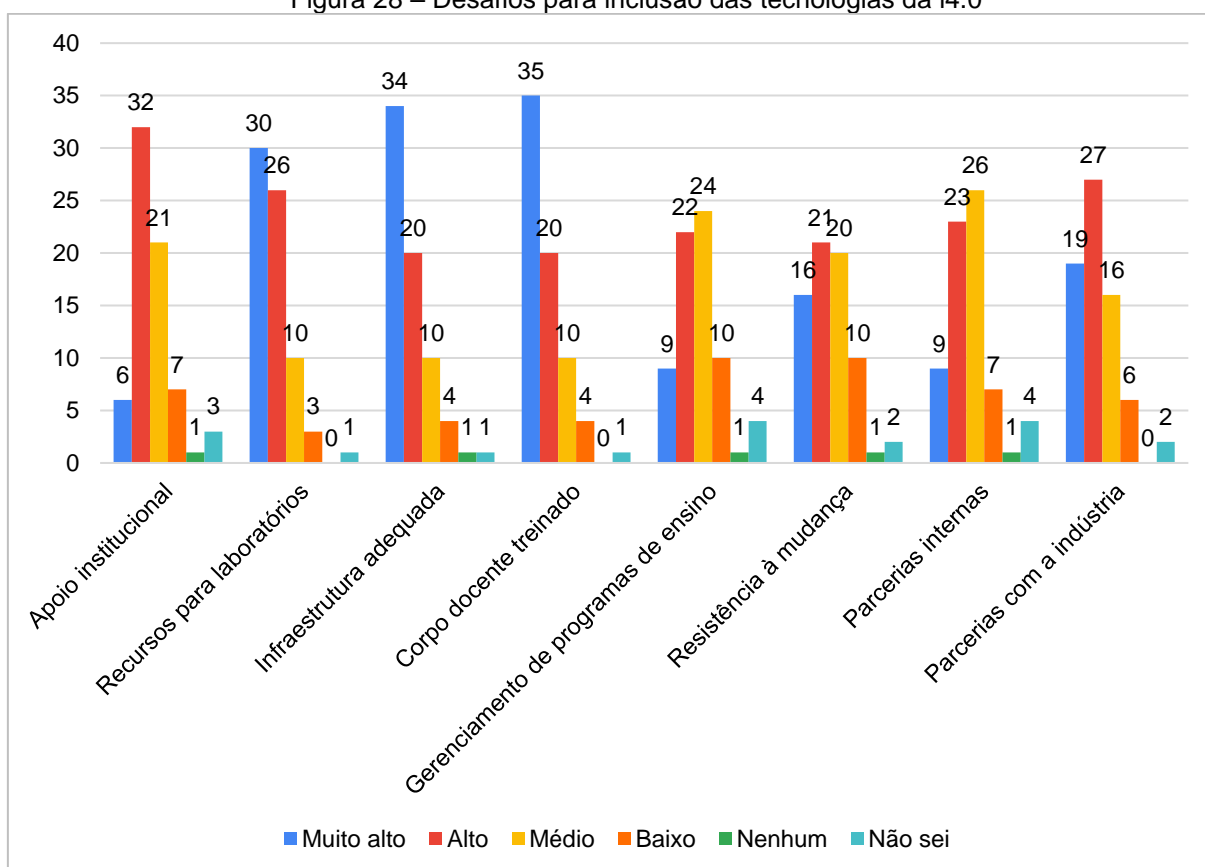
Fonte: Autora.

Na pergunta 6, pediu-se para os respondentes avaliarem oito desafios para a inclusão dessas tecnologias nos cursos de Engenharia de Produção. De acordo com a Figura 28, o maior desafio é ter um corpo docente treinado, infraestrutura adequada e recursos para laboratórios. A Figura 29 mostra o grau de dificuldade médio dos desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras.

Alguns comentários sobre os desafios para a inclusão das tecnologias da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção foram citados. Dentre os comentários, destacam-se os seguintes:

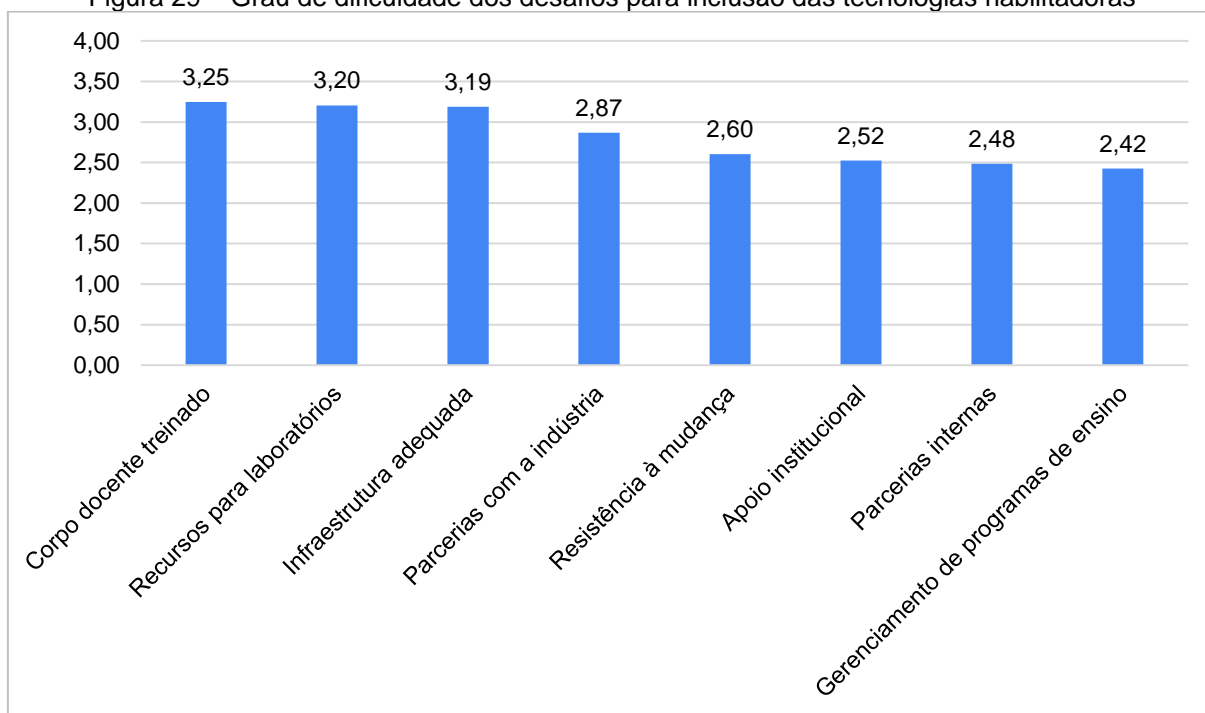
- a) rápida obsolescência das tecnologias;
- b) falta de apoio dos governos e das indústrias;
- c) falta de parcerias internacionais;
- d) profissionais entusiastas e com conhecimento sobre indústria 4.0;
- e) disponibilidade de espaço na grade curricular para combinar novas disciplinas com as tradicionais também necessárias nos currículos.

Figura 28 – Desafios para inclusão das tecnologias da i4.0



Fonte: Autora.

Figura 29 – Grau de dificuldade dos desafios para inclusão das tecnologias habilitadoras



Fonte: Autora.

5.7. Questão de pesquisa 1.4 – estratégias

A questão de pesquisa específica 1.4 tem como objetivo analisar quais são as melhores estratégias para a inclusão das tecnologias habilitadoras da i4.0 nos cursos de Engenharia de Produção.

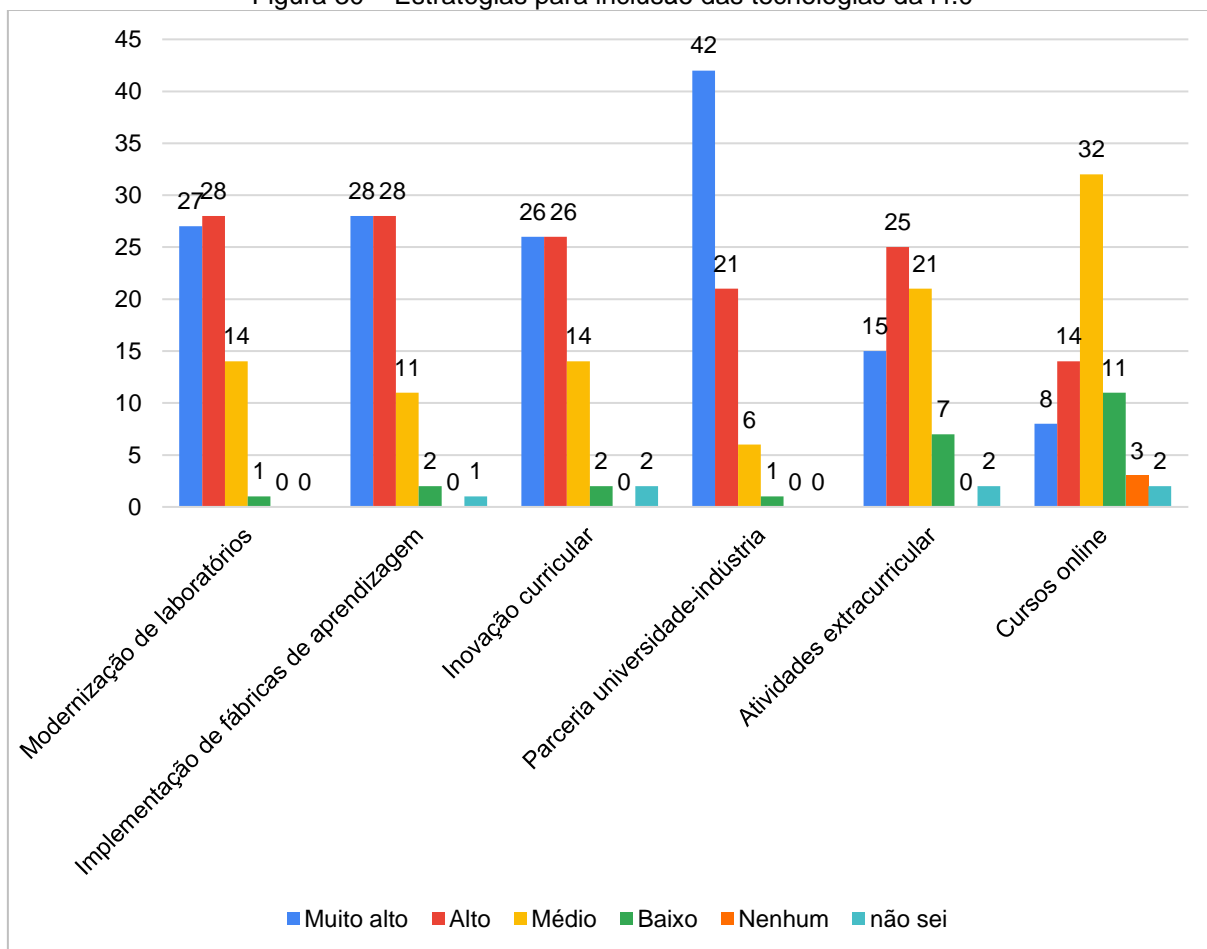
Na pergunta 7, foi questionada a adequação de algumas estratégias de inclusão das tecnologias da i4.0 no curso de graduação em Engenharia de Produção. A Figura 30 mostra que a maioria das estratégias citadas são consideradas muito adequadas, com destaque para parceria entre universidade-indústria. A Figura 31 mostra o grau de adequação médio dessas estratégias.

Foram sugeridas 8 estratégias adicionais pelos respondentes:

- trabalho de campo;
- aprendizagem baseada em projetos;
- visitas e estágios em indústrias;
- compartilhamento de instalações e recursos entre universidades e entre universidade e empresas;
- estágios no início e no meio do programa de graduação;
- trabalho em equipe multicultural;
- utilizar a inteligência artificial para o ensino;

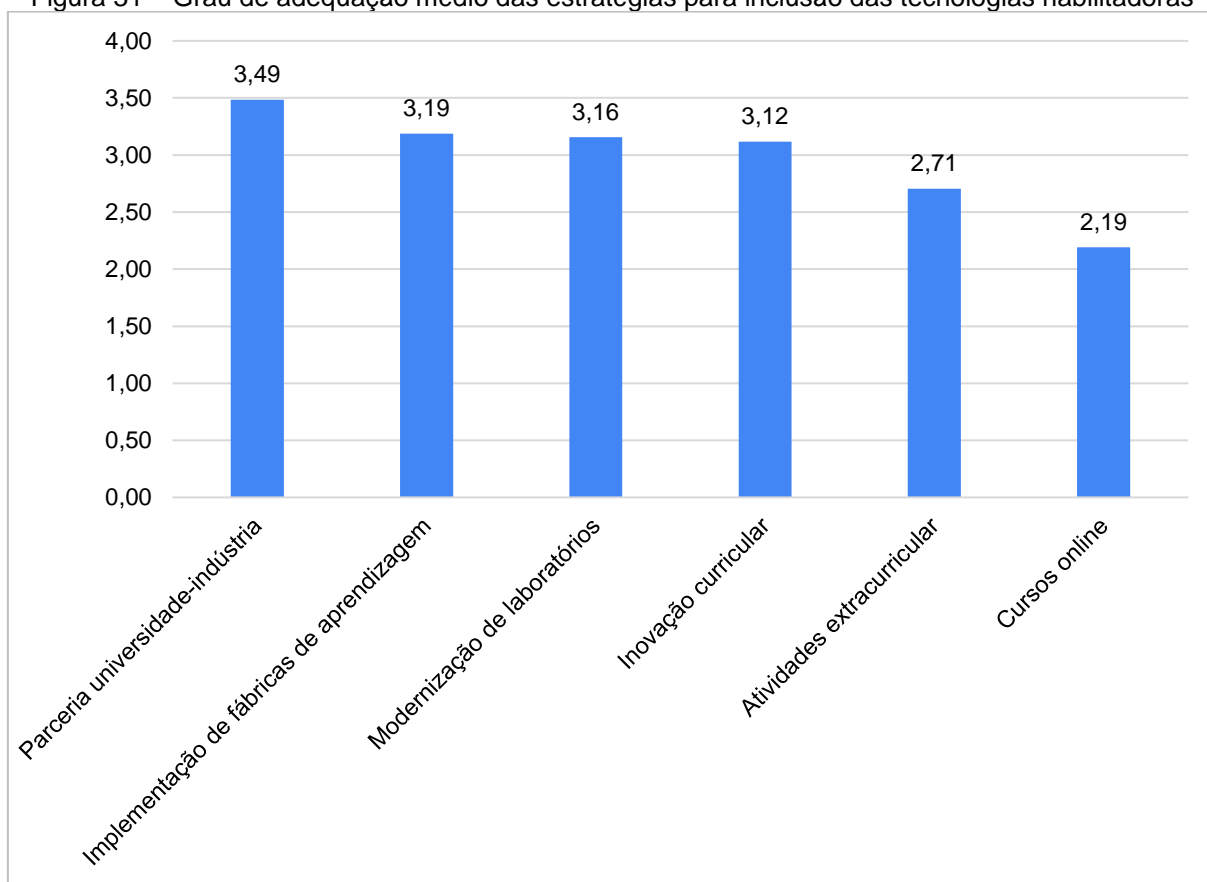
h) fazer parcerias com provedores de soluções e empresas de tecnologia.

Figura 30 – Estratégias para inclusão das tecnologias da i4.0



Fonte: Autora.

Figura 31 – Grau de adequação médio das estratégias para inclusão das tecnologias habilitadoras



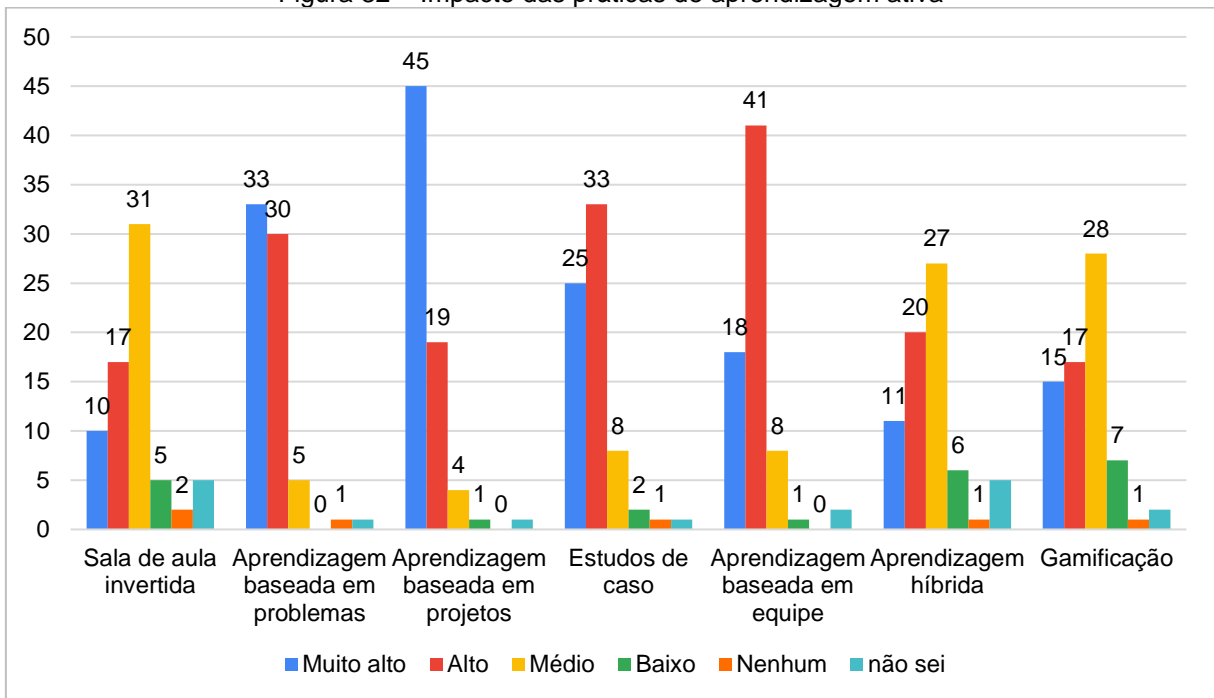
Fonte: Autora.

5.8. Questão de pesquisa 1.5 – impactos

A última questão de pesquisa específica 1.5 tem como objetivo analisar o impacto da transformação digital no ensino e no currículo da Engenharia de Produção. Para isso, foram formuladas as perguntas 8 e 9 do questionário.

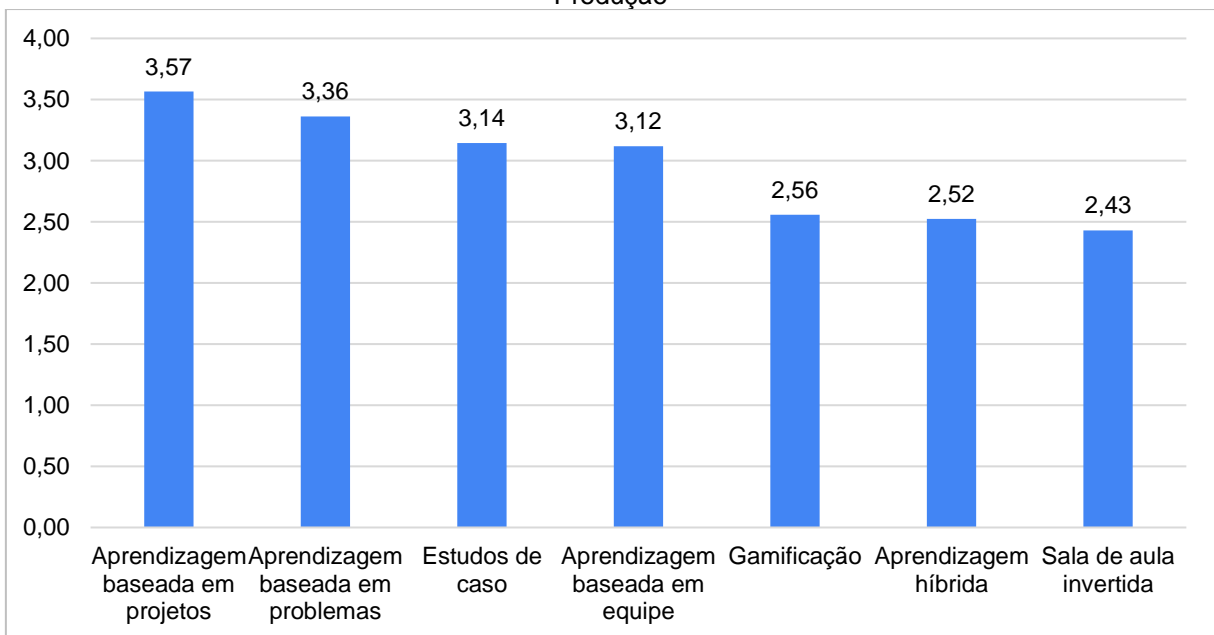
Na pergunta 8, os pesquisadores avaliaram o impacto das práticas de aprendizagem ativa no ensino de Engenharia de Produção. De acordo com a Figura 32, aprendizagem baseada em projetos e aprendizagem baseada em problemas são as práticas de aprendizagem com maior impacto. A Figura 33 apresenta o grau de impacto médio de cada prática na opinião dos pesquisadores.

Figura 32 – Impacto das práticas de aprendizagem ativa



Fonte: Autora.

Figura 33 – Grau de impacto médio das práticas de aprendizagem ativa nos cursos de Engenharia de Produção



Fonte: Autora.

Os pesquisadores também citaram outras práticas de aprendizagem ativa que teriam impacto no ensino de Engenharia de Produção:

- a) aprendizagem Baseada em Desafios (CBL, do inglês, *Challenge-Based Learning*);

- b) aprendizagem Baseada na Indústria (IBL, do inglês, *Industry-Based Learning*);
- c) competições;
- d) um dos pesquisadores comenta sobre o i-FAB, uma fábrica simulada que é utilizada para ensinar conceitos de *Lean* e i4.0 aos alunos, bem como outros sistemas de produção e conceitos de qualidade. O relato completo pode ser encontrado em (CANNAS et al., 2020);
- e) trabalho de campo; e
- f) seminários realizados por empresas.

Na pergunta 9, foram citadas as áreas tradicionais da Engenharia de Produção, utilizando a definição de áreas apresentada pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021).

Considerando o cenário i4.0, perguntou-se, quais novas áreas devem ser incluídas nos cursos de Engenharia de Produção. A Tabela 7 apresenta as áreas citadas pelos pesquisadores.

Tabela 7 – Novas áreas que devem ser incluídas nos cursos de Engenharia de Produção

#	Áreas para serem incluídas	Frequência
1	Tecnologias da i4.0	30
2	Manufatura inteligente	9
3	Programação	5
4	Ciência de dados	3
5	Gêmeos digitais	3
6	Engenharia de sistemas	3
7	Sistemas ciberfísicos	2
8	Sistema de informação	2
9	Integração das tecnologias de informação e produção	2
10	Robótica e automação	2
11	Outras	6
12	Nenhuma	31
Total		98

Fonte: Autora.

Os pesquisadores também fizeram alguns comentários:

- a) a perspectiva não é incluir coisas novas, mas atualizar e desenvolver as existentes. Não faz sentido dedicar tempo e esforço a coisas que em pouco tempo serão capturadas pela tecnologia. Atualmente, diz-se que o ChatGPT removerá a maioria das tarefas trabalhosas de programação, quer dizer, o engenheiro de produção deve entender o que essas coisas podem fazer e

organizá-las, mas não tentar ser algo diferente, como se tornar um programador;

- b) todas essas áreas temáticas devem ser modificadas de acordo com o desenvolvimento de novas tecnologias. Por exemplo: *Supply Chain* se torna mais centrada em dados; a melhoria do atendimento ao cliente depende de como os dados foram analisados;
- c) os engenheiros precisam desenvolver a habilidade de autoconsciência, ou seja, saber o que querem fazer, o motivo, e como navegar por momentos e situações disruptivas;
- d) poderia ser investido tempo numa disciplina com muitos casos reais ou fictícios, para que os alunos pudessem treinar a capacidade de responder rapidamente a mudanças internas e externas da indústria, com as quais possivelmente terão de lidar com frequência;
- e) engenharia e negócios devem trabalhar juntos para aprimorar a compreensão do aluno sobre o ecossistema geral da i4.0. O desafio é entender como trabalhar para que essas tecnologias funcionem juntas.

Por fim, a última pergunta do questionário é uma pergunta aberta para comentários gerais sobre a pesquisa. Dentre as respostas, destacam-se as seguintes sugestões adicionais:

- a) o mais importante é que o engenheiro tenha pensamento crítico. Entender o que está acontecendo e o que é exigido, não tentar se tornar um especialista das tecnologias pois esse não é o objetivo do engenheiro de produção, para isso existem engenheiros eletrônicos, elétricos e de informática, que estarão sempre à frente dos engenheiros de produção nessas áreas. Mas, o desenho e a concepção de processos de produção, sistemas e restrição econômica é algo com o qual eles não podem lidar;
- b) além das discussões sobre todas essas novas tecnologias, também devem ser incluídos como parte do currículo conteúdos sobre as questões éticas dessa revolução.

6 CONCLUSÃO

Assim como os processos industriais devem ser modernizados, considerando as novas tecnologias, o ensino de engenharia também precisa se reinventar para acompanhar as mudanças tecnológicas e para formar profissionais competentes, capazes de enfrentar os desafios da indústria 4.0. Esta dissertação tem como objetivo explorar quais são as competências necessárias para que os Engenheiros de Produção atuem em fábricas inteligentes e como incluir as tecnologias da i4.0 nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia de Produção. Esses objetivos foram alcançados por meio de dois *surveys*. O primeiro foi feito com professores de engenharia de produção brasileiros e o segundo com pesquisadores da i4.0. Neste capítulo final, apresenta-se uma síntese dos resultados, limitações e possíveis desdobramentos da pesquisa.

6.1. Síntese e comparação dos resultados

Esta dissertação é orientada por duas questões gerais de pesquisa. A primeira questão refere-se às competências demandadas pela i4.0, que foi abordada apenas no *survey* com pesquisadores. A segunda questão de pesquisa está relacionada ao ensino das tecnologias 4.0 e foi abordada em ambos os *surveys*. Estas questões foram desdobradas em questões específicas nos capítulos 4 e 5, que apresentam os resultados dos *surveys* 1 e 2, respectivamente.

O *survey* com professores é orientado por cinco questões específicas de pesquisa. Um total de 95 professores responderam ao questionário, o que representa 17,9% do total de *e-mails* válidos. Os resultados mostraram que, na opinião dos respondentes, as tecnologias devem ser incorporadas nos cursos, ainda que alguns tópicos mais técnicos sejam necessários apenas no nível introdutório.

Os resultados também mostraram que, apesar da relevância, o grau de maturidade do ensino destes conteúdos, com exceção de simulação digital e manufatura aditiva, ainda é muito baixo. Além disso, os respondentes, em sua grande maioria atuantes em universidades públicas, apontaram desafios para a efetiva mudança dos cursos, citando principalmente recursos para laboratórios e suporte institucional como os maiores desafios a serem superados.

Com relação às estratégias, além da inclusão desses conteúdos em disciplinas obrigatórias e a criação de disciplinas optativas, destaca-se a conveniência de buscar

maior integração entre as unidades, o que facilitaria a oferta de disciplinas de diferentes áreas da engenharia. Por fim, o *survey* com professores aponta alguns impactos, especialmente nas áreas de manufatura e cadeia de suprimentos, decorrentes da transformação digital nas empresas.

Assim como no primeiro levantamento, o *survey* com pesquisadores também foi orientado por cinco questões específicas de pesquisa. Um total de 70 pesquisadores responderam ao questionário, o que representa a 11,1% de *e-mails* válidos. Conforme destacado, além do ensino das tecnologias 4.0, o segundo *survey* abordou o tema competências, que não foi tratado no primeiro *survey*.

Na opinião dos respondentes, todas as *soft skills* mencionadas no questionário são muito importantes para o Engenheiro de Produção, com destaque para “resolução de problemas” e “pensamento sistêmico”. Com relação às *hard skills*, também todas foram consideradas relevantes, com maior destaque para “análise de dados” e “tecnologias digitais”. Alguns respondentes acreditam que o Engenheiro de Produção deve ser capaz de analisar dados, mas não necessariamente ter grandes habilidades de programação. Neste ponto, entende-se que sim, os engenheiros devem desenvolver habilidades que antes eram típicas de engenheiros de computação, como programar e trabalhar com bancos de dados, para que possam efetivamente aplicar as técnicas de análise das ciências de dados.

As demais questões, assim como no primeiro *survey*, trataram da inclusão das tecnologias habilitadoras nos cursos de Engenharia de Produção. Da mesma forma que no caso dos professores, a maior parte dos pesquisadores concordou com a lista de tecnologias habilitadoras apresentadas, e destacaram a importância de incluir gêmeos digitais e *blockchain* na lista. Para completar, os resultados mostraram que todos estes conteúdos devem ser incorporados nos cursos, ainda que alguns tópicos mais técnicos sejam necessários apenas no nível básico.

Além disso, os desafios para a efetiva mudança dos cursos citados são, principalmente, “treinamento do corpo docente” e “infraestrutura adequada. Apesar das métricas relacionadas a essa questão não serem exatamente as mesmas para os dois *surveys* (no primeiro *survey* foram considerados apenas 4 indicadores, enquanto no segundo *survey* foram 8), ainda assim os principais desafios estão relacionados a estes tópicos citados.

Com relação às estratégias, a maioria dos pesquisadores destaca a “parceria universidade-indústria”. Para essa questão não é possível fazer uma comparação direta dos dois *surveys*, uma vez que as alternativas de respostas foram diferentes. Diferente do primeiro *survey*, o segundo perguntou sobre o impacto das práticas de aprendizagem ativa nas áreas da Engenharia de Produção, sendo “aprendizagem baseada em projetos” e “aprendizagem baseada em problemas” consideradas as práticas mais importantes.

Por último, assim como no primeiro *survey*, os respondentes também se manifestaram sobre as mudanças na Engenharia de Produção, sendo a inclusão de tecnologias da i4.0 a mudança mais relevante. A partir da análise dos resultados dos dois *surveys* é possível observar uma similaridade na compreensão dos dois grupos de respondentes, mesmo que algumas das opções de respostas não tenham sido exatamente as mesmas. O Quadro 9 resume os resultados de ambos os *surveys*.

Quadro 9 – Resumo dos resultados dos *surveys* com professores e pesquisadores

Tópicos	Survey com Professores	Survey com Pesquisadores
Questões de Pesquisa	Questão Geral 2 – Como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?	Questão Geral 1 – Quais são as novas competências do Engenheiro de Produção para atuar na Indústria 4.0? Questão Geral 2 – Como incluir as tecnologias 4.0 nos cursos de Engenharia de Produção?
Total de e-mails válidos	532	629
Total de respondentes	95	70
Taxa de respostas	17,9%	11,1%
Principais Competências	Não avaliado.	Soft Skills – resolução de problemas e pensamento sistêmico. Hard Skills – análise de dados e tecnologias digitais.
Importância da inclusão das tecnologias	As tecnologias devem ser incorporadas nos cursos, ainda que alguns tópicos mais técnicos apenas no nível introdutório.	
Maturidade do ensino das tecnologias	Manufatura aditiva e simulação digital, as demais ainda possuem grau de maturidade muito baixo.	Não avaliado.
Desafios para a inclusão das tecnologias	Recursos para laboratórios e suporte institucional.	Corpo docente treinado e infraestrutura adequada.
Estratégias para a inclusão das tecnologias	Criar disciplinas optativas e incluir nas disciplinas obrigatórias existentes.	Parceria universidade-indústria e implementação de fábricas de aprendizagem.
Impactos da transformação digital	Nas áreas da Engenharia de Produção – operação e processos e cadeia de suprimentos. Inclusão de novas áreas – transformação digital.	Práticas de aprendizagem ativa – Aprendizagem baseada em projeto e aprendizagem baseada em problemas. Inclusão de novas áreas – tecnologias da i4.0.

Fonte: Autora

6.2. Limitações da pesquisa

A primeira limitação é inerente ao método de pesquisa: levantamento de opinião a partir de questionários auto aplicados (*survey*). Neste tipo de pesquisa, há sempre uma discussão sobre a representatividade dos resultados. A pesquisa tem normalmente um viés pois as pessoas mais interessadas no assunto, tendem a ter uma motivação maior em participar da pesquisa. Leedy e Ormrod (2015) recomendam uma análise das não respostas, no entanto, devido à dificuldade de contato pessoal com os não respondentes, não foi possível fazer este tipo de análise.

Outro fator determinante da representatividade deste tipo pesquisa é a taxa de resposta. Nos dois levantamentos, obteve-se uma taxa de 17,9% no primeiro levantamento e 11,1% no segundo, o que corresponde, em termos absolutos a 95 e 70 respondentes, respectivamente. Pelo fato da autora e seu orientador serem brasileiros, pode ter motivado uma maior participação no primeiro *survey* em relação ao segundo.

No caso particular do segundo *survey*, a escolha dos autores foi feita com base em artigos publicados, utilizando apenas a base de dados *Web of Science* e artigos de revista em idioma inglês. Em geral, os artigos são escritos por múltiplos autores e nem todos têm o mesmo envolvimento com o tema, o que pode resultar em menor motivação para responder a pesquisa, que trata de ensino e indústria 4.0.

6.3. Desdobramentos

Pesquisas futuras podem se concentrar em estudos de caso em instituições brasileiras e/ou estrangeiras, que tenham concluído ou estejam em processo de revisão dos seus projetos pedagógicos, visando contemplar novos conteúdos e práticas de aprendizagem, para melhor entender como conduzir este processo de transformação do ensino de Engenharia de Produção.

Outra possibilidade seria complementar esta pesquisa com um *survey* com profissionais da indústria brasileira, para coletar a opinião deles sobre as competências esperadas e comparar com as atuais competências dos egressos de cursos de engenharia. Um estudo desse tipo também poderia auxiliar na reformulação de novos currículos.

Por fim, espera-se que este trabalho ajude docentes e pesquisadores no direcionamento de futuras pesquisas, e sobretudo de professores e coordenadores de

cursos de Engenharia, no auxílio da tomada de decisão, para desenvolvimento de novos programas curriculares que respondam melhor às demandas dos egressos de Engenharia de Produção e da indústria na era da i4.0.

REFERÊNCIAS

- ABEPRO. **ABEPRO**: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2021. Disponível em: <<https://portal.abepro.org.br/profissao/>>. Acesso em: 05 set. 2021.
- ACETO, G; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100129, 2020.
- AHUETT-GARZA, H. et al. Train the trainers in industry 4.0: a model for the development of competencies in non-synchronous environments. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 16, n. 2, p. 775-789, 2022.
- ALABI, M. O. et al. Framework for effective additive manufacturing education: a case study of South African universities. **Rapid Prototyping Journal**, v. 26, n. 5, p. 801-826, 2020.
- ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899-919, 2019.
- ANDERSON, L. W. et al. **A taxonomy for learning, teaching, and assessing**: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman, 2001.
- ARDASHKIN, I. B. et al. Smart-technologies in higher engineering education: modern application trends. In: **Proceedings of International Conference on Research Paradigms Transformation in Social Sciences**, p. 57-64, 2018.
- BABIC, M. et al. Status Quo of Smart Manufacturing Curricula offered by ABET accredited Industrial Engineering programs in the US. **Manufacturing Letters**, v. 33, p. 944-951, 2022.
- BLOCK, B. An innovative teaching approach in Engineering Education to impart reflective digitalization competences. In: **2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. IEEE, p. 1-5, 2018.
- BORDEL, B.; ALCARRIA, R.; ROBLES, T. Industry 4.0 paradigm on teaching and learning engineering. **International Journal of Engineering Education**, v. 35, n. 4, p. 1018-1036, 2019.
- BOTON, C.; FORGUES, D.; HALIN, G. A framework for building information modeling implementation in engineering education. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 45, n. 10, p. 866-877, 2018.
- CANNAS, V. G. et al. i-FAB: teaching how industry 4.0 supports lean manufacturing. In: **Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference: ELEC 2019 6**. Springer International Publishing, 2020. p. 47-55.
- CHAENGPROMMA, N.; PATTANAPAIROJ, S. A gap study between industry expectations and current competencies of bachelor's degree graduates in industrial engineering in Thailand 4.0 era: A case study of industrial engineering graduates of Khon Kaen University. **Cogent Education**, v. 9, n. 1, p. 2093491, 2022.
- CHONG, S. et al. Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3960, 2018.
- CORDERO-GURIDI, J.-d.-J. et al. Design and development of a i4.0 engineering education laboratory with virtual and digital technologies based on ISO/IEC TR 23842-1 standard guidelines. **Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 5993, 2022.
- COŞKUN, S.; KAYIKCI, Y.; GENÇAY, E. Adapting engineering education to industry 4.0 vision. **Technologies**, v. 7, n. 1, p. 10, 2019.

- CUI, Y.; KARA, S.; CHAN, K. C. Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. **Robotics and computer-integrated Manufacturing**, v. 62, p. 101861, 2020.
- DAO, L. T. et al. A bibliometric analysis of Research on Education 4.0 during the 2017–2021 period. **Education and Information Technologies**, v. 28, n. 3, p. 2437-2453, 2023.
- DARKO, A. et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103081, 2020.
- DING, B. Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 119, p. 115-130, 2018.
- EGGER, J.; MASOOD, T. Augmented reality in support of intelligent manufacturing – a systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 140, p. 106195, 2020.
- ELKOSANTINI, S. et al. Industrial needs v. Engineering education curricula related to maintenance, production and quality in industry 4.0: A gap analysis case study in Tunisia and Morocco. **Industry and Higher Education**, p. 1-19, 2023.
- FLORÉN, H. et al. Additive manufacturing technologies and business models – a systematic literature review. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 1, p. 136-155, 2020.
- FRANCO, D. et al. Consolidated and inconclusive effects of additive manufacturing adoption: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 148, p. 106713, 2020.
- FUERTE, J. J. et al. Environment for education on industry 4.0. **IEEE Access**, v. 9, p. 144395-144405, 2021.
- FUERTE, J. J. et al. Guidelines to develop demonstration models on industry 4.0 for engineering training. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, p. 1-17, 2023.
- GALATI, F.; BIGLIARDI, B. Industry 4.0: Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. **Computers in Industry**, v. 109, p. 100-113, 2019.
- GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, I. J.; GRANILLO-MACÍAS, R. Competences of Industrial Engineers in industry 4.0. **Revista electrónica de investigación educativa**, v. 22, 2020.
- GRODOTZKI, J.; ORTELT, T. R.; TEKKAYA, A. E. Remote and virtual labs for engineering education 4.0: achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. **Procedia Manufacturing**, v. 26, p. 1349-1360, 2018.
- GUO, Z. et al. Applications of virtual reality in maintenance during the industrial product lifecycle: A systematic review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, p. 525-538, 2020.
- HECKLAU, F. et al. Holistic approach for human resource management in industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 1-6, 2016.
- HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, M.; ESCOBAR DÍAZ, C. A.; MORALES-MENENDEZ, R. Engineering education for smart 4.0 technology: a review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 14, n. 3, p. 789-803, 2020.
- JERMAN, A.; BACH, M. P.; BERTONCELJ, A. A bibliometric and topic analysis on future competences at smart factories. **Machines**, v. 6, n. 3, p. 41, 2018.
- KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KONG, X. et al. A New Approach for Engineering Education Reform of Power System. **International Journal of Engineering Education**, v. 36, n. 6, p. 1988-1995, 2020.

LEEDY, P. D.; ORMROD, J. E. **Practical research: planning and design**. 11th. ed. New Jersey: Pearson, 2015.

LEMSTRA, M. A. M. S.; MESQUITA, M. A. Industry 4.0: a tertiary literature review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 186, p. 122204, 2023.

LEMSTRA, M. A. M. S.; QUINAGLIA, E. A.; MESQUITA, M. A. Industry 4.0 technologies in industrial engineering courses: a faculty survey in Brazil. **International Journal of Engineering Education**, v. 38, n. 5(A), p. 1458-1469, 2022.

LEZZI, M.; LAZOI, M.; CORALLO, A. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. **Computers in Industry**, v. 103, p. 97-110, 2018.

LI, S. Innovations in Chinese engineering education with digital technologies: A brief review of recent advances. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 26, n. 5, p. 1081-1088, 2018.

LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIAO, Y.; LOURES, E. F. R.; DESCHAMPS, F. Industrial Internet of Things: a systematic literature review and insights. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 6, p. 4515-4525, 2018.

LÓPEZ, E. J. et al. Technical Considerations for the Conformation of Specific **Competences in Mechatronic Engineers in the Context of Industry 4.0 and 5.0**. *Processes*, v. 10, n. 8, p. 1445, 2022.

LU, C. et al. Nuclear power plants with artificial intelligence in industry 4.0 era: Top-level design and current applications - A systemic review. **IEEE Access**, v. 8, p. 194315-194332, 2020.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of industrial information integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

LUNA, A.; CHONG, M.; JURBURG, D. Teaching Integration, Trust, Communication, and Collaboration Competencies Using Challenge-Based Learning for Business and Engineering Programs. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**, v. 17, n. 1, p. 89-98, 2022.

MANOHAR, P. A. et al. Case Studies for Enhancing Student Engagement and Active Learning in Software V&V Education. **Journal of Education and Learning**, v. 4, n. 4, p. 39-52, 2015.

MARTIN, S. et al. A comparative analysis of worldwide trends in the use of information and communications technology in engineering education. **IEEE Access**, v. 7, p. 113161-113170, 2019.

MILIOU, Ourania et al. The Design of a Postgraduate Vocational Training Programme to Enhance Engineering Graduates' Problem-Solving Skills Through PBL. **International Journal of Engineering Education**, v. 38, n. 5(A), p. 1257-1273, 2022.

MIRANDA, J. et al. The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. **Computers & Electrical Engineering**, v. 93, p. 107278, 2021.

MITTAL, S. et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of manufacturing systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.

MOTYL, B.; FILIPPI, S. Trends in engineering education for additive manufacturing in the industry 4.0 era: a systematic literature review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 15, n. 1, p. 103-106, 2021.

- NAPOLEONE, A.; MACCHI, M.; POZZETTI, A. A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 54, p. 305-335, 2020.
- NOSALSKA, K. et al. Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 837-862, 2019.
- NÚÑEZ, J. L. M.; LANTADA, A. D. Artificial Intelligence aided engineering education: state of the art, potentials and challenges. **International Journal of Engineering Education**, v. 36, n. 6, p. 1740-1751, 2020.
- OSTERRIEDER, P.; BUDDE, L.; FRIEDLI, T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: a systematic literature review. **International Journal of Production Economics**, v. 221, p. 107476, 2020.
- PATTANAPAIROJ, S.; NITISIRI, K.; SETHANAN, K. A Gap Study between Employers' Expectations in Thailand and Current Competence of Master's Degree Students in Industrial Engineering under Industry 4.0. **Production Engineering Archives**, v. 27, 2021.
- PRIETO, M. D. et al. Active learning based laboratory towards engineering education 4.0. In: **2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**. IEEE, 2019. p. 776-783.
- RALPH, B. J. et al. Evidence-based redesign of engineering education lectures: theoretical framework and preliminary empirical evidence. **European Journal of Engineering Education**, v. 47, n. 4, p. 636-663, 2022.
- RAMIREZ-MENDOZA, Ricardo A. et al. Engineering Education 4.0:—proposal for a new Curricula. In: **2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. IEEE, 2018. p. 1273-1282.
- RODIĆ-TRMČIĆ, B. et al. Designing a course for smart healthcare engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 26, n. 3, p. 484-499, 2018.
- ROMERO, M. et al. Towards a characterisation of smart systems: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 120, p. 103224, 2020.
- RÜßMANN, M. et al. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- SACKEY, S. M.; BESTER, A.; ADAMS, D. Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114-124, 2017.
- SALAH, B. et al. Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1477, 2019.
- SALAH, B. et al. Integrating the concept of industry 4.0 by teaching methodology in industrial engineering curriculum. **Processes**, v. 8, n. 9, p. 1007, 2020.
- SALAH, B.; KHAN, S.; GJELDUM, N. An automatic yogurt filling system built from scratch based on Industry 4.0 concept. **Transactions of FAMENA**, v. 44, n. 2, p. 59-70, 2020.
- SONY, M.; NAIK, S. Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 10, p. 799-815, 2020.
- SOUZA, R. G.; QUELHAS, O. L. G. Model proposal for diagnosis and integration of industry 4.0 concepts in production engineering courses. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3471, 2020.

STROZZI, F. et al. Literature review on the 'Smart Factory' concept using bibliometric tools. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 22, p. 6572-6591, 2017.

TAHIRU, F. AI in education: A systematic literature review. **Journal of Cases on Information Technology**, v. 23, n. 1, p. 1-20, 2021.

TASIGIORGOU, A. **List of active national policy initiatives for digitisation of industry**, 2017. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/futurium/en/content/digitising-european-industry-catalogue-initiatives.html>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

TERKOWSKY, C.; FRYE, S.; MAY, D. Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for "Working 4.0"? **European Journal of Education**, v. 54, n. 4, p. 577-590, 2019.

WAGIRE, A. A.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R. Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: Using latent semantic analysis approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 1, p. 31-51, 2019.

WAN, C. et al. Cloud manufacturing in China: A review. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 3, p. 229-251, 2020.

WANG, S. et al. Training for smart manufacturing using a mobile robot-based production line. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 16, n. 2, p. 249-270, 2021.

WENDE, M. et al. Framework of an active learning Python curriculum for first year mechanical engineering students. In: **2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. IEEE, 2020. p. 1193-1200.

YEUNG, M. M.-Y. et al. The efficacy of team-based learning in developing the generic capability of problem-solving ability and critical thinking skills in nursing education: A systematic review. **Nurse Education Today**, p. 105704, 2023.

YOSHINO, R. T. et al. Educational test bed 4.0: a teaching tool for industry 4.0. **European Journal of Engineering Education**, v. 45, n. 6, p. 1002-1023, 2020.

ZHENG, P. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 13, n. 2, p. 137-150, 2018.

ZHENG, T. et al. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 6, p. 1922-1954, 2020.

ZHUANG, T.; XU, Xi. 'New engineering education' in Chinese higher education: Prospects and challenges. **Tuning Journal for Higher Education**, v. 6, n. 1, p. 69-109, 2018.

APÊNDICE – A – QUESTIONÁRIO: SURVEY COM PROFESSORES

<p>Questão 1 – Esta pesquisa considera dez tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Você teria alguma inclusão ou exclusão desta lista? (Sim/Não) Quais?</p>
<p>Questão 2 – Avalie a prioridade de inclusão (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 3 – Avalie a maturidade (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) no ensino das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 4 – Avalie a dificuldade (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) de inclusão das seguintes tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Big Data Analytics; (2) Realidade Aumentada; (3) Internet Industrial das Coisas; (4) Robôs Autônomos; (5) Simulação Digital; (6) Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; (7) Computação em Nuvem; (8) Segurança cibernética; (9) Manufatura Aditiva; (10) Inteligência Artificial. Comentários?</p>
<p>Questão 5 – Avalie a dificuldade dos seguintes desafios (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) para incluir as tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Formação de Professores; (2) Recursos para Laboratórios; (3) Apoio Institucional; (4) Parcerias com Empresas; (5) Outros (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 6 – Avalie a adequação das seguintes estratégias (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) de inclusão das tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Incluir nas obrigatoriedades existentes cursos; (2) Criar disciplinas obrigatórias, (3) Criar disciplinas eletivas, (4) Utilizar disciplinas de outros departamentos ou faculdades, (5) Incluí-las em atividades extracurriculares, (6) Outras (especificar). Comentários?</p>
<p>Questão 7 – Avalie a importância (muito alta, alta, média, baixa, nenhuma, não sei) do ensino das tecnologias i4.0 nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição. Comentários?</p>
<p>Questão 8 – Avalie o impacto da transformação digital (muito alto, alto, médio, baixo, nenhum, não sei) nos cursos de graduação em Engenharia de Produção de sua instituição: (1) Manufatura, (2) Cadeia de Suprimentos, (3) Pesquisa Operacional, (4) Engenharia de Qualidade, (5) Engenharia de Produto, (6) Engenharia Organizacional, (7) Engenharia Econômica, (8) Engenharia de Fatores Humanos, (9) Sustentabilidade, (10) Educação em Engenharia.</p>
<p>Questão 9 – Sobre a pergunta anterior, quais novas áreas devem ser incluídas na área de Engenharia de Produção?</p>
<p>Questão 10 – Sinta-se à vontade para complementar sua participação com quaisquer sugestões e comentários adicionais sobre esta pesquisa.</p>
<p>Perfil do respondente</p>
<p>Nome (opcional):</p>
<p>e-mail (obrigatório):</p>
<p>Qual é o seu <i>background</i> principal?</p>
<p>Em qual universidade você mais trabalha?</p>
<p>Em qual faculdade você trabalha principalmente?</p>
<p>Em qual curso você trabalha principalmente?</p>
<p>Qual disciplina você ensina principalmente?</p>

APÊNDICE – B – E-MAIL CONVITE: SURVEY COM PROFESSORES

Assunto: Ensino das Tecnologias da Indústria 4.0 nos Cursos de Engenharia de Produção

Prezado(a) Professor(a) da Engenharia de Produção,

Gostaríamos de convidá-lo a participar da nossa pesquisa, que tem como objetivo levantar a opinião dos docentes dos cursos de Engenharia de Produção sobre o ensino de tecnologias da Indústria 4.0 (i4.0) nos cursos de Engenharia de Produção no Brasil.

Este survey está relacionado ao Projeto “Aplicando a Quarta Revolução Industrial para os Cursos de Engenharia de Produção da USP”, EDITAL PRG 01/2020-2021 - Programa de Estímulo à Modernização e Reformulação das Estruturas Curriculares dos Cursos de Graduação da USP - Novos Currículos para um Novo Tempo. Mais informações disponíveis em: <http://www.engenhariadeproducao4.eesc.usp.br/>.

A pesquisa contém apenas 10 perguntas. Não é necessário se identificar, caso o faça, a equipe de pesquisa se compromete em não divulgar nenhuma informação que leve à identificação de nenhum dos respondentes.

Para responder a pesquisa clique no link abaixo:

<https://forms.gle/rPPLtoti2WKGLemm6>

Em caso de dúvidas, entre em contato conosco.

Antecipadamente, agradecemos sua participação.

Mary Anny M. S. Lemstra (m.a.lemstra@usp.br)

Aluna do programa de mestrado em Engenharia de Produção (PPGEP-USP)

Prof. Dr. Marco A. Mesquita (marco.mesquita@poli.usp.br)

Departamento de Engenharia de Produção (PRO)

Escola Politécnica da USP - São Paulo

APÊNDICE – C – E-MAIL LEMBRETE: SURVEY COM PROFESSORES

Assunto: Lembrete para participar da pesquisa: Ensino das Tecnologias da Indústria 4.0 nos Cursos de Engenharia de Produção

Prezado(a) Professor (a),

Gostaríamos de convidá-lo novamente a participar da nossa pesquisa, que tem como objetivo levantar a opinião dos docentes dos cursos de Engenharia de Produção sobre o ensino de tecnologias da Indústria 4.0 (i4.0) nos cursos de Engenharia de Produção no Brasil.

Este survey está relacionado ao Projeto “Aplicando a Quarta Revolução Industrial para os Cursos de Engenharia de Produção da USP”, EDITAL PRG 01/2020-2021 - Programa de Estímulo à Modernização e Reformulação das Estruturas Curriculares dos Cursos de Graduação da USP - Novos Currículos para um Novo Tempo. Mais informações disponíveis em: <http://www.engenhariadeproducao4.eesc.usp.br/>.

A pesquisa contém apenas 10 perguntas. Não é necessário se identificar, caso o faça, a equipe de pesquisa se compromete em não divulgar nenhuma informação que leve à identificação de nenhum dos respondentes.

Para responder a pesquisa clique no link abaixo:

<https://forms.gle/rPPLtoti2WKGLemm6>

Em caso de dúvidas, entre em contato conosco.

Antecipadamente, agradecemos sua participação.

Mary Anny Lemstra (m.a.lemstra@usp.br)

Aluna do programa de mestrado em Engenharia de Produção (PPGEP-USP)

Prof. Dr. Marco A. Mesquita (marco.mesquita@poli.usp.br)

Departamento de Engenharia de Produção (PRO)

Escola Politécnica da USP - São Paulo

APÊNDICE – D – QUESTIONÁRIO: SURVEY COM PESQUISADORES

<p>Question 1 – Industry 4.0 requires new skills for the engineer to work in smart factories. Please, rate the importance (very high, high, medium, low, none, don't know) of the following twelve soft skills: (1) teamworking; (2) communication; (3) leadership; (4) problem-solving; (5) entrepreneurship; (6) dealing with diversity; (7) critical thinking; (8) systems thinking; (9) business vision; (10) economic vision; (11) social vision; (12) environmental concern. In addition to these, would you like to add any general competencies? Which one(s)?</p>
<p>Question 2 – Industry 4.0 requires new skills for the engineer to work in smart factories. Please, rate the importance (very high, high, medium, low, none, don't know) of the following twelve hard skills: (1) data analysis; (2) computer programming; (3) design of algorithms; (4) systems simulation; (5) digital technologies; (6) production technologies; (7) materials science; (8) product design; (9) factory design; (10) process management; (11) project management; (12) people management. In addition to these, would you like to add any specific competencies? Which one(s)?</p>
<p>Question 3 – This survey considers ten Industry 4.0 enabling technologies: (1) Big Data Analytics; (2) Additive Manufacturing; (3) Industrial Internet of Things; (4) Augmented Reality; (5) Autonomous Robots; (6) Horizontal and Vertical Integration of Systems; (7) Digital Simulation; (8) Cloud Computing; (9) Cybersecurity; (10) Artificial Intelligence. Would you have any inclusions or exclusions from this list? (Yes/No) Which ones?</p>
<p>Question 4 – Please, assess the priority of inclusion (very high, high, medium, low, none, don't know) of the following i4.0 technologies in the Industrial Engineering undergraduate courses: (1) Big Data Analytics; (2) Additive Manufacturing; (3) Industrial Internet of Things; (4) Augmented Reality; (5) Autonomous Robots; (6) Horizontal and Vertical Integration of Systems; (7) Digital Simulation; (8) Cloud Computing; (9) Cybersecurity; (10) Artificial Intelligence. Comments?</p>
<p>Question 5 – Please rate the difficulty (very high, high, medium, low, none, don't know) of inclusion of the following i4.0 technologies in the Industrial Engineering undergraduate courses: (1) Big Data Analytics; (2) Additive Manufacturing; (3) Industrial Internet of Things; (4) Augmented Reality; (5) Autonomous Robots; (6) Horizontal and Vertical Integration of Systems; (7) Digital Simulation; (8) Cloud Computing; (9) Cybersecurity; (10) Artificial Intelligence. Comments?</p>
<p>Question 6 – Please, assess the hardness of the following challenges (very high, high, medium, low, none, don't know) to include i4.0 technologies in the Industrial Engineering undergraduate courses: (1) Institutional Support; (2) Resources for Labs; (3) Inadequate Infrastructure; (4) Trained Teaching Staff; (5) Program Management; (6) Resistance to Change; (7) Internal Partnerships; (8) Partnerships with Industry; (9) Others (specify). Comments?</p>
<p>Question 7 – Please, assess the adequacy of the following strategies (very high, high, medium, low, none, don't know) of inclusion of i4.0 technologies in the Industrial Engineering undergraduate courses: (1) Modernization of Laboratories; (2) Implementation of Learning Factories; (3) Curriculum Innovation; (4) University-Industry Partnership; (5) Extracurricular Activities; (6) Others (specify). Comments?</p>
<p>Question 8 – Active Learning is a trend in engineering education provided by information and communication technology advances. Please, evaluate the impact of the following active learning practices (very high, high, medium, low, none, don't know) on Industrial Engineering courses: (1) Flipped Classroom (2) Project-Based Learning (3) Problem-Based Learning (4) Case Studies (5) Gamification (6) Others (specify). Comments?</p>
<p>Question 9 – The classic Industrial Engineering curriculum includes: (1) Manufacturing, (2) Supply Chain, (3) Operations Research, (4) Quality Engineering, (5) Product Engineering, (6) Organizational Engineering, (7) Economics Engineering, (8) Human Factors Engineering, (9) Sustainability, (10) Engineering Education. Considering the i4.0 scenario, what new areas do you think should be included in Industrial Engineering courses?</p>
<p>Question 10 – Please feel free to compliment your participation with any additional suggestions and comments about this research.</p>
<p>Respondent profile</p>
<p>Name (optional):</p>
<p>e-mail (optional):</p>
<p>What is your main background?</p>
<p>Which subject do you research mainly?</p>

APÊNDICE – E – E-MAIL CONVITE: SURVEY COM PESQUISADORES

Subject: Invitation – Survey with the most influential researchers in industry 4.0

Dear Researcher,

We want to invite you to participate in our survey. This research aims to raise the opinion of the leading Industry 4.0 (i4.0) researchers about the new competencies needed for Industrial Engineers to work in smart factories.

This survey refers to the “Industrial Engineering Education towards Industry 4.0” research, and it addresses the following research questions:

- 1 - What are the **new competencies** (hard and soft) for Industrial Engineers to work in i4.0?
- 2 - What are the **most relevant i4.0 technologies** for inclusion in Industrial Engineering courses?
- 3 - What are the **most significant challenges** for including i4.0 technologies in Industrial Engineering courses?
- 4 - What are the **best strategies** for including i4.0 technologies in Industrial Engineering courses?
- 5 - What are the **impacts** of digital transformation in Engineering Education?

The survey has only ten questions, seven closed and three open-ended. It is not necessary to identify yourself, and we are committed not to disclosing any information that leads to identifying any of the respondents.

Access the survey at:

<https://forms.gle/xniHRFJfkuwndENQ7>

If in doubt, please feel free to contact us.

Thank you in advance for your participation.

Mary Anny Lemstra (m.a.lemstra@usp.br)
Master Student of Production Engineering
Escola Politécnica of the University of São Paulo – Brazil

Prof. Dr. Marco A. Mesquita (marco.mesquita@poli.usp.br)
Department of Production Engineering
Escola Politécnica of the University of São Paulo – Brazil

APÊNDICE – F – E-MAIL LEMBRETE: SURVEY COM PESQUISADORES

Subject: Reminder: Invitation – Survey with the most influential researchers in industry 4.0

Dear Researcher,

You were recently invited to participate in our survey, aimed to raise the opinion of the leading Industry 4.0 (i4.0) researchers about the new competencies needed for Industrial Engineers to work in smart factories.

Because of your experience as an industry 4.0 researcher, you can give authoritative responses to the questions we need to have answered.

So far, we have a total of only 57 responses, and we would like to get at least 100 responses. Therefore, your opinion is extremely important to help us in our research and we would appreciate it if you could participate in it.

It is not necessary to identify yourself, and we are committed not to disclosing any information that leads to identifying any of the respondents.

If in doubt, please feel free to contact us.

Access the survey at:

<https://forms.gle/xniHRFJfkuwndENQ7>

Thank you very much for your help.

Mary Anny Lemstra (m.a.lemstra@usp.br)
Master Student of Production Engineering
Escola Politécnica of the University of São Paulo – Brazil

Prof. Dr. Marco A. Mesquita (marco.mesquita@poli.usp.br)
Department of Production Engineering
Escola Politécnica of the University of São Paulo – Brazil