



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DO  
CONHECIMENTO

Heron Jader Trierweiler

**FRAMEWORK PARA ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE INICIATIVAS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL À RESILIÊNCIA ORGANIZACIONAL**

Florianópolis  
2022

Heron Jader Trierveiler

**FRAMEWORK PARA ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE INICIATIVAS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL À RESILIÊNCIA ORGANIZACIONAL**

Tese submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento.

Orientador: Denilson Sell, Dr.

Coorientador: José L. Todesco, Dr.

Florianópolis  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Trierweiler, Heron Jader

Framework para análise de aderência de iniciativas de transformação digital à resiliência organizacional / Heron Jader Trierweiler ; orientador, Denilson Sell, coorientador, José Leomar Todesco, 2022.

240 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia e Gestão do Conhecimento. 2. Transformação digital. 3. Indústria 4.0. 4. Fatores humanos. 5. Resiliência organizacional. I. Sell, Denilson. II. Todesco, José Leomar. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. IV. Título.

Heron Jader Trierveiler

**Framework para análise de aderência de iniciativas de transformação digital à  
resiliência organizacional**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora  
composta pelos seguintes membros:

Prof. Eder Henriqson, Dr.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS

Prof. Luciano do Valle Garotti, Dr.

Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES/Petrobras

Prof. Neri dos Santos, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Paulo Maurício Selig, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento.

---

Prof. Roberto Carlos dos Santos Pacheco, Dr.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Denilson Sell, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2022.

*Aos que trilharam este caminho antes de mim  
e aos que estiveram comigo nesta jornada.*

*Às minhas doces Juliete, Aurora e Flora.*

“Se, na verdade, não estou no mundo para simplesmente a ele me adaptar, mas para transformá-lo, se não é possível mudá-lo sem um certo sonho ou projeto de mundo, devo usar toda possibilidade que tenho para não apenas falar de minha utopia, mas participar de práticas com ela coerentes.”

Paulo Freire,  
Pedagogia da Indignação

“I have sought to offer humanists a detailed analysis of a technology sufficiently magnificent and spiritual to convince them that the machines by which they are surrounded are cultural artifacts worthy of their attention and respect.”

Bruno Latour,  
Aramis, or the Love of Technology

## RESUMO

A transformação digital é uma realidade e sua evolução será significativa nos próximos anos. Na indústria, para além dos ganhos em eficiência operacional proporcionados pelas tecnologias inteligentes, são esperadas repercussões sobre design e organização do trabalho, segurança, saúde e bem-estar dos trabalhadores. Apesar de ser consenso que as organizações se beneficiam quando consideram fatores humanos no design do trabalho e de seus artefatos, a pesquisa acadêmica recente evidenciou a importância de se buscar a compreensão da complexidade dos sistemas sociotécnicos em iniciativas de transformação digital, combinando perspectivas organizacionais, tecnológicas e humanas. Este trabalho busca preencher esta lacuna ao conjugar as áreas de fatores humanos e engenharia de resiliência com as iniciativas de transformação digital na Indústria 4.0, evidenciando os reflexos sobre segurança operacional e saúde ocupacional. Para tal, desafia-se a conceber métodos e instrumentos para analisar a aderência das iniciativas de transformação digital a princípios de fatores humanos e às capacidades de resiliência organizacional. Um framework baseado em constructos, categorias de análise e variáveis é proposto, combinando as técnicas Escala de Análise de Resiliência (AHP) e Análise Hierárquica de Processos (AHP). A pertinência, aplicabilidade e abrangência deste framework são avaliadas em uma experimentação junto a um consórcio de empresas críticas em segurança que atuam no setor de óleo e gás. Os resultados obtidos evidenciam o potencial do framework para, de forma abrangente, quantificar o nível de aderência das iniciativas de transformação digital a princípios de fatores humanos e à resiliência organizacional. De forma específica, permite observar esta mesma aderência em relação a categorias de análise, como automação digital e cibersegurança, e até em relação a variáveis individuais. Com esses dados, espera-se que profissionais atuantes principalmente em organizações críticas em segurança, como a aviação civil e a indústria de óleo e gás, aprimorem iniciativas de transformação digital com vistas ao aumento de sua aderência a princípios de fatores humanos e à resiliência organizacional, influenciando positivamente aspectos relativos a segurança operacional e saúde ocupacional.

**Palavras-chave:** Transformação Digital. Indústria 4.0. Fabricação Inteligente. Resiliência. Segurança. Fatores Humanos. Sistemas Sociotécnicos. Organizações Críticas em Segurança. Óleo e Gás.

## ABSTRACT

Digital transformation is a reality, and its evolution will be significant in the coming years. In industry, in addition to the gains in operational efficiency provided by smart technologies, repercussions are expected on the design and organization of work, safety, health and the well-being of workers. Despite the consensus that organizations benefit when considering human factors in the design of work and its artifacts, recent academic research has highlighted the importance of understanding the complexity of socio-technical systems in digital transformation initiatives, combining organizational, technological, and human perspectives. This work aims to fill this gap by combining the areas of human factors and resilience engineering with digital transformation initiatives in Industry 4.0, highlighting the effects on operational safety and occupational health. To this end, methods, and instruments to analyze the adherence of digital transformation initiatives to human factors principles and organizational resilience capabilities are devised. A framework based on constructs, analysis categories and variables is proposed, combining Resilience Analysis Grid (AHP) and Analytic Hierarchy Process (AHP) techniques. The pertinence, applicability and scope of this framework are evaluated in an experiment with a consortium of critical safety companies operating in the oil and gas sector. The results obtained demonstrate the framework's potential to comprehensively quantify the level of adherence of digital transformation initiatives to human factors principles and organizational resilience. Specifically, it also allows us to observe this same adherence in relation to categories of analysis, such as digital automation and cybersecurity, and even in relation to individual variables. With this data, it is expected that professionals working mainly in safety-critical organizations, such as civil aviation and the oil and gas industry, improve digital transformation initiatives increasing their adherence to human factors principles and organizational resilience, positively influencing aspects related to operational safety and occupational health.

**Keywords:** Digital Transformation. Industry 4.0. Smart Manufacturing. Resilience. Safety. Human Factors. Sociotechnical Systems. Safety-Critical Organizations. Oil and Gas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: número de publicações que relacionam os temas I4.0 e FH em comparação com aquelas que tratam dos temas individualmente .....	30
Figura 2: os quatro estágios da revolução industrial.....	37
Figura 3: diferentes variações das representações gráficas baseadas em Reason no decorrer do tempo .....	73
Figura 4: representações gráficas centrais da abordagem de Rasmussen.....	75
Figura 5: representação visual do modelo de <i>mindfulness</i> coletiva .....	77
Figura 6: processo para pesquisa bibliográfica.....	90
Figura 7: posicionamento das variáveis obtidas pela pesquisa bibliográfica .....	94
Figura 8: as quatro fases do RAG.....	99
Figura 9: representação gráfica da hierarquia de decisão.....	101
Figura 10: nuvem de termos gerada pela redação das variáveis.....	111
Figura 11: representação processual da fase 2 do RAG baseada na AHP.....	115
Figura 12: esquematização da relação entre capacidades de resiliência, categorias e assertivas .....	116
Figura 13: extrato da planilha que orienta as análises par-a-par .....	120
Figura 14: exemplo de questões que compõem o questionário RAG/AHP .....	122
Figura 15: representação esquemática do framework .....	123
Figura 16: exemplo de análise para revisão da hierarquia do problema (i).....	127
Figura 17: exemplo de análise para revisão da hierarquia do problema (ii).....	127
Figura 18: distribuição de relevância das categorias de análise (nível 2) .....	130
Figura 19: nível de aderência geral (RAG) .....	136
Figura 20: pontuação obtida por capacidade de resiliência (RAG).....	137
Figura 21: pontuação obtida por categoria (RAG) .....	138
Figura 22: pontuação obtida por categoria – capacidade de responder (RAG).....	139
Figura 23: pontuação obtida por categoria – capacidade de monitorar (RAG).....	140
Figura 24: pontuação obtida por categoria – capacidade de antecipar (RAG).....	141
Figura 25: pontuação obtida por categoria – capacidade de aprender (RAG).....	142
Figura 26: pontuação obtida por assertiva – automação digital (RAG) .....	143
Figura 27: pontuação obtida por assertiva – cibersegurança (RAG).....	143
Figura 28: pontuação obtida por assertiva – desenvolvimento e design (RAG).....	144

Figura 29: pontuação obtida por assertiva – estratégia digital (RAG) .....	145
Figura 30: pontuação obtida por assertiva – forecasting tecnológico (RAG) .....	145
Figura 31: pontuação obtida por assertiva – gestão de dados (RAG) .....	146
Figura 32: pontuação obtida por assertiva – habilidades e competências (RAG).....	146
Figura 33: pontuação obtida por assertiva – parcerias para a digitalização (RAG) .....	147
Figura 34: pontuação obtida por assertiva – saúde e segurança ocupacional (RAG).....	147
Figura 35: pontuação obtida por assertiva – segurança operacional (RAG).....	148
Figura 36: comparação entre as pontuações obtidas (coluna clara) e as contribuições relativas (coluna escura) de cada assertiva.....	149
Figura 37: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – visão geral .....	159
Figura 38: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de responder.....	161
Figura 39: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de monitorar.....	163
Figura 40: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de antecipar.....	164
Figura 41: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de aprender .....	165

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: trabalhos anteriores do EGC relacionados aos temas desta pesquisa.....	33
Quadro 2: publicações relevantes que relacionam TD e I4.0 .....	35
Quadro 3: benefícios proporcionados pela I4.0.....	39
Quadro 4: implicações da Indústria 4.0 .....	42
Quadro 5: tecnologias viabilizadoras e suas aplicações na I4.0 .....	44
Quadro 6: definições de resiliência .....	53
Quadro 7: agenda de pesquisa futura para a ER.....	62
Quadro 8: definições de Engenharia de Resiliência .....	68
Quadro 9: instrumentos e modelos baseados na ER.....	78
Quadro 11: aplicações da abordagem de pesquisa qualitativa .....	86
Quadro 10: alinhamento da pesquisa às diretrizes da DSR.....	88
Quadro 12: termos-chave da revisão bibliográfica.....	91
Quadro 13: publicações selecionadas para análise definitiva.....	92
Quadro 14: matriz de análise .....	93
Quadro 15: escala de julgamento AHP.....	102
Quadro 16: exemplo de cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento.....	104
Quadro 17: índices de consistência aleatória (RI).....	105
Quadro 18: etapas da análise para tematização de dados .....	112
Quadro 19: exemplo da lógica adotada para organização das variáveis em categorias e criação das assertivas .....	112
Quadro 20: exemplo da lógica adotada para associação das assertivas às capacidades de resiliência.....	113
Quadro 21: categorias associadas às capacidades de resiliência .....	116
Quadro 22: tabulação das categorias e assertivas identificadas .....	117
Quadro 23: tipos de validade .....	117
Quadro 24: exemplo de escala likert .....	119
Quadro 25: exemplo da lógica adotada para atribuição dos pesos relativos em cada nível da hierarquia.....	121
Quadro 26: matriz principal da comparação par-a-par das categorias de análise (AHP).....	128
Quadro 27: matriz normalizada da comparação par-a-par das categorias de análise (AHP) .	128

Quadro 28: cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento das categorias de análise (AHP) .....	130
Quadro 29: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de responder.....	131
Quadro 30: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de responder.....	132
Quadro 31: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de monitorar.....	132
Quadro 32: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de monitorar.....	132
Quadro 33: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de antecipar.....	133
Quadro 34: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de antecipar.....	133
Quadro 35: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de aprender.....	133
Quadro 36: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de aprender.....	134
Quadro 37: exemplo da distribuição de pesos entre as assertivas (3º nível).....	134
Quadro 38: caracterização sociodemográfica dos participantes.....	135
Quadro 39: exemplo de assertivas com maior distância entre pontuação e contribuição relativa .....	156
Quadro 40: síntese das prioridades para orientar planos de ação.....	166

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: matriz de julgamento AHP .....	102
Tabela 2: exemplo de matriz principal .....	103
Tabela 3: exemplo de matriz normalizada.....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Análise Hierárquica de Processos  
ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
API - Application Programming Interface  
BDA - Big Data & Analytics  
CI - Índice de Consistência  
CNI - Confederação Nacional da Indústria  
CPS - Sistemas ciberfísicos  
CR - Taxa de consistência  
DSR - Design Science Research  
EPI - Equipamento de Proteção Individual  
ER - Engenharia de Resiliência  
FH - Fatores Humanos  
GC - Gestão do Conhecimento  
HRO - Organizações de Alta Confiabilidade  
I4.0 - Indústria 4.0  
IMS - Sistema de Fabricação Inteligente  
IoT - Internet das Coisas  
JIT - Just-in-Time  
MAHS - Método para avaliar sistemas de gestão da saúde e segurança  
PME - Pequenas e Médias Empresas  
PSS - Product Service-System  
RFID - Radio Frequency Identification  
TD - Transformação Digital  
TI - Tecnologia da Informação  
TORC - Training for Operational Resilience Capabilities  
O&G - Óleo e Gás  
PD&I - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação  
RAG - Grade de Análise de Resiliência  
RI - Índice de Consistência Aleatória  
RMS - Sistema de Manufatura Reconfigurável  
RFID – Identificação por Radiofrequência  
SDSMS - Modelo Sistemico e Dinâmico de Sensibilização da Segurança

SI - Sistema de Informação

SMO - Objeto de Fabricação Inteligente

SNTS - Visão Sócio-Natural-Técnica do Sistema

SOA - Arquitetura Orientada a Serviços

SSO - Segurança e Saúde Ocupacional

STAMP - Processos e Modelagem Teórica de Acidentes

STS - Sistema Sociotécnico

SyRes - Modelo Sistêmico de Resiliência

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	19
1.2	OBJETIVOS .....	25
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>25</b>
1.3	DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA .....	26
1.4	JUSTIFICATIVA E INEDITISMO .....	27
1.5	ADERÊNCIA DA PESQUISA AO EGC .....	32
<b>2</b>	<b>BASE TEÓRICO-CONCEITUAL .....</b>	<b>35</b>
2.1	TRANSFORMAÇÃO DIGITAL & INDÚSTRIA 4.0.....	36
<b>2.1.1</b>	<b>Transformações organizacionais e tecnologias viabilizadoras .....</b>	<b>41</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Críticas, dificuldades e efeitos negativos .....</b>	<b>46</b>
2.2	RESILIÊNCIA EM SISTEMAS SÓCIOTÉCNICOS COMPLEXOS .....	51
<b>2.2.1</b>	<b>Gestão de riscos e da segurança orientada à resiliência.....</b>	<b>57</b>
2.3	ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA .....	60
<b>2.3.1</b>	<b>O campo de investigação científica da ER: agenda atual e futura.....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Fundamentos .....</b>	<b>63</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Definições.....</b>	<b>67</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Críticas.....</b>	<b>69</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Modelos, técnicas e ferramentas.....</b>	<b>70</b>
2.3.5.1	<i>Modelos predecessores .....</i>	71
2.3.5.2	<i>Instrumentos e modelos baseados na ER.....</i>	77
2.4	RELAÇÃO ENTRE A BASE TEÓRICO-CONCEITUAL E OS OBJETIVOS DA PESQUISA .....	80
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>82</b>
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	83

3.1.1	<b>Paradigma .....</b>	<b>83</b>
3.1.2	<b>Tipologia quanto aos objetivos .....</b>	<b>84</b>
3.2	MÉTODO E TÉCNICAS .....	86
3.2.1	<b>Ciência do Design (DSR).....</b>	<b>86</b>
3.2.2	<b>Pesquisa bibliográfica.....</b>	<b>89</b>
3.2.3	<b>Estudo de caso.....</b>	<b>94</b>
3.2.4	<b>Levantamento.....</b>	<b>96</b>
4	<b>PROCEDIMENTOS PARA CRIAÇÃO, REVISÃO E VALIDAÇÃO DO FRAMEWORK .....</b>	<b>98</b>
4.1	ESCALA DE ANÁLISE DE RESILIÊNCIA (RAG) .....	98
4.2	ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP) .....	99
4.3	RAG COM AHP.....	105
4.3.1	<b>Caracterização do domínio (RAG 1).....</b>	<b>106</b>
4.3.1.1	<i>Estrutura e limites do sistema.....</i>	<i>106</i>
4.3.1.2	<i>Pessoas e recursos envolvidos.....</i>	<i>108</i>
4.3.2	<b>Seleção das questões relevantes (RAG 2).....</b>	<b>109</b>
4.3.2.1	<i>Definição dos constructos e determinação das variáveis (AHP 1) .....</i>	<i>111</i>
4.3.2.2	<i>Estruturação da hierarquia do problema (AHP 2) .....</i>	<i>117</i>
4.3.2.3	<i>Elaboração de matrizes para comparação par-a-par (AHP 3) .....</i>	<i>119</i>
4.3.2.4	<i>Definição dos pesos das questões (AHP 4) .....</i>	<i>120</i>
4.3.3	<b>Coleta de dados (RAG 3).....</b>	<b>121</b>
4.3.4	<b>Consolidação, análise e apresentação dos resultados (RAG 4).....</b>	<b>122</b>
4.4	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FRAMEWORK .....	123
5	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>124</b>
5.1	DOMÍNIO DE ANÁLISE .....	124
5.2	QUESTÕES RELEVANTES .....	125
5.3	COLETA DE DADOS .....	135

5.4	ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA E VIABILIDADE DO FRAMEWORK.....	136
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>168</b>
6.1	IMPLICAÇÕES TEÓRICAS .....	168
6.2	IMPLICAÇÕES PRÁTICAS .....	170
6.3	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....	171
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE A – VARIÁVEIS, ASSERTIVAS E CATEGORIAS .....</b>	<b>187</b>
	<b>APÊNDICE B – DOCUMENTO PARA ANÁLISE DA HIERARQUIA DO PROBLEMA .....</b>	<b>199</b>
	<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE DADOS .....</b>	<b>206</b>
	<b>APÊNDICE D – PLANILHA ELETRÔNICA PARA ANÁLISE PAR-A-PAR .....</b>	<b>225</b>
	<b>APÊNDICE E – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (VISÃO GERAL).....</b>	<b>226</b>
	<b>APÊNDICE F – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE RESPONDER) .....</b>	<b>231</b>
	<b>APÊNDICE G – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE MONITORAR) .....</b>	<b>233</b>
	<b>APÊNDICE H – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE ANTECIPAR) .....</b>	<b>235</b>
	<b>APÊNDICE I – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE APRENDER).....</b>	<b>237</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório possui quatro seções. A primeira situa o leitor no contexto e no domínio do problema investigado por esta tese. As seguintes, nessa ordem, detalham os objetivos geral e específicos, as principais delimitações e de que forma a pesquisa é aderente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPEGC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A partir dos anos 2000, muitas organizações iniciaram um movimento de adaptação de suas infraestruturas de negócios para a nova era digital, beneficiando-se principalmente da redução média de preços dos componentes tecnológicos, do aumento do desempenho computacional e da conectividade global. As fronteiras que delimitam o espaço de atuação dessas organizações mudaram pela emergência de ambientes dinâmicos não lineares e bastante turbulentos. A relação das empresas com seus consumidores mudou e, muitas vezes, tornou-se difícil identificar os papéis de cada ator em uma rede de criação de valor. Em relação aos produtos e serviços, tornou-se cada vez mais difícil desassociá-los de suas próprias infraestruturas de TI.

A proposta da Indústria 4.0 (I4.0), que remonta à primeira década deste século, surgiu como uma evolução natural desta tendência de digitalização iniciada anos antes. Focada na indústria de manufatura e baseada na convergência entre as tecnologias físicas e digitais, ela remete à terceira revolução industrial e ao desenvolvimento a partir desse estágio de industrialização. Mas ela vai além ao propor viabilizar a criação de valor não só pela automação em plantas fabris isoladas, mas interconectando objetos, produtos e pessoas por meio de diferentes tecnologias (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018). São esperadas implicações sobre a criação de valor, os modelos de negócio, as linhas de produção e a organização do trabalho.

As proposições da I4.0 chamaram a atenção de governos, indústrias e pesquisadores. O tema, atualmente, é de grande relevância e espera-se que continue sendo pelos próximos anos no decorrer de seu desenvolvimento. Diversos países, inclusive, criaram suas próprias iniciativas e, embora diferentes na terminologia adotada (e.g. fabricação inteligente, manufatura avançada), elas são estritamente relacionadas pelas tecnologias e abordagens nas quais se baseiam (YIN; STECKE; LI, 2018). Normalmente, associa-se a I4.0 à digitalização, à inteligência artificial, à Internet das Coisas, à fabricação aditiva, aos sistemas ciberfísicos, à

computação em nuvem e à automação e robótica nos processos de fabricação (REIMAN et al., 2021).

Enquanto as revoluções industriais anteriores foram identificadas e examinadas *a posteriori*, a conceituação da I4.0 e sua aplicação está apenas começando e faz parte de uma estratégia de industrialização deliberada (NEUMANN et al., 2021). Isto oportuniza a reflexão e análise de diferentes questões acerca deste movimento, muitas ainda conjecturais. Uma das principais envolve os impactos da digitalização sobre os trabalhadores e a própria organização do trabalho.

As pessoas são e continuarão sendo parte essencial do desenvolvimento e da assimilação das inovações tecnológicas. Por isso, a organização do trabalho terá de ser mais inteligente e as habilidades dos trabalhadores ampliadas. Como consequência, projeta-se uma grande transformação do conteúdo, dos processos e do próprio ambiente de trabalho, com repercussões sobre a flexibilidade, o controle do tempo, os cuidados com a saúde, as mudanças demográficas e até as vidas privadas das pessoas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Como se vê, a tecnologia é impulsionadora da I4.0, mas as implicações tendem a ser mais profundas. Mudanças na tecnologia sem correspondências na cultura e na gestão podem causar mais problemas do que resolver (LIU et al., 2020). Decorre daí a importância de compreender a complexidade desses sistemas sociotécnicos combinando perspectivas organizacionais, tecnológicas e humanas (REIMAN et al., 2021).

A transformação dos sistemas de produção, na medida em que se ampliam a adoção de dispositivos ciberfísicos, poderá reverberar ainda sobre as atribuições dos trabalhadores, pois cada vez mais as tarefas serão divididas entre humanos e máquinas. Já há quem chame este sistema de fabricação híbrida, onde pessoas e máquinas tomam decisões, exigindo que ambos se percebam e considerem-se mutuamente em uma integração holística. Essas mudanças tecnológicas, evidentemente, causam reflexos sobre o design do trabalho (PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020; STERN; BECKER, 2017; SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA et al., 2020).

Stern e Becker (2017) tiveram o cuidado de descrever esses reflexos e, dada a relevância do tema para este trabalho, tomamos a liberdade de complementá-las com as contribuições de outros pesquisadores.

- As pessoas continuarão sendo absolutamente necessárias. O número de postos de trabalho diminuirá em decorrência da automação, mas espera-se que sejam criados outros postos com novas atribuições, permitindo até que as pessoas continuem trabalhando e permaneçam produtivas por

mais tempo por meio de carreiras flexíveis e personalizadas (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; STERN; BECKER, 2017).

- As tarefas serão mais intensivas em conhecimento em decorrência, por um lado, do aumento da complexidade dos produtos e dos processos e, por outro, da interação necessária com dispositivos de automação computacional. Os trabalhadores serão responsáveis por um número crescente de processos heterogêneos, os quais deverão monitorar para desempenhar corretamente suas funções.
- Novas tarefas serão intensamente conectadas a dispositivos computacionais em um sistema combinado, híbrido de produção.
- Tarefas fáceis, repetitivas ou perigosas serão automatizadas, substituídas por sistemas inteligentes. A maior parte do trabalho físico será realizada por máquinas enquanto as pessoas atuarão em níveis mais elevados. Máquinas e algoritmos se tornarão os meios para que os trabalhadores continuem a trabalhar ao invés de serem substituídos (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020).
- Habilidades unicamente humanas, que não podem ou são muito caras de automatizar, terão um papel significativo para o design do trabalho. A atividade laboral será mais baseada em cognição e conhecimento (PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020) e focada no gerenciamento e na resolução de problemas complexos, na tomada de decisões e na capacidade de adaptação a novos cenários e situações (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA et al., 2020).
- Os riscos psicológicos se tornarão mais evidentes do que os físicos no local de trabalho devido à sobrecarga mental e à densidade do trabalho induzida por atividades de fabricação inteligentes mais flexíveis e dinâmicas (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018).
- Ferramentas digitais serão usadas para monitorar continuamente o comportamento, o desempenho e a produtividade dos trabalhadores. Isto pode criar uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020).

As principais pesquisas e implementações baseadas em fabricação inteligente focaram no aprimoramento das plantas fabris e da produção para obtenção de ganhos de eficiência em termos de tempo, custos e níveis de produção. Apesar da evidência de que a consideração de fatores humanos (FH)<sup>1</sup> contribui até para a vantagem competitiva das organizações, eles não receberam tanta atenção, foram quase negligenciados. Isto acende um alerta importante, pois, como já dito, FH têm uma relação estreita com os sistemas de produção, pois, na I4.0, é prevista maior cooperação e colaboração entre máquinas e pessoas (NEUMANN et al., 2021). Os resultados de uma revisão sistemática da literatura realizada por Kadir et al. (2019a) confirmaram que as pesquisas sobre a I4.0 que abordam FH, ainda que crescentes de 2013 pra cá, continuam limitadas. As descobertas obtidas pela análise qualitativa dessa amostra indicam que os pesquisadores estão em conformidade no que diz respeito às previsões e estimativas sobre como a I4.0 e as novas tecnologias digitais podem afetar as pessoas e o trabalho na indústria. No entanto, as evidências descritivas empíricas são escarças e as prescrições e recomendações foram pouco testadas e carecem de aplicação prática. Nesse campo, faltam ainda metodologias e diretrizes estruturadas para transformar ideias em prática e aplicar

---

<sup>1</sup> De forma geral, o objetivo da disciplina de fatores humanos é otimizar o desempenho dos sistemas controlados por pessoas e minimizar o risco de que aspectos projetuais as induzam a mal desempenhar suas funções, o que pode gerar incidentes, eventos adversos e ineficiências na produção (LONGO et al., 2021a).

concretamente FH aos projetos de concepção dos espaços de trabalho. A transformação sociotécnica em direção a uma fábrica inteligente exigirá novos modelos de referência para o design baseados nessa nova perspectiva centrada nas pessoas e focada na avaliação das ações, dos comportamentos, do conforto e da qualidade do trabalho do ponto de vista físico e cognitivo (CHEN; KHOO; CHEN, 2015; KINZEL, 2016; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020; SGARBOSSA et al., 2020).

Peruzzini e Pellicciari (2017) defendem que, para criar fábricas realmente inteligentes, o desempenho humano deveria direcionar a adaptação dos sistemas de forma eficiente e efetiva, explorando as associações entre as entidades tangíveis e intangíveis fornecidas pela transformação digital e, especificamente, pela I4.0. Outros autores lembram que as pessoas ainda continuam tendo um papel central no controle dos processos produtivos e na execução de tarefas delicadas e estratégicas. Como consequência, elas são as principais responsáveis pela elevada produtividade das fábricas e alta qualidade dos produtos (NEUMANN; KOLUS; WELLS, 2016; PARROTT; WARSHAW, 2017; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020). Dalenogare et al. (2018) concordam com eles ao afirmarem que os FH e a organização do trabalho podem ser gatilhos que potencializam os benefícios advindos da evolução tecnológica sobre o desempenho dos negócios (WESTERMAN; BONNET; MCAFEE, 2014).

Assim, a atenção aos FH na indústria desponta como uma tendência emergente e representa um tópico relevante também para as aplicações tecnológicas avançadas (PERUZZINI; PELLICCIARI, 2017). Uma abordagem baseada em FH pode ser altamente benéfica para analisar, compreender e projetar o trabalho na I4.0 em uma perspectiva de aumento das capacidades físicas, sensoriais e cognitivas das pessoas (KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; ROMERO et al., 2016). A prática tão comum de avaliação tardia do desempenho ergonômico pode ser substituída pela análise proativa, pois, como já dissemos, a transformação em direção à I4.0 não ocorre organicamente e, sim, por uma estratégia deliberada de industrialização. Os FH, portanto, devem ser tomados como um requisito durante o projeto do sistema e dos equipamentos nele incorporados para que os processos de trabalho sejam mais fluidos e seguros.

Longo et al. (2021), inclusive, alegam que, nos últimos anos, a área de FH beneficiou-se das novas soluções digitais de engenharia centradas no ser humano baseadas na I4.0. Na visão dos pesquisadores, essas tecnologias estão criando novas interações sociotécnicas entre humanos e máquinas que minimizam o risco de erros humanos induzidos pelo design do

trabalho e dos equipamentos e têm potencial para contribuir amplamente com melhorias em termos de segurança de processo, produtividade, qualidade e bem-estar dos trabalhadores.

As organizações precisam se adequar para incorporar novas tecnologias às suas rotinas e nem sempre este processo é fluido (DE CAROLIS et al., 2017). Na I4.0 não será diferente, principalmente em decorrência da baixa consideração de FH nos projetos dos sistemas (NEUMANN et al., 2021). Impactos são previstos, inclusive, sobre a gestão da segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores. Embora as transformações possam fornecer aos trabalhadores uma série de infraestruturas digitais avançadas e soluções práticas para apoiá-los em suas tarefas, elas podem gerar novos riscos à saúde e segurança ocupacional com potencial para afetar muitos aspectos das organizações (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018). A maior colaboração entre robôs e humanos, por exemplo, pode ocasionar novos tipos de acidentes devido à falta de orientação ou de normas sobre o uso correto. Se este problema potencial tende a ser grave na maioria das organizações, naquelas críticas em segurança<sup>2</sup>, como as da aviação civil, energia nuclear, óleo e gás e saúde, ele deve ser tratado como prioridade.

Para evitar que o progresso tecnológico e a segurança e saúde dos trabalhadores entrem em rota de colisão, é interessante que uma transição suave em direção à I4.0 seja concebida e coordenada por profissionais da academia e da indústria (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018). Como a abordagem pode melhorar a gestão da segurança é certamente um assunto que merece mais debate e investigação, levando em conta não apenas a sustentabilidade econômica, social e ambiental, mas também a saúde ocupacional dos trabalhadores em uma abordagem de gestão de riscos contínua e preventiva (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018).

Liu et al. (2020) acreditam que a digitalização das operações e as novas tecnologias podem até criar oportunidades para automatizar processos de gestão da segurança. Análises preditivas e máquinas equipadas com sensores podem, por exemplo, coletar informações valiosas sobre segurança e permitir que os trabalhadores tomem medidas preventivas para evitar acidentes. Tecnologias vestíveis podem monitorar os sinais vitais dos trabalhadores e gerar alertas de exposição a produtos químicos e tóxicos, além de acompanhar continuamente seu bem-estar, identificando anomalias repentinas, como ataque cardíaco, queda ou mudanças graduais no nível de estresse (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018). Além disso, as realidades

---

<sup>2</sup> Organizações críticas em segurança são aquelas que operam em áreas que envolvem riscos significativos à segurança do meio ambiente ou da sociedade. Os critérios usados para avaliar o desempenho dessas organizações costumam enfatizar a confiabilidade e a gestão de riscos. Segurança é um pré-requisito para sua própria existência. As incertezas, a complexidade e os requisitos contraditórios são inerentes às organizações críticas em segurança (DEKKER; WOODS, 2010; OEDEWALD; REIMAN, 2007; REIMAN et al., 2015; WEICK; SUTCLIFFE, 1999).

aumentada e virtual podem ser incorporadas aos equipamentos de proteção individual (EPI), permitindo que os trabalhadores visualizem informações ambientais em tempo real durante as tarefas ocupacionais.

Pela interpretação do que foi monitorado e posterior seleção da ação apropriada para a ocasião, máquinas autoconscientes, capazes de aprender e dotadas de sistemas analíticos avançados podem antecipar situações perigosas durante as operações no local de trabalho e usar algoritmos de prognóstico e gerenciamento de saúde para gerenciar tais condições inesperadas, evitando acidentes e lesões dos trabalhadores. A saúde e a segurança podem ser garantidas, ainda, pela substituição de trabalhadores humanos por robôs em operações perigosas (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018).

Para compreender a relação que proporemos adiante entre TD, I4.0 e as abordagens mais recentes para saúde ocupacional e segurança operacional, há que se fazer um breve resgate histórico. Hale e Hovden (1998) descrevem a evolução das abordagens para a segurança em quatro eras. A primeira, de acordo com eles, foi a técnica. Ela se estendeu do século XIX à Segunda Guerra Mundial e prezou pelas medidas técnicas para prevenção de acidentes e incidentes (e.g. protetores de máquinas). A era subsequente baseou-se na integração de FH com métodos estabelecidos para análise de risco e segurança (e.g. análise probabilística de risco). Os métodos que se popularizaram principalmente a partir dos anos 1980 incluíam análise de confiabilidade humana (HRA), estudo de perigos e operabilidade (HAZOP) e análise modo e efeito de falha (FMEA). Concomitante a esses desenvolvimentos, passou-se a focar mais na compreensão do papel da cognição na tomada de decisão pelas pessoas, especialmente em domínios complexos e de alto risco, como nas usinas nucleares. Isso resultou no desenvolvimento de um conjunto de métodos, muitos baseados nos trabalhos de Jens Rasmussen, que incluem análise do trabalho cognitivo (CWA) e análise cognitiva de tarefas (CTA). Na década de 1990 e posteriormente, focou-se mais nas causas subjacentes da falha em sistemas complexos de grande escala. A análise da catástrofe de Chernobyl tornou-se um estudo de caso proeminente. A era dos sistemas reorientou o foco que estava no erro individual para a compreensão da gestão da segurança, que deu início ao que hoje é conhecido como cultura e clima de segurança (HAMER; WATERSON; JUN, 2021).

A quarta era da segurança privilegia a integração e reconhece que as formas anteriores de pensar não devem ser desprezadas, mas integradas a outras perspectivas. Embora evidente que existam abordagens de FH em relação à segurança desenvolvidas em diferentes momentos e indústrias, há um consenso de que houve uma mudança do estudo de interações individuais

entre pessoas e tecnologia para uma abordagem de sistemas holísticos. Borys et al. (2009) sugerem que estamos entrando na era adaptativa, onde conceitos como engenharia de resiliência (ER) estão ganhando força e propõem novas formas de pensar a segurança (HAMER; WATERSON; JUN, 2021).

Na academia, há um debate teórico crescente nesta área que fornece novos caminhos e aplicações potenciais de pesquisa, envolvendo formas mais proativas de gestão da segurança e compartilhamento de boas práticas. A ER e o *Safety II* são disciplinas pertencentes a este debate.

Assim, considerando que a literatura científica vem apontado nos últimos anos a necessidade de conjunção entre as áreas de FH e as iniciativas de TD e I4.0 e enfatizando os evidentes reflexos sobre a gestão da saúde e segurança dos trabalhadores, acreditamos fazer sentido inserir a ER como mais um elemento desta equação, que pode ser expressa pela seguinte problemática:

*Como analisar a aderência das iniciativas de transformação digital a princípios de fatores humanos e à resiliência organizacional?*

## 1.2 OBJETIVOS

Redigimos este trabalho com vistas ao alcance do seguinte objetivo geral:

### 1.2.1 Objetivo geral

Especificar um framework para orientar a análise de aderência de iniciativas de transformação digital a princípios de fatores humanos e às capacidades de resiliência em organizações críticas em segurança.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral, orientamo-nos pelos seguintes objetivos específicos:

- Identificar na literatura aspectos das organizações críticas em segurança que podem ser impactados por iniciativas de transformação digital e influenciar seu potencial de resiliência.
- Definir constructos e identificar variáveis que caracterizam iniciativas de transformação digital em sua relação com a resiliência organizacional.
- Conceber um método para análise de iniciativas de transformação digital à luz dos constructos definidos e das variáveis identificadas.
- Aplicar experimentalmente o método para avaliar sua viabilidade e pertinência e analisar como os resultados obtidos podem orientar e apoiar a gestão da segurança orientada à resiliência.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA

Delimitamos o escopo desta pesquisa a partir de seus objetivos específicos. Propusemo-nos a compreender como iniciativas de TD influenciam o potencial de resiliência organizacional para, a partir disso, definir constructos e identificar variáveis que caracterizam essas iniciativas em sua relação com a resiliência. O objetivo é buscar a redução de impactos negativos e a ampliação de benefícios advindos do desenvolvimento e da incorporação tecnológica, focando naquelas com potencial de interseccionar os constructos resiliência organizacional e fatores humanos.

Está aqui parte importante do ineditismo desta tese e de sua contribuição científica, pois os impactos, por exemplo, sobre a eficiência produtiva já foram alvo de investigação de diversos outros trabalhos. Por ser um objeto de pesquisa ainda pouco desenvolvido, as variáveis foram identificadas por meio de pesquisa bibliográfica na literatura para estabelecer, posteriormente, relações entre elas na forma de assertivas. Assim, não nos preocupamos em propor variáveis inéditas que poderiam ter sido concebidas por pesquisa de campo nem sermos exaustivos em seu levantamento. Esta é, certamente, uma oportunidade de pesquisa futura pavimentada pelo ponto de partida resultante desta tese.

Além disso, trabalhamos na proposição de um método para análise de iniciativas de TD à luz dos constructos definidos e das variáveis identificadas. Tal método foi concebido pela combinação e classificação das variáveis identificadas na pesquisa bibliográfica na forma de assertivas. Ele pode, evidentemente, ser usado para outras finalidades práticas ou científicas, mas, nesta pesquisa, objetiva viabilizar a análise de aderência de iniciativas de TD e I4.0 a princípios de FH e à resiliência organizacional, principalmente quando ela orienta as políticas de gestão da segurança. Não falamos de toda e qualquer tecnologia digital, tampouco de iniciativas isoladas de aprimoramento tecnológico. Contudo, entendemos que o método, se devidamente adaptado, pode apoiar análises com objetivos distintos dos nossos.

O último objetivo específico prevê aplicar experimentalmente o método para avaliar sua pertinência e viabilidade e, posteriormente, analisar como os resultados obtidos podem ser um instrumento que oriente e apoie a gestão da segurança orientada à resiliência. Quando falamos em potencial de resiliência, restringimo-nos aos aspectos que envolvem a segurança. Sabemos que o constructo resiliência vem sendo aplicado nos mais diversos contextos, muitas vezes relacionado à ideia de continuidade das operações, mas com diferenças sutis em suas definições. Buscamos nos alinhar aos princípios e propósitos da ER e da abordagem *Safety II* que, como já dito por Bento et al. (2021), focaram amplamente no tema segurança.

Como as abordagens da TD e da I4.0 são relativamente novas e as pesquisas sobre o trabalho humano nesse contexto ainda são limitadas, nos propusemos a experimentar em campo a aplicação dos artefatos construídos no decorrer desta pesquisa. O setor de óleo e gás (O&G), por ser crítico em segurança, onde erros humanos podem ter consequências graves e estar ainda nos estágios iniciais dos esforços de integração da I4.0 aos princípios de FH e resiliência (LONGO et al., 2021), surgiu como *locus* interessante para a experimentação. Corrobora com esta decisão o fato de as pesquisas aplicadas a este setor considerarem normalmente apenas um aspecto específico e restrito de suas operações, como a perfuração *offshore* (KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; KONG et al., 2019; LONGO et al., 2021; ROMERO et al., 2015). Há que se dizer, contudo, que os resultados obtidos por esta tese podem ser contextualizados a organizações críticas em segurança em diferentes níveis e pertencentes a outros setores.

Por fim, cabe salientarmos que, para a referida experimentação, definimos como domínio de análise uma subdivisão de um consórcio de empresas que atua no setor de O&G. Portanto, os dados apresentados e os resultados obtidos dizem respeito a esta subdivisão e não podem ser generalizados para retratar a realidade de outros setores, tampouco de outras organizações. Nosso objetivo nunca foi outro, pois definimos como parte do escopo desta pesquisa a concepção do framework e sua experimentação para que inspire e oriente pesquisadores e práticos interessados nos mesmos temas.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA E INEDITISMO

A natureza do trabalho mudou drasticamente no último século e é improvável que a taxa de mudança diminua. Se antes predominavam o controle e a regulação manual, agora é mais comum que os trabalhadores atuem no monitoramento e na supervisão fortemente apoiados pela automação ou, até mesmo, substituídos por ela. Nesta transição, os requisitos (ou restrições) da tecnologia muitas vezes importaram mais do que as demandas das tarefas reais.

Hollnagel (2014) concorda com Flores et al. (1988) quando eles afirmam que o design de novas tecnologias é sempre uma intervenção em um mundo de atividades em andamento. Ele altera o que já está acontecendo e as práticas e preocupações cotidianas de uma comunidade de pessoas e promove uma redefinição de novas práticas. Por isso, a ideia de que podemos apoiar ou substituir o trabalho humano pela tecnologia sem quaisquer consequências (além de maior segurança ou eficiência) é baseada em pressupostos tayloristas relativamente ultrapassados sobre a decomposição do trabalho em componentes que podem ser divididos entre

humano e máquina. Qualquer nova tecnologia altera a natureza das tarefas para as quais foi projetada para apoiar ou substituir. Ela cria um trabalho humano, novos caminhos para o sucesso e o fracasso e novas capacidades e complexidades sociotécnicas. A automação, por exemplo, tende a transformar operadores em supervisores, em gerentes de pessoas e de um conjunto de recursos automatizados. Com sua nova atribuição, surgem novas vulnerabilidades e aumentam as chances de erro. Com as novas interfaces, surgem novos caminhos para a falha da coordenação homem-máquina. Em outras palavras, a introdução de novas tecnologias cria, muitas vezes, reverberações típicas da complexidade. As pessoas assumem novos papéis, que demandam novas especializações e transformam suas relações com os artefatos de trabalho (DEKKER, 2015).

Há poucas dúvidas em relação ao potencial da I4.0 para promover rápido crescimento e desenvolvimento tecnológico nas indústrias de manufatura. O desenvolvimento tecnológico tende a tornar os processos de fabricação mais eficientes, mas, como contrapartida, promove mudanças no trabalho das pessoas, que podem comprometer seu bem-estar, colocar em xeque o conjunto de habilidades e conhecimentos que possuem e até provocar impactos sobre a gestão da saúde e segurança operacional (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; REIMAN et al., 2021).

Reiman et al. (2021), a respeito deste assunto, realizaram uma revisão da literatura e concluíram ser consensual o entendimento de que as pessoas não serão completamente demovidas dos processos de fabricação devido ao desenvolvimento tecnológico promovido pela I4.0. Ainda assim, é provável que seus papéis mudem, o que, por sua vez, questiona as práticas e processos atuais de FH no contexto de fabricação. Neste sentido, Hollnagel (2014) já argumentou que o trabalho atualmente é tão diferente de décadas atrás, quando a disciplina de FH foi formulada, que é necessária uma reavaliação crítica de suas bases. Ele entende que ela deveria tentar antecipar como a natureza do trabalho mudará para que, dessa forma, possa projetar como o trabalho será e, inclusive, propor como ele deveria ser.

Ao projetar o trabalho, é essencial que se reconheça que o futuro não é dado, que humanos e tecnologia evoluem mutuamente e que novas capacidades e complexidades podem surgir. Ao construir ou imaginar mundos, os designers têm a oportunidade de explorar as reverberações da mudança tecnológica antes de comprometer recursos para corrigir soluções específicas, pois, conforme a prática já atestou, normalmente não é a tecnologia que se transforma e as pessoas que se adaptam, mas a prática das pessoas que se transforma e elas, por sua vez, adaptam a tecnologia para atender às suas demandas e restrições (DEKKER, 2015).

Dekker (2015) sugere que os pesquisadores, projetistas e profissionais de FH e segurança preparem-se para aprender com as transformações à medida que elas aconteçam. O foco dos projetos de sistemas não deve ser a criação de artefatos *per se*, mas a compreensão da natureza da prática humana em um domínio e a evolução dessas práticas de trabalho ao invés do simples incremento tecnológico. A ER é a disciplina que, atualmente, parece oferecer os instrumentos mais adequados para lidar com os residuais de incerteza e risco decorrentes da incorporação tecnológica. Ela aborda, por exemplo, a forma pela qual indivíduos, equipes e organizações lidam com decisões sacrificantes, problemas fragmentados, evidências de sucesso passado e aparente ausência de risco e oportunidades de aprendizado.

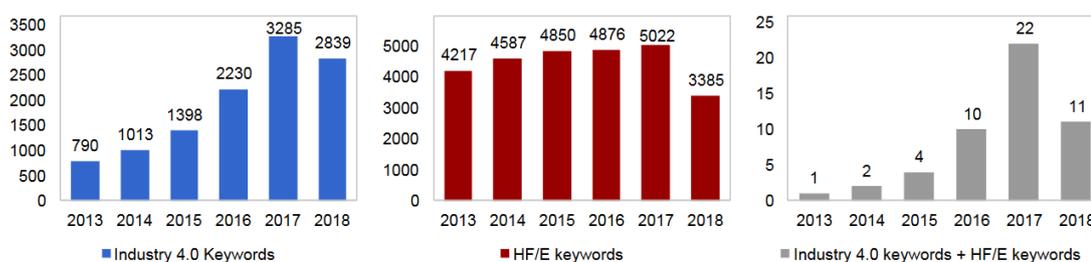
Para aproveitar as oportunidades e lidar com os desafios das mudanças sobre o trabalho humano e a organização do trabalho evocados pela TD e, especificamente, pela I4.0, é interessante que uma compreensão holística das interações sociotécnicas seja almejada, além da aplicação de abordagens e métodos centrados no ser humano quando da introdução de novas tecnologias digitais (KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a). Leso et al. (2018) ressaltam, inclusive, a importância de os profissionais de saúde ocupacional participarem ativamente desses processos, cabendo-lhes avaliar proativamente os riscos associados às tecnologias e promover estratégias de gestão adequadas para proteção da saúde e segurança dos trabalhadores.

Ainda que evidente, pois pode evitar consequências negativas para trabalhadores, organizações e a sociedade, a relação entre desenvolvimento tecnológico e FH no contexto da I4.0 foi pouco abordada pela literatura científica. Neumann et al. (2021) chegam a afirmar que as pesquisas ignoraram amplamente os humanos. Reiman et al. (2021), Hamer et al. (2021), Panagou et al. (2021) e Kadir et al. (2019a) realizaram levantamentos com propósitos similares e obtiveram as mesmas conclusões.

A pesquisa atual, nas conclusões desses pesquisadores, foca primordialmente na maximização da produtividade humana na nova era industrial, mas o faz no âmbito da gestão industrial e não no dos operadores humanos. Não se buscou entender suficientemente bem, ainda, como as pessoas reagirão e estão reagindo às integrações das tecnologias características da I4.0. As poucas pesquisas que tratam dos aspectos de FH são essencialmente teóricas ou hipotéticas e não baseiam seus métodos em análises empíricas. Ao discutir FH na I4.0, elas costumam apresentar cenários, desafios e oportunidades futuros ao invés de descobertas relacionadas ao estado atual da indústria. Além disso, tendem a se concentrar no nível operacional e ignoram os níveis tático e estratégico.

Na Figura 1, são representados visualmente os dados que Kadir et al. (2019) obtiveram pelo levantamento bibliográfico que realizaram. Eles demonstram quantitativamente a baixa atenção dada pela academia, até o momento, à relação entre FH e I4.0.

Figura 1: número de publicações que relacionam os temas I4.0 e FH em comparação com aquelas que tratam dos temas individualmente



Fonte: Kadir et al. (2019)

Kadir et al. (2019) e Badri et al. (2018) nos lembram, ainda, que as recomendações iniciais para a implementação da I4.0 na Alemanha (EUROPEAN COMMISSION, 2013; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013) explicitavam a importância da pesquisa sobre o trabalho humano e a organização do trabalho. Ainda assim, pouca atenção se deu a esses temas nos anos subsequentes. Adiante, listamos algumas dessas recomendações:

- São necessárias pesquisas interdisciplinares que foquem na melhor integração do trabalho humano com equipamentos inteligentes, nos riscos ocupacionais emergentes em todos os níveis de produção, na melhoria da responsabilidade social das empresas, no design e configuração do local de trabalho, no uso eficaz das tecnologias da informação, nas consequências para a organização do trabalho e os riscos psicossociais associados.
- Os modelos de gestão empresarial precisam ser reexaminados à luz das mudanças nos fatores humanos e sociais.
- Para fins de automação, a distribuição de tarefas entre trabalhadores e dispositivos inteligentes, como *cobots*, deve levar em consideração todos os fatores físicos e cognitivos ajustáveis relevantes.
- A configuração do equipamento e o esforço necessário para operá-lo devem ser adaptados às capacidades físicas e cognitivas dos trabalhadores.
- O projeto e a configuração de novos ambientes de trabalho devem permanecer focados no ser humano e em sua segurança e conforto.
- A experiência e a motivação das pessoas precisam ser reforçadas para promover a colaboração segura entre trabalhadores e *cobots* e tornar as novas tecnologias mais seguras.
- As futuras iniciativas de integração de SSO devem combinar desde o início análise de tarefas virtuais, avaliação dinâmica de riscos ocupacionais, análise cognitiva da carga de trabalho e ferramentas de gerenciamento de habilidades.
- Interfaces adaptativas e sensores de emoção precisam ser desenvolvidos para monitorar os trabalhadores e garantir sua segurança continuamente.

Em relação aos aspectos que envolvem especificamente saúde e segurança dos trabalhadores, outro tema caro a esta tese, Liu et al. (2020) e Badri et al. (2018) constataram serem escassos os trabalhos que os tratem de forma integrada à TD e à I4.0. As pesquisas que

abordam a integração da gestão de segurança com a I4.0 ainda são uma novidade e há uma lacuna na literatura em identificar os principais conceitos e elementos da gestão da segurança no contexto da I4.0. A maioria dos artigos foca nas novas tecnologias que impulsionam o desenvolvimento e mencionam a saúde e a segurança do trabalhador apenas brevemente.

Ao analisar a literatura sobre os principais temas desta tese, identificamos uma série de recomendações de trabalhos futuros que pavimentaram o seu desenvolvimento. Neumann et al. (2021), por exemplo, defendem a integração sistemática dos FH nas pesquisas e no desenvolvimento da I4.0, de tal forma que contribua para superar os desafios da TD, apoiando uma força de trabalho diversificada, satisfeita e motivada, com capacidades em expansão adequadas para trabalhar neste ambiente em evolução. Eles sugerem, ainda, a realização de pesquisas que busquem entender o tipo de suporte necessário para ajudar gerentes e equipes de design a evitarem armadilhas relacionadas aos FH em seus processos de inovação.

Nesta mesma linha, Kadir et al. (2019) consideram importante compreender e testar ferramentas conceituais, métodos e projetos fora do ambiente controlado dos laboratórios. Eles explicam que testes rigorosos na realidade podem destacar as deficiências de um conceito e fornecer insights para desenvolvimentos adicionais.

Reiman et al. (2021), por sua vez, trazem uma visão diferenciada ao enaltecerem a compreensão da maturidade tecnológica e do desempenho de todo o processo de fabricação na perspectiva de FH. Eles explicam que a análise de processos pode facilitar as mudanças de direção quando abrangem uma compreensão profunda sobre ambientes de trabalho, tecnologias e suas interfaces, processos de fabricação, além das habilidades e competências necessárias para o desenvolvimento dos processos e a implementação de novas tecnologias.

Hamer et al. (2021), por meio de uma revisão da literatura baseada em temas afeitos a esta tese, constataram que os principais tópicos e métodos abordados não mudaram muito ao longo do tempo. Eles mencionam cultura de segurança, erro humano, interação homem-máquina, risco probabilístico e avaliação da confiabilidade humana. Contudo, eles constataram que tópicos mais recentes, como engenharia de resiliência e *Safety-II*, começaram a aparecer. Eles sugerem, com isso, ser importante explorar e experimentar áreas de interesse novas e emergentes e suas implicações práticas na indústria. Esta sugestão corrobora com a de Badri et al. (2018) que atribui a pesquisadores, consultores e industriais o papel de, colaborativamente, buscarem e implementarem medidas baseadas em uma visão abrangente de gestão da mudança que garanta uma transição tranquila e segura para o novo paradigma que se vislumbra.

Na pesquisa que subsidiou a redação desta tese, compreendemos a partir das publicações basilares sobre TD, I4.0, FH e ER a importância já evidenciada na literatura de relacionar essas áreas com foco na promoção da saúde, bem-estar e segurança dos trabalhadores em seus contextos operacionais. Dessa forma, foram alicerçadas as bases do trabalho que sustentam sua própria justificativa. Há que se lembrar, ainda, da recente proposição pela Comissão Europeia da Indústria 5.0, abordagem cuja missão é desenvolver o potencial de resiliência da atual economia e tornar os novos ecossistemas mais resilientes a futuros choques e tensões. Esta proposta encontra muitos pontos de convergência com a abordagem sob a qual baseamos nosso trabalho e com os resultados que alcançamos, ratificando ainda mais a relevância desta tese.

### 1.5 ADERÊNCIA DA PESQUISA AO EGC

Este trabalho, realizado no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (EGC), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), insere-se na área de Gestão do Conhecimento (GC), especificamente na linha de pesquisa intitulada Teoria e Prática em Gestão do Conhecimento.

Quando o PPGEGC apresenta sua gênese, evolução histórica e bases epistemológicas, o conhecimento é caracterizado como “conteúdo ou processo efetivado por agentes humanos ou artificiais em atividades de geração de valor científico, econômico, social ou cultural” (PACHECO, 2016). Neste trabalho, orientamo-nos por esta definição e consideramos o conhecimento como um importante recurso organizacional, fator gerador de valor e, por isso, passível de ser gerido para transformar os conhecimentos individuais em coletivos e organizacionais por meio, por exemplo, de processos de criação, identificação, coleta e classificação (PACHECO, 2016; UFSC, [s.d.]). Assim, sem ignorar nem contradizer os paradigmas cognitivistas e conexionistas, nos aproximamos mais do autopoietico por enfatizarmos em nosso trabalho os processos efetivados pelas pessoas em atividades de geração de valor.

Além do mais, tal qual as pesquisas realizadas no PPGEGC, que enfocam o conhecimento organizacional, mas também o trabalhador do conhecimento e os fatores que determinam as transformações da sociedade contemporânea em direção à era do conhecimento, relacionamos princípios de fatores humanos e as capacidades de resiliência organizacional às abordagens da TD e da I4.0.

Podemos entender essas últimas como representações características das transformações vivenciadas pela sociedade e pelas organizações empresariais que, nas palavras de Pacheco (2016), buscam encontrar meios, normalmente por intermédio de estruturas ágeis e contemporâneas, de operar de forma sustentável e comprometida com o bem estar coletivo. Lembramos ainda que a preservação da vantagem competitiva e a compreensão dos reflexos dessas transformações sobre o trabalho e os trabalhadores são preocupações das organizações que merecem apreciação científica pelos acadêmicos. Entendemos que, ao relacionar FH e resiliência organizacional para melhor compreender esses movimentos e contribuir com a prática organizacional, esta pesquisa alinha-se virtuosamente com os princípios norteadores e com os desafios apresentados pelo PPGEGC.

Além disso, identificamos alinhamento entre a nossa pesquisa e algumas outras já realizadas no mesmo programa. Elas buscaram explorar, por exemplo, a relação entre GC e ergonomia (FAUST, 2009; MEDRADO, 2007), a percepção dos trabalhadores frente a desafios tecnológicos (LIRA, 2016), a relação entre GC e resiliência organizacional (FRAGA, 2019; POTRICH, 2019), a análise e o desenvolvimento de aptidões dos trabalhadores em uma sociedade moldada pela pervasividade tecnológica (AIRES, 2020; BELLATO, 2021; BRESOLIN, 2020) e a relação entre TD, saúde ocupacional e bem-estar dos trabalhadores (PARANHOS, 2021).

No Quadro 1, apresentamos as dissertações de mestrado e teses de doutorado já defendidas por acadêmicos do PPGEGC que, mais estreitamente, relacionam-se com nossa pesquisa.

Quadro 1: trabalhos anteriores do EGC relacionados aos temas desta pesquisa

Ano	Autor	Título	Nível
2007	Milena Alves Medrado	Gestão do conhecimento e ergonomia: fatores biomecânicos na atividade de soldagem de peças	Mestrado
2009	Richard Faust	Exploração do espaço de design das interações humano-computador: uma abordagem da gestão do conhecimento ergonômico	Doutorado
2016	Wesley José Lira	Mapeamento situacional de uma iminente colisão entre aeronaves na percepção do controlador de tráfego aéreo: um estudo de caso	Mestrado
2019	Bruna Devens Fraga	Framework de análise de conhecimentos críticos às capacidades de resiliência organizacional	Doutorado

2019	Lídia Neumann Potrich	Riscos da perda de conhecimento vinculado a fatores humanos em empresas intensivas em conhecimento	Mestrado
2020	Regina Aires	Desenvolvimento de competências gerais para a sociedade em transformação digital: uma trilha de aprendizagem para profissionais do setor industrial	Mestrado
2020	Graziela Grando Bresolin	Modelo andragógico de plano de aula à luz das teorias da aprendizagem experiencial e expansiva	Mestrado
2021	Rita Bellato	Percepções sobre as competências digitais para os profissionais da área de contabilidade: um estudo de caso	Mestrado
2021	William Roslindo Paranhos	Modelo conceitual para o desenvolvimento de organizações saudáveis	Mestrado

Fonte: elaborado pelo autor.

Nesta tese, caracterizamos a lacuna de pesquisa já identificada pela literatura que apontou a falta de consideração de FH nas abordagens teóricas e iniciativas práticas de TD e I4.0. Trata-se, portanto, de um tópico de pesquisa relevante para as ciências tecnológicas e sociais, com resultados que podem contribuir com a resolução de importantes desafios dos nossos tempos, como a resiliência organizacional, a preservação ambiental e a equidade social. Obtivemos como resultado também instrumentos de diagnóstico e análise das capacidades de resiliência organizacional que são potencialmente úteis a organizações complexas críticas em segurança.

Acreditamos, portanto, que nosso trabalho pavimenta o caminho para pesquisas futuras realizadas no âmbito do PPGEHC que busquem compreender com mais profundidade, ou por meio de recortes temáticos, a relação entre conhecimento organizacional, fatores humanos e desenvolvimento tecnológico. Além disso, adotamos procedimentos metodológicos e propusemos instrumentos práticos que também podem inspirar novas pesquisas, sejam elas orientadas pelos mesmos temas ou não.

## 2 BASE TEÓRICO-CONCEITUAL

As tecnologias digitais se popularizaram e transformaram significativamente o cotidiano das pessoas em um movimento chamado de Transformação Digital (TD). No ambiente de negócios, ele também ocorre em uma via de mão dupla: a transformação dos negócios afeta a vida das pessoas na mesma medida em que as demandas das pessoas afetam o ambiente de negócios.

Nesta pesquisa, decidimos nos ater à indústria de manufatura. Por isso, assumimos o pressuposto de que a Indústria 4.0 (I4.0) promove a TD na manufatura e orientamos parte da revisão teórica por algumas perguntas:

- O que é Transformação Digital?
- Qual a relação entre Indústria 4.0 e Transformação Digital?
- Quais tecnologias apoiam mais frequentemente iniciativas de TD na indústria de manufatura?

O Quadro 2, a título de exemplo, lista publicações relevantes que versam tanto sobre TD quanto I4.0 e que contribuíram significativamente para a realização deste trabalho.

Quadro 2: publicações relevantes que relacionam TD e I4.0

#	Autores	Título	Ano	Publicação
1	Atzori et al.	The Internet of Things: A survey	2010	Computer Networks
2	Bharadwaj et al.	Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights	2013	MIS Quarterly
3	Brettel et al.	How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective	2014	International Journal of Information and Communication Engineering
4	Kagermann et al.	Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0	2013	National Academy of Science and Engineering
5	Lasi et al.	Industry 4.0	2014	Business & Information Systems Engineering
6	Lee et al.	Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment	2014	Procedia CIRP
7	Porter; Heppelmann	How Smart, Connected Products Are Transforming Companies	2015	Harvard Business Review
8	Porter; Heppelmann	How Smart, Connected Products Are Transforming Competition	2014	Harvard Business Review
9	Xu; Xun	How Smart, Connected Products Are Transforming Competition	2014	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing

Fonte: elaborado pelo autor.

Na revisão da literatura, buscamos nos ater também aos conceitos adotados e aos contextos trabalhados pelos autores. Analisamos os benefícios e os desafios identificados por eles advindos da TD na indústria em diferentes aspectos, mas principalmente tecnológicos, organizacionais e mercadológicos.

Nas próximas seções, detalhamos aquilo que identificamos de mais importante para os propósitos de nossa pesquisa no âmbito da TD e da I4.0. Salientamos que a literatura sobre ambos os temas é vasta e que, por isso, nos ativemos àquilo que mais interessava aos propósitos da pesquisa. Entendemos este próprio esforço de seleção e síntese como equivalente a uma análise crítica, pois, a todo momento, avaliamos as publicações e construímos nossa própria redação a partir das que julgávamos possuírem conteúdo de maior qualidade e aderência científica.

## 2.1 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL & INDÚSTRIA 4.0

Desde os anos 2000, imediatamente após a bolha da Internet, muitas empresas, tanto startups quanto corporações, iniciaram um movimento de adaptação de suas infraestruturas de negócios para a nova era digital. Elas buscaram se beneficiar principalmente da redução média de preços dos componentes tecnológicos, do aumento do desempenho computacional e da conectividade global.

As fronteiras que delimitam o perímetro de atuação das indústrias mudaram pela emergência de ambientes dinâmicos não lineares e, não é exagero dizer, bastante turbulentos. Novas capacidades dinâmicas, principalmente aquelas relacionadas à interação das empresas com seus consumidores, passaram a ser valorizadas. Tornou-se cada vez mais difícil desassociar os produtos e serviços de suas próprias infraestruturas de TI.

Nas empresas, o desenvolvimento ou a adoção de plataformas digitais permitiu que elas atuassem em novos espaços e nichos. Tome-se, por exemplo, como a Apple redefiniu o ecossistema de entretenimento móvel e a Amazon o de venda de livros (BHARADWAJ et al., 2013).

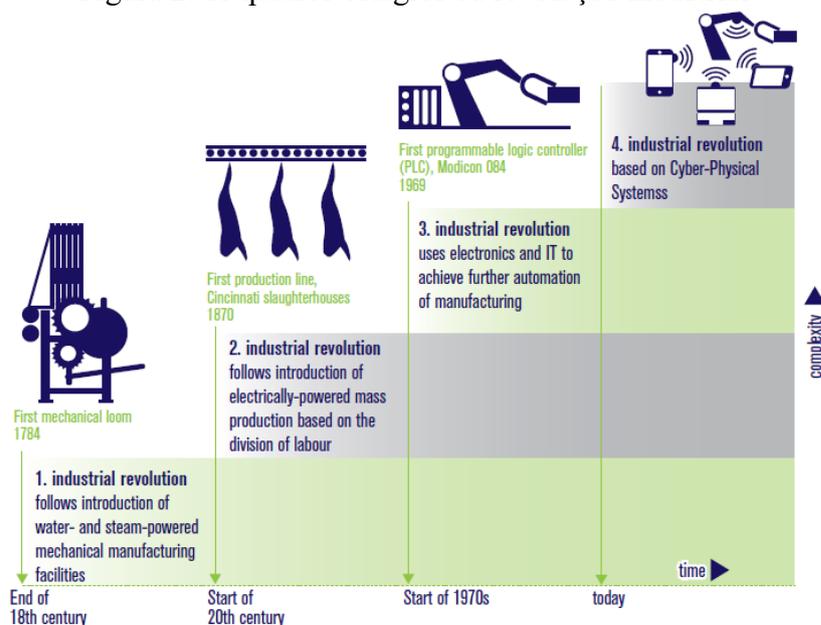
Espera-se que, nos próximos anos, os preços de muitos componentes tecnológicos diminuam e as capacidades computacionais, de armazenamento e de transferência de dados aumentem. Com isso, os consumidores acessarão uma geração de produtos digitais ofertados de novas formas, principalmente por meio da computação em nuvem. Às indústrias, serão proporcionadas oportunidades para melhorar, ampliar e redefinir seus produtos e serviços por meio de conteúdo digital, remodelando suas propostas de valor e criando fontes alternativas de

receita (KARIMI; WALTER, 2015). Elas poderão se beneficiar, ainda, da expansividade dos produtos digitais, mas, para isso, será essencial que reposicionem suas estratégias de TI.

A I4.0, baseada na convergência entre as tecnologias físicas e digitais, remonta à terceira revolução industrial e ao desenvolvimento a partir desse estágio de industrialização. Assim como sua revolução predecessora, a I4.0 objetiva transformar a produção de bens e serviços (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013) tornando-os mais eficientes. Ela, contudo, vai além das transformações anteriores quando se propõe a viabilizar a criação de valor não só pela automação em plantas fabris isoladas, mas pela interconexão entre objetos, produtos e humanos por meio da internet das coisas (MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018).

A Figura 2 rememora as quatro revoluções industriais e seus principais objetivos:

Figura 2: os quatros estágios da revolução industrial



Fonte: Kagermann; Wahlster; Helbig (2013)

A Indústria 3.0, iniciada nos anos 1970 e presente até os dias de hoje, caracterizou-se pelas inovações tecnológicas proporcionadas principalmente pela transição do analógico para o digital. A demanda por produtos aumentou em relação ao volume, à variedade e ao tempo de entrega. Na indústria, os dispositivos eletrônicos e de TI ampliaram a automação da produção e proporcionaram uma ampla onda de digitalização. Ela criou o ambiente propício para a I4.0 impulsionada por inovações tecnológicas, como internet das coisas (IoT), big data, veículos elétricos, impressão 3D, computação nas nuvens, inteligência artificial e sistemas ciberfísicos (LASI et al., 2014; YIN; STECKE; LI, 2018).

Para a efetivação da I4.0, são previstas ações em oito áreas-chave (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013):

- i. Padronização e arquitetura de referência
- ii. Administração de sistemas complexos
- iii. Estrutura de banda larga para a indústria
- iv. Segurança e proteção
- v. Organização e design do trabalho
- vi. Treinamento e desenvolvimento profissional continuado
- vii. Framework regulatório
- viii. Eficiência de recursos

Essencialmente, a I4.0 envolve a integração técnica de sistemas ciberfísicos (CPS) na manufatura e na logística e o uso da internet das coisas e serviços nos processos industriais. Isto potencialmente traz implicações para a criação de valor, os modelos de negócio, as linhas de produção e a organização do trabalho. São previstas transformações em diversas áreas da manufatura, principalmente na cadeia de valor e na forma pela qual as empresas se relacionam com seus clientes. Adiante, detalhamos aquelas que Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) listam como as principais:

- **Requisitos individuais dos consumidores:** critérios individuais e específicos de um consumidor podem ser incluídos nas fases de design, configuração, pedido, planejamento, fabricação e operação. Mudanças de última hora (*last-minute*) também podem ser incorporadas.
- **Flexibilidade:** redes *ad hoc* baseadas em sistemas ciberfísicos permitem a configuração dinâmica de diferentes aspectos dos processos de negócio, tais como qualidade, tempo, risco, robustez, preço e sustentabilidade.
- **Tomada de decisão otimizada:** a transparência de ponta-a-ponta em tempo real permite a antecipação de decisões de engenharia, além de respostas mais flexíveis à disrupção e à otimização global entre todas as empresas na esfera da produção.
- **Produtividade e eficiência de recursos:** os sistemas ciberfísicos permitem que os processos de fabricação sejam otimizados caso a caso em toda a cadeia de valor. Além do mais, ao invés de interromper a produção, os sistemas podem ser continuamente aprimorados, principalmente quanto ao consumo de recursos e energia.
- **Criação de oportunidades de valor por meio de novos serviços:** novas formas de criação de valor e de emprego são viabilizadas por meio, por exemplo, da agregação de serviços.
- **Resposta a mudanças demográficas no ambiente de trabalho:** diante da tendência de escassez de mão de obra qualificada e de sua crescente diversidade em termos de idade, gênero e formação cultural, são criadas condições para que as carreiras sejam mais diversificadas e flexíveis, permitindo que as pessoas trabalhem e se mantenham produtivas por mais tempo.
- **Equilíbrio entre trabalho e vida pessoal:** os modelos organizacionais de trabalho mais flexíveis das empresas que adotam sistemas ciberfísicos possibilitam que elas atendam à crescente necessidade de melhor equilíbrio entre o trabalho e as vidas pessoais dos trabalhadores e de desenvolvimento pessoal e profissional contínuos.

As inovações tecnológicas devem ser consideradas em seu contexto sociocultural, pois mudanças culturais e sociais muitas vezes, ou quase sempre, as impulsionam. O movimento tem potencial para promover crescimento econômico aliado a novas formas de consumo e progressos importantes na área ambiental. As fábricas inteligentes que já iniciaram sua operação empregam métodos de produção completamente novos. Produtos inteligentes

possuem identificadores únicos, podem ser localizados a qualquer momento e conhecem suas próprias histórias, condição atual e caminhos alternativos para alcançar o estado desejado (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A I4.0 deve ser tratada como uma abordagem sistêmica composta por ações necessárias em várias áreas-chave. Ela deve ser implementada de forma interdisciplinar e em estreita cooperação com outras áreas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Seus pressupostos e ideias situam-se na interface das disciplinas de engenharia elétrica, administração de negócios, ciência da computação, engenharia de negócios, sistemas de informação e engenharia mecânica (LASI et al., 2014).

Por se tratar de uma abordagem ainda em desenvolvimento e que, por isso, pode passar por significativas transformações, os benefícios esperados decorrentes da I4.0 são, em sua maioria, projeções. Adiante, no Quadro 3, detalhamos alguns:

Quadro 3: benefícios proporcionados pela I4.0

Benefícios	Detalhamento
Novos modelos de negócio	<p>Espera-se que o desenvolvimento tecnológico alicerçado na I4.0 proporcione novas capacidades às empresas, possibilitando que elas atendam a requisitos mais sofisticados dos consumidores. Esta mudança demanda o desenvolvimento de novos modelos de negócios. Até mesmo a qualidade dos produtos percebida pelos consumidores pode ser ampliada, pois é viável, dentre outros, a manutenção remota e o desenvolvimento de novos serviços e atualizações a partir da extração e da análise de dados (BRETTEL et al., 2014)</p> <p>Além da inovação em modelos de negócio em empresas já estabelecidas, a I4.0 pode promover o surgimento de novas organizações impulsionadas pelas tecnologias digitais sem a necessidade intrínseca de se adaptarem a modelos, rotinas e capacidades pré-existentis (STRANGE; ZUCHELLA, 2017).</p>
Nova organização da produção	<p>Com o tempo, algumas unidades da estrutura organizacional das empresas podem se fundir. TI e P&amp;D, por exemplo, já atuam colaborativamente e um maior estreitamento desta relação pode, em muitos casos, culminar na completa fusão entre elas. Espera-se que novas unidades autônomas também surjam responsáveis por apoiar a estratégia das empresas para os produtos inteligentes e conectados composta por profissionais que mobilizam a tecnologia e os ativos necessários para levar ao mercado as novas ofertas, trabalhando com todas as unidades de negócio afetadas (PORTER; HEPPELMANN, 2014).</p>
Redução do consumo e progresso nas questões ambientais	<p>A I4.0 tem potencial para destravar a manufatura ambientalmente sustentável. Jabbour et al. (2018), neste sentido, apresentam algumas propostas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• design para o meio ambiente, que se refere à criação de produtos que exijam menos recursos naturais e poluentes perigosos, minimizem</li> </ul>

	<p>desperdício e possam ser posteriormente desmontados para que suas partes sejam reutilizadas, recicladas e remanufaturadas;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produção mais limpa baseada na produção, no planejamento e no controle de processos orientados para a redução do consumo de recursos e do desperdício;</li> <li>• iniciativas de gestão verde da cadeia de suprimentos que incluem compras verdes, decisões logísticas para redução do impacto ambiental, disposição responsável e sistemas de reciclagem.</li> </ul>
Melhores condições de trabalho	<p>Müller et al. (2018) afirmam que a I4.0 pode facilitar a contratação de mão de obra de baixa qualificação, pois é que as máquinas expliquem os procedimentos passo-a-passo e guiem os trabalhadores no decorrer dos processos. Strange e Zucchella (2017) posicionam-se contrários a esta visão ao afirmarem que a transformação do trabalho diminuirá a demanda por trabalhadores de baixa qualificação em razão da automação da produção e aumentará a demanda por trabalhadores de alta qualificação, como desenvolvedores de software, engenheiros mecatrônicos e analistas de dados.</p> <p>Os desenvolvimentos tecnológicos impulsionados pela I4.0 criam oportunidades para controlar a produção, mas também para promover a aprendizagem baseada no trabalho (<i>work-based learning</i>). Schuh et al. (2015) defendem que, para se apropriar das tecnologias aprimoradas ou criadas para a I4.0, os métodos e técnicas de aprendizagem baseada no trabalho aproveitem todo o potencial dos sistemas ciberfísicos e da IoT com sistemas sociotécnicos de produção industrial.</p>

Fonte: elaborado pelo autor.

Fatores técnicos, de negócio e legais devem determinar o futuro do setor manufatureiro durante a implementação da I4.0, mas também as novas estruturas sociais no ambiente de trabalho. Espera-se que elas sejam capazes de promover maior envolvimento dos trabalhadores e, por conseguinte, contribuir para sua consolidação. Projetam-se, ainda, transformações significativas do trabalho e das habilidades e capacidades dos trabalhadores como resultado de duas tendências:

- a clara divisão do trabalho característica dos processos de fabricação tradicionais deve ser suplementada na nova estrutura organizacional e operacional por funções de tomada de decisão, coordenação, controle e suporte;
- a necessidade de organização e coordenação das interações entre máquinas virtuais e físicas, sistemas de controle de plantas e gestão da produção (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Avizinha-se com a I4.0 uma oportunidade para lidar efetivamente com as repercussões das mudanças demográficas que estão ocorrendo em todo o mundo, mas de forma mais intensa na Europa, sobre o ambiente de trabalho. Nos próximos anos, será inevitável que aumente a proporção de pessoas de maior idade e de mulheres empregadas. Para que a produtividade dos trabalhadores seja preservada ou até aumente no decorrer de carreiras profissionais mais longas, vários aspectos do ambiente de trabalho terão de ser transformados, principalmente quanto à

gestão da saúde e organização do trabalho, aos modelos de carreira e de aprendizagem contínua, às estruturas das equipes e à gestão do conhecimento. Kagermann et al. (2013) acreditam que as empresas só serão capazes de aumentar os níveis de inovação e produtividade pela implantação generalizada de sistemas de fabricação autonomamente controlados, baseados em conhecimento e equipados com sensores quando responderem adequadamente a estas questões (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Os pesquisadores observam ainda que a própria organização do trabalho deve ser mais inteligente e as habilidades dos trabalhadores ampliadas, pois eles são parte essencial do desenvolvimento e da assimilação das inovações tecnológicas. Como consequência, prevê-se uma transformação radical do conteúdo, dos processos e do ambiente de trabalho, repercutindo sobre a flexibilidade, o controle do tempo, os cuidados com a saúde, as mudanças demográficas e até as vidas privadas das pessoas. Modelos que combinem responsabilidade individual e autonomia com liderança descentralizada são importantes e podem ser testados (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Contudo, ao mesmo tempo em que as empresas demandam de seus trabalhadores as capacidades de gerir a complexidade, abstrair situações e resolver problemas, além de maior flexibilidade e a realização de mais tarefas, é real o risco de elas sentirem perda de controle e alienação do trabalho. Isto decorre da progressiva desmaterialização e virtualização dos negócios e dos processos de trabalho. Além disso, pode haver um impacto significativo no *headcount* das empresas na medida em que aumenta a presença da TI na manufatura industrial. Algumas pessoas devem ter seus trabalhos ameaçados, principalmente as menos qualificadas, em razão do decréscimo de atividades manuais de baixa complexidade desempenhadas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Além dos desafios impostos sobre as estruturas organizacionais e as relações de trabalho, a I4.0 pode repercutir sobre outras áreas, como aprendizagem, arquitetura de produto e produção, limites funcionais e concorrência. Impactos são previstos, ainda, sobre os processos de fabricação e logística, as estruturas organizacionais e a própria natureza do trabalho. Adiante, apresentamos com mais detalhe as tecnologias viabilizadoras, o que caracteriza e como ocorre tal transformação.

### **2.1.1 Transformações organizacionais e tecnologias viabilizadoras**

Porter e Heppelmann (2015) acreditam que a clássica estrutura organizacional das empresas de manufatura está comprometida e que esta é a mudança mais substancial desde a

Segunda Revolução Industrial. Na visão deles, uma nova infraestrutura tecnológica deve emergir da disseminação da I4.0 composta por múltiplas camadas, que incluem o hardware de novos produtos, softwares embarcados, conectividade, uma nuvem de produtos rodando em servidores remotos, uma suíte de ferramentas de segurança, um portal para fontes externas de informação e integrações com sistemas corporativos (PORTER; HEPPELMANN, 2015). Pelo uso de tecnologias inteligentes e pela aplicação da computação ubíqua, as chamadas fábricas inteligentes podem evoluir até se tornarem controladas autonomamente.

No Quadro 4, detalhamos algumas implicações da I4.0 sobre a manufatura extraídas da literatura. Não é uma lista exaustiva, mas suficiente para os propósitos deste estudo.

Quadro 4: implicações da Indústria 4.0

Implicações	Detalhamento
Manufatura em nuvem / Servitização da fabricação / Arquitetura orientada a serviços	<p>Na manufatura em nuvem, os processos de fabricação não são mais orientados ao produto e, sim, ao serviço, transformando o sistema de fabricação tradicional em um sistema inteligente baseado em Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) (ZHONG et al., 2017).</p> <p>Nesta nova abordagem, os recursos distribuídos são encapsulados em serviços na nuvem e administrados centralizadamente. Os consumidores podem usá-los de acordo com os seus requisitos, por meio de solicitações variadas relacionadas ao design, ao processo de fabricação, aos testes, à gestão ou a todos os outros estágios do ciclo de vida dos produtos (XU, 2012). Espera-se que as empresas modularizem seus processos de negócio e contem com capacidades <i>plug-and-play</i> para conectar esses ativos digitais (BHARADWAJ et al., 2013).</p> <p>A rentabilização contínua pode ser obtida pela oferta de uma solução de serviços completa, quase sempre prestados após a venda, satisfazendo às necessidades não atendidas dos consumidores (LEE; KAO; YANG, 2014).</p>
Sistemas de gestão e controle	<p>Sistemas de gestão e controle relevantes precisam ser desenvolvidos para se adaptar às modificações nos hardwares, softwares e tecnologias de comunicação da I4.0 (YIN; STECKE; LI, 2018). Eles são compostos de duas partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• um sistema de informação baseado em computação nas nuvens, onde o design de produtos e processos atua como o 'cérebro' do sistema de fabricação inteligente;</li> <li>• um sistema de fabricação inteligente composto por uma fábrica inteligente e seus fornecedores.</li> </ul> <p>Nos sistemas de produção do presente e do futuro, espera-se que a manufatura seja modular e eficiente e os produtos controlem seus próprios processos de fabricação. Esta realidade, ainda que soe ficcional, é viabilizada pela combinação entre as tecnologias da Internet e os objetos inteligentes (LASI et al., 2014).</p>

Personalização de produtos e serviços / Customização em massa	A I4.0, ao propor a combinação de tecnologias, mas principalmente fabricação flexível e <i>big data</i> , promete tornar possível a customização em massa de produtos (YIN; STECKE; LI, 2018). Critérios individuais e específicos de um consumidor podem ser incluídos nas fases de design, configuração, pedido, planejamento, fabricação e operação. Até unidades singulares, com características únicas e sem escala, podem ser fabricadas lucrativamente (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Para tal, são essenciais a flexibilização de processos, a modularização do design dos produtos e o fortalecimento da integração entre os atores da cadeia de suprimentos ao longo da cadeia de valor (BRETTEL et al., 2014).
Lançamento de produtos	Os produtos e os processos de produção podem ser mais inteligentes. Por isso, as fábricas têm de aprender a lidar com o desenvolvimento rápido de produtos, a produção flexível e os ambientes de negócios mais complexos (BRETTEL et al., 2014).  Nesta nova era das estratégias digitais, o lançamento de produtos terá de ser acelerado. A velocidade deve se basear nos lançamentos realizados pelas empresas <i>pure play</i> , que fabricam um único ou uma linha de produtos e que são, por isso, muito mais dinâmicas. Um plano de desenvolvimento de produtos multianual e sequencial é essencial para as empresas se manterem competitivas em pé de igualdade com startups e outros concorrentes.
Orquestração da cadeia de suprimentos / Flexibilidade	Processos de negócio e de engenharia dinâmicos capacitam as empresas a responder flexivelmente a disrupções e falhas cometidas por fornecedores (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Compreende, ainda, o redesenho da cadeia de suprimentos para permitir a adaptação de rotas e cronogramas, a redução dos estoques e prazos de entrega para promover agilidade e maior sincronização do compartilhamento de informações (BRETTEL et al., 2014).
Dimensões sociotécnicas	É possível um novo nível de interações sociotécnicas entre todos os atores (humanos ou não) e recursos envolvidos na manufatura (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Três dimensões sociotécnicas complementares às tecnológicas devem ser consideradas para a implementação da I4.0 (DALENOGARE et al., 2018): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organização do trabalho: a incorporação de novas tecnologias demanda que a operação da organização seja repensada (BRETTEL et al., 2014).</li> <li>• Fatores humanos: a incorporação de novas tecnologias exige novas competências e habilidades dos trabalhadores (RAS et al., 2017; WEI; SONG; WANG, 2017).</li> <li>• Ambiente externo: a incorporação de novas tecnologias depende da maturidade do ambiente onde elas são implantadas (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016).</li> </ul> <p>Na I4.0, pretende-se que os trabalhadores controlem, regulem e configurem etapas de fabricação baseados em situação, apoiados por sensores sensíveis ao contexto. Desta forma, em tese, não precisam mais realizar tantas tarefas rotineiras, podendo focar em atividades criativas mais valorosas (i.e., intensivas em conhecimento) (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).</p>
Tomada de decisão otimizada	A transparência de ponta-a-ponta em tempo real permite a antecipação de decisões de engenharia, além de respostas mais flexíveis à disrupção

	e à otimização global entre todas as empresas na esfera da produção (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).
Produtividade e eficiência de recursos	Os sistemas ciberfísicos permitem que os processos de fabricação sejam otimizados caso a caso em toda a cadeia de valor. Além do mais, ao invés de interromper a produção, os sistemas podem ser continuamente aprimorados durante a produção, principalmente quanto ao consumo de recursos e energia (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Podem ser aperfeiçoados também o design, a produção, a gestão e a integração do ciclo de vida típico de um produto. Sensores inteligentes, modelos adaptativos de tomada de decisão, materiais avançados, dispositivos inteligentes e análise de dados são tecnologias e técnicas comuns neste contexto (ZHONG et al., 2017).
Comunicação mais fluida entre humanos, máquinas e produtos	A comunicação entre humanos, máquinas e produtos pode ser mais fluida. Os sistemas ciberfísicos capturam e processam dados para autocontrolar certas tarefas e interagir com humanos por meio de interfaces (BRETTEL et al., 2014).
Respostas a mudanças demográficas	Diante da escassez de mão de obra qualificada e de sua crescente diversidade em termos de idade, gênero e formação cultural, a I4.0 cria condições para que as carreiras sejam mais diversificadas e flexíveis, permitindo que as pessoas trabalhem e se mantenham produtivas por mais tempo (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).
Equilíbrio entre trabalho e vida pessoal	Os modelos organizacionais de trabalho mais flexíveis das empresas que adotam sistemas ciberfísicos possibilitam que elas atendam à crescente necessidade dos funcionários de melhor equilíbrio entre o trabalho e suas vidas pessoais e, também, de desenvolvimento pessoal e profissional contínuos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).
Eficiência, segurança e sustentabilidade	Espera-se que, pela incorporação tecnológica e demais transformações, as fábricas se tornem mais inteligentes, eficientes, seguras e ambientalmente sustentáveis (STROZZI et al., 2017).

Fonte: elaborado pelo autor.

Porter e Heppelmann (2015), como já dissemos, acreditam que uma nova infraestrutura tecnológica composta por múltiplas camadas emerge da I4.0. Eles mencionam, entre outros, o hardware de novos produtos, os softwares embarcados e a conectividade entre eles. As tecnologias viabilizadoras da I4.0 estão em pleno desenvolvimento. Por isso, carece de sentido criar uma lista definitiva que possa até se tornar restritiva. Adiante, no Quadro 5, detalhamos as tecnologias basilares e frequentemente mencionadas na literatura como viabilizadoras da I4.0.

Quadro 5: tecnologias viabilizadoras e suas aplicações na I4.0

<b>Tecnologias e Aplicações</b>	<b>Detalhamento</b>
Computação em nuvem	A computação em nuvem oferta serviços computacionais sob demanda com alta confiabilidade, escalabilidade e disponibilidade em um ambiente distribuído, que proporciona uma capacidade dinâmica estratégica para as empresas aumentarem ou reduzirem suas infraestruturas. Ela talvez seja uma das tecnologias inteligentes com

	<p>maior potencial de influenciar os rumos tomados pela manufatura (BHARADWAJ et al., 2013). Os benefícios às organizações são variados, mas se relacionam quase sempre à viabilização de novos modelos de negócio (e.g., <i>pay-as-you-go</i>, elasticidade da produção, customização de soluções), ao apoio a processos de negócio inteligentes (e.g., melhores integrações e processos mais eficientes) e à melhoria da eficiência operacional (e.g., transportar um processo operacional para a nuvem) (XU, 2012).</p>
Big Data & Analytics	<p>Ambientes de big data tomam forma na indústria em grande parte pela aplicação de IoT. O volume de dados coletados e que precisam ser processados aumentou significativamente, sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias para sua análise. Para as indústrias com uma abundância de dados operacionais e de chão de fábrica, técnicas avançadas de análise são críticas para identificar padrões, correlações, tendências de mercado, preferências dos consumidores e outras informações úteis aos negócios (ZHONG et al., 2017).</p> <p>Duas barreiras, contudo, merecem ser esmiuçadas. A primeira decorre do reconhecimento de que dados de boa qualidade são uma fonte de valor para as empresas. Por isso, elas precisam de pessoas e instrumentos de governança capazes de analisar e operacionalizar os dados para extrair deles os benefícios potenciais. A segunda diz respeito à privacidade dos indivíduos, pois, na medida em que os dados se avolumam e, com isso, ficam mais baratos, as empresas tendem a aumentar sua ânsia por eles. Ao analisar a prontidão das organizações para a incorporação de novas tecnologias, o controle de dados e suas variáveis, como segurança e privacidade, precisa ser um elemento central (STRANGE; ZUCHELLA, 2017).</p>
Internet das Coisas (IoT)	<p>Refere-se ao ecossistema interconectado em que recursos típicos de produção são convertidos em objetos de fabricação inteligentes (SMOs) embarcados com sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos digitais para, conectados em rede, coletarem e compartilharem dados.</p> <p>A literatura reporta a aplicação de IoT de forma bem-sucedida em vários contextos (e.g., identificação de objetos por radiofrequência – RFID). A fabricação inteligente e a fabricação em nuvem, entretanto, estão ainda em estágio de prova de conceito e poucos casos reais são reportados, restringindo-se a ilustrações da arquitetura de sistemas e demonstrações de cenários montados em uma empresa de manufatura virtual (ZHONG et al., 2017).</p>
Fabricação aditiva	<p>Os processos de fabricação tradicionais são subtrativos na medida em que as partes e os componentes são fabricados usando técnicas baseadas na remoção de materiais por métodos de corte, perfuração, esmerilhamento e assoreamento. A impressão 3D, diferentemente, é um processo aditivo que cria produtos pela construção sucessiva de camadas de materiais, eliminando a necessidade de montagem dos componentes. A adoção das tecnologias de fabricação aditivas pode proporcionar uma série de vantagens, dentre as quais (STRANGE; ZUCHELLA, 2017):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• personalização para atender aos requisitos dos usuários finais;</li> <li>• simplificação da produção, reduzindo o tempo de fabricação;</li> <li>• redução do desperdício de matéria prima;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• produção em qualquer local do mundo que disponha de impressoras 3D, otimizando os processos logísticos ao aproximar a fabricação do local de consumo.</li> </ul>
Dispositivos vestíveis	O propósito primário dessas tecnologias é aumentar a proteção pela diminuição de risco e prevenção de acidentes nos locais de trabalho (MUKHOPADHYAY, 2015). Os vestíveis ( <i>wearables</i> ) são dispositivos digitais acoplados aos trabalhadores que, passivamente, coletam, armazenam, transmitem e recebem informações sobre localização, sinais biométricos, perigos próximos e desempenho de tarefas técnicas.

A I4.0, desde sua proposição, vem recebendo maior atenção dos universos acadêmicos e empresariais e, com isso, alguns pesquisadores se dedicaram à identificação e análise de pontos críticos e até de efeitos nocivos à sociedade. Para possibilitar nossa própria reflexão, mas também a dos leitores deste trabalho, apresentamos adiante críticas, dificuldades e efeitos negativos evidenciados na literatura científica a respeito desta prometida transformação na indústria de manufatura.

### 2.1.2 Críticas, dificuldades e efeitos negativos

Atribui-se a Bill Gates a ideia de que a automação tecnológica aplicada a uma operação eficiente magnificará a eficiência assim como a automação aplicada a uma operação ineficiente magnificará a ineficiência (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018). Esta visão alicerçada em aspectos operacionais pode ser usada para rebater promessas exageradas e, por vezes, fantasiosas da I4.0, que relegam a esta abordagem a capacidade de resolver problemas complexos, como aqueles sobre o futuro do trabalho, da sociedade e do meio ambiente.

Sabine Pfeiffer (2017), socióloga alemã, talvez tenha sido aquela que exprimiu críticas mais contundentes à I4.0, principalmente quanto às origens e aos interesses por trás desta formação de agenda. Ela nos relata que, na Alemanha, os números 4.0 se tornaram um meme bem conhecido que adorna conferências por todo o país, sinalizando discussões fundamentais sobre diversos assuntos.

Pfeiffer (2017) classifica como míope o discurso sobre a I4.0 focado em aspectos técnicos e fronteiras nacionais por entender que sua origem e desenvolvimento terem mais motivações econômicas que tecnológicas e sido mais influenciados pela estratégia ambiental internacional que por políticas econômicas nacionais. A socióloga descreve uma sucessão de eventos nos quais se envolveram grandes empresas manufatureiras, importantes empresas de consultoria e atores políticos para explicar a ascensão da I4.0 ao patamar dos últimos anos. O ponto central de sua argumentação sustenta que a proposta de uma I4.0 revolucionária e que

orientaria o caminho não só das indústrias, mas também das economias nacionais, surgiu da orquestração de diversos atores importantes, cada qual com seus próprios interesses, e não de uma necessidade latente da sociedade evidenciada pelo desenvolvimento tecnológico.

A pesquisadora afirma ainda que a base retórica da I4.0 não surgiu das novas possibilidades técnicas, mas de motivações demandas pelas elites econômicas. Na visão dela, a Alemanha sequer foi inventora ou protagonista de uma narrativa que outros atores trouxeram à discussão com a intenção de reinventar o mundo da produção industrial. As consultorias corporativas orientaram a narrativa, prometendo um futuro de crescimento superestimado contanto que a sociedade, de bom grado, siga o caminho e o ritmo que elas definiram.

McCray (2017) propôs o conceito de *visioneering*, muito explorado por Pfeiffer (2017) e útil às reflexões acerca da I4.0, e o definiu como uma abordagem de sondagem e exploração para criar o que especialistas tecnicamente fluentes especulam como o que pode ser feito. *Visioneering* envolve a popularização de ideias, a construção de redes de apoiadores e o culto a patronos.

O *buzz* em torno da I4.0 reorientou os holofotes para a produção e o trabalho industrial depois de terem sido quase relegados aos textos de história. Por muitos anos e até recentemente, a produção industrial era tratada como velha economia tanto por *policymakers* quanto pela academia (PFEIFFER, 2017). Os visionários, segundo a concepção de McCray (2017), usam suas visões para captar recursos e atrair apoiadores e, então, alcançar seus objetivos técnicos. Pfeiffer (2017) acredita que os visionários da I4.0 não se preocupam tanto com este último atributo e os critica por isso.

A visão da I4.0 promete resolver problemas complexos da sociedade, muitos dos quais considerados insolúveis e, em alguns casos, com soluções contraditórias. Alguns desses desafios envolvem eficiência energética e de recursos, mudanças demográficas e o melhor equilíbrio entre trabalho e vida pessoal. Contudo, não se propõe claramente como tais objetivos podem ser alcançados, tão somente se repete reiteradamente, tal qual um mantra, uma visão utópica de que a I4.0 é completamente centrada no ser humano e que não cria as condições para fábricas desertas, totalmente automatizadas. Muitas vezes, parece haver um esforço deliberado para evitar descrever detalhes técnicos associados a aplicações concretas da I4.0 no chão de fábrica, propondo, ao invés disso, visões coloridas sobre o futuro (PFEIFFER, 2017).

Na opinião da socióloga, a visão da I4.0 carece de um atributo central da definição de *visioneering* de McCray (2017) que, nas suas palavras, "requer mais que imaginação e ideias arrebatadoras sobre como novas tecnologias poderão moldar a sociedade". Ela também requer

alguma aplicação de habilidades técnicas, conhecimentos e cálculos para avançar em direção ao futuro tecnológico. A engenharia, no fim das contas, culmina na construção de coisas. *Viosineering* de sucesso demanda que papel, lápis e palco sejam substituídos por martelo, forja e arco de solda.

Ao se referir às tecnologias viabilizadoras da I4.0, Pfeiffer (2017) afirma que as possibilidades de expansão são enormes, mas que um ceticismo saudável deve ser evocado porque todas as especulações são baseadas em tecnologias há muito tempo estabelecidas que estão sendo aperfeiçoadas incrementalmente. Ela cita o método *teach-in* de programação robótica intuitiva, apresentado como viabilizador da I4.0, mas que está presente na indústria há décadas. O uso de dados gerados por máquinas e plantas para manutenção remota ou preventiva também não é uma novidade. Até mesmo a fábrica digital já é uma prática comum na produção em massa. Alguns cenários que estão sendo imaginados, na opinião dela, são genuinamente futurísticos, como a impressão 3D (manufatura aditiva) e a fabricação descentralizada e auto-direcionada de produtos.

As inovações nunca prevaleceram na manufatura industrial simplesmente porque eram tecnicamente viáveis. A realidade é mais complexa e envolve muitos outros fatores. Se fosse assim, muitos países desenvolvidos voltariam a concentrar sua produção por disporem de tecnologias mais sofisticadas ao invés de migrarem grande parte de sua cadeia produtiva para países subdesenvolvidos, que utilizam tecnologias simplórias, mas a mão de obra é imensamente mais barata. Os problemas relacionados à segurança e à privacidade, que acompanham muitas das inovações propostas, ainda não foram resolvidos. As infraestruturas tecnológicas necessárias também não (PFEIFFER, 2017).

Em suma, Pfeiffer (2017) afirma que existem razões econômicas, lógicas e baseadas em dados para ceticismo em relação a visões de futuro derivadas de projeções quantitativas das tendências do mercado de trabalho e baseadas em uma consideração única a respeito de quais inovações são agora tecnicamente viáveis. Esses tipos de cenários da I4.0 são míopes porque não se baseiam em *insights* qualitativos sobre a realidade do mundo do trabalho e da estratégia corporativa (e.g., ignorando o papel dos humanos nas interações humano-máquina). Apesar disso, não se pode negar que essas visões têm certo grau de influência. A realidade de amanhã não precisa ser a realidade de hoje; ela pode sempre ser mudada por forças econômicas e atores políticos.

Uma outra suposição é a de que, na I4.0, as despesas com os investimentos necessários à sua implementação poderão anular efeitos adversos sobre o crescimento das empresas. De

forma agregada, sobre as próprias economias regionais e nacionais (PFEIFFER, 2017). Por isso, é muito importante questionar em quais cenários e em que medida os investimentos para a I4.0 se justificam.

Para empresas de pequeno e médio porte (PME), por exemplo, a implementação da I4.0 ainda é cara. Quando questionados, executivos dessas empresas relatam preocupações principalmente com os custos necessários à integração de sistemas ciberfísicos, aquisição de maquinário e/ou atualização do maquinário existente e integração de sensores e softwares (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018).

O baixo custo da mão de obra e os preços elevados em países emergentes pode também desmotivar as empresas a investirem em tecnologias (DALENOGARE et al., 2018). Strange e Zucchella (2017), contudo, acreditam que a maior disponibilidade e os menores custos de sistemas, como os de robótica industrial, poderão influenciar cada vez mais as decisões econômicas relacionadas à localização das atividades manufatureiras, especialmente se os custos de mão de obra e de produção continuarem a aumentar nas economias emergentes. Como resultado, muitas atividades poderão ser deslocadas novamente para as economias mais avançadas, ainda que este fenômeno seja observado de forma muito limitada na prática.

Há que se lembrar que a I4.0 pode proporcionar ganhos em eficiência e novos modelos de negócio, mas é provável que influencie negativamente sobre a oferta de postos de trabalho. Algumas funções, especialmente as que exigem menor qualificação, tendem a rapidamente desaparecer. A maioria dos cenários da I4.0 associa projeções de crescimento ao aumento da flexibilidade da produção com supostos ganhos concomitantes de produtividade. Isto, no entanto, não garante a geração, sequer a preservação de postos de trabalho. Tradicionalmente, de acordo com a perspectiva de Christensen e van Bever (2014), ganhos em eficiência eliminam postos de trabalho ou previnem a necessidade de criação de novos, gerando capital adicional (PFEIFFER, 2017).

Pfeiffer (2017) reconhece que I4.0 e IoT são tecnologias viáveis que poderiam contribuir em um futuro próximo com a redução do consumo de recursos. Contudo, não acredita que o dogma do crescimento será quebrado, podendo até exacerbar a crise dita por ela entre economia e ecologia. Quando se trata de força de trabalho em um cenário de disseminação da I4.0, muitas contradições começam a surgir. Isto é evidente quando se debate sobre qualificação dos trabalhadores ou sobre a automação dispensar os trabalhadores de tarefas repetitivas para que possam ser mais criativos. A automação proporcionada pela I4.0 pode gerar problemas sérios sobre os empregos na medida em que trabalhadores serão substituídos. A mensuração

dos impactos não é comum na literatura científica, tampouco nos debates nos meios políticos e empresariais. As menções a essas questões surgem aqui e acolá, mas sempre de forma singela, tímida (PFEIFFER, 2017).

Müller et al. (2018) observam ainda que as atuais limitações humanas impedem muitas empresas de olharem para além das atuais capacidades técnicas a fim de identificar tecnologias emergentes (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018). A implementação da I4.0, por isso, requer apoio gerencial e trabalhadores de alta qualificação.

Pfeiffer (2017) nos permite perceber que não se respondeu ainda como esse movimento tornará o trabalho humano mais autônomo e descentralizado, assim como se propaga repetidamente. Se, no futuro, os humanos, as máquinas e os sistemas inteligentes serão uma força de trabalho híbrida conectada globalmente, na qual os componentes individuais serão universalmente empregados em um sistema de produção colaborativo altamente eficiente e autodirecionado, como os componentes humanos serão livres para direcionar mais sua concentração a aspectos mais humanos de seus trabalhos como a resolução criativa e colaborativa de problemas (PFEIFFER, 2017)?

Além disso, dados coletados junto a executivos de organizações que já iniciaram a transformação em direção à I4.0 ou que têm potencial para tal indicam um receio no compartilhamento transparente de dados críticos com fornecedores e consumidores. É uma preocupação latente que pode criar barreiras para a implementação da I4.0. As empresas de grande porte, muitas vezes, receiam ainda mais compartilhar dados, mesmo que transacionados máquina-máquina de forma criptografada. Considerando que as informações compartilhadas incluem dados sensíveis sobre inventários, gargalos e incidentes, novas abordagens éticas, técnicas e legais serão necessárias para a I4.0 (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018).

Strange e Zucchella (2017) alertam também para os riscos cibernéticos e suas implicações sobre a privacidade individual e a necessidade de regulação. Questões que envolvem segurança são um tópico de pesquisa crucial, principalmente quando as máquinas equipadas com sistemas de controle inteligente começam a se comportar e agir como humanos em espaços reais de fabricação (ZHONG et al., 2017).

Novas leis de proteção de dados e/ou o fortalecimento de regulamentações da própria indústria precisam ser formuladas para garantir a privacidade dos indivíduos e impor limites sobre quais dados podem ser acessados, armazenados e transmitidos tanto nacionalmente quanto entre fronteiras (STRANGE; ZUCHELLA, 2017).

A implementação das iniciativas de I4.0 e a avaliação do seu impacto sobre processos internos também merece ser investigada mais profundamente. Assim como com muitas outras estratégias de I4.0, parece que os pesquisadores focaram demais no desenvolvimento e na validação de diferentes tecnologias. Dado que esta abordagem resulta em muitos instrumentos, métodos e tecnologias, existe uma necessidade clara de os pesquisadores proporem e validarem caminhos e métodos de implementação. Assim como com os sistemas de produção e de controle anteriores, como MRP, ERP e MES, espera-se que as metodologias desenvolvidas para grandes organizações não atendam *ipsis literis* às necessidades das PMEs (MOEUF et al., 2018).

## 2.2 RESILIÊNCIA EM SISTEMAS SÓCIOTÉCNICOS COMPLEXOS

Diversos domínios empregam o conceito de resiliência – ecologia, psicologia, psiquiatria, física (MCMANUS et al., 2007; LAY; BRANLAT; WOODS, 2015; AYYUB, 2015), mas sua introdução formal ocorreu na ecologia designando a persistência das relações dentro de um sistema (HOLLING, 1973). Nas últimas décadas, a resiliência se tornou um campo de investigação importante também para o estudo das organizações, principalmente daquelas consideradas sistemas sociotécnicos complexos, em sua relação com eventos inesperados (MCMANUS et al., 2007; WOODS, 2015). Isto decorre do reconhecimento de que os sistemas de antigamente podiam ser decompostos para serem compreendidos ou detalhados, assumindo-se que era possível controlá-los. Os atuais, formados pelo relacionamento estreito entre elementos sociais (i.e., pessoas e as relações entre elas) e técnicos (i.e., artefatos), são abertos, muito difíceis de detalhar ou até de os delimitar (PATRIARCA et al., 2017). Suas características nos forçam a aceitar a possibilidade de nunca sermos capazes de prever possíveis estados e resultados que deles possam emergir (LUNDBERG; JOHANSSON, 2015). Por essa razão e pelo fato também de, nesses sistemas, a segurança ser crítica e o ambiente apresentar ameaças a eles próprios e a seus objetivos, até as crises estão se tornando mais complexas, ultrapassando fronteiras e se interconectando (BOIN; LAGADEC, 2000; LUNDBERG; JOHANSSON, 2015).

A complexidade crescente apresenta desafios à resiliência das organizações e pode ser explicada a partir de alguns vieses. McManus (2008) defende que os sistemas se tornam mais complexos na medida em que aumentam os agentes e o seu comportamento se torna não linear. Isto é, o comportamento do sistema não pode ser previsto pelo comportamento individual dos agentes. Patriarca et al. (2017) e Dekker et al. (2008), por sua vez, creditam ao desenvolvimento tecnológico acelerado o aumento da complexidade em razão da maior sofisticação dos

procedimentos e das atividades organizacionais, sendo possível até que acidentes emerjam da interação complexa e não linear entre muitos subcomponentes operacionais tidos como confiáveis.

As inovações tecnológicas, contudo, podem desempenhar um papel importante para o aumento da própria resiliência (MCDONALD, 2006). Novas tecnologias baseadas, por exemplo, em sensores ou modelos preditivos podem ajudar a reduzir as incertezas relacionadas aos riscos associados à exposição ao perigo (MENDONÇA; WALLACE, 2015). Para tal, é necessário que os operadores humanos sejam posicionados como componentes centrais em todos os estágios do processo de desenvolvimento ou implantação de sistemas. Ainda hoje, é comum ser grande a distância entre design e operação e McDonald (2006) afirmou, alguns anos atrás, inexistirem modelos convincentes que orientem a constituição e a consideração das necessidades dos operadores como motor da inovação em sistemas sociotécnicos complexos.

De forma objetiva, a complexidade por si só não justifica a abordagem da resiliência. A maioria dos estudiosos da área credita ao aumento da complexidade o surgimento de novos riscos que, por sua vez, demandam a abordagem da resiliência como estratégia de gestão (BERGSTRÖM; VAN WINSEN; HENRIQSON, 2015) para lidar, por exemplo, com as variabilidades das atividades cotidianas, o forte acoplamento, a subespecificação do trabalho e as interações não lineares entre os agentes (PATRIARCA et al., 2017).

Enquanto Lundberg e Johansson (2015) afirmam haver ainda muitas definições para resiliência, algumas até contraditórias<sup>3</sup>, Woods (2015) reconhece a popularidade do conceito e defende a necessidade de clarificar seus significados técnicos e fundacionais. Ele os organizou em quatro grupos representativos dos principais conceitos repetidos desde a proposição da resiliência como uma propriedade crítica dos sistemas:

- i. Resiliência como repercussão de um trauma e retorno ao equilíbrio.
- ii. Resiliência como um sinônimo para robustez.
- iii. Resiliência como o oposto de fragilidade.
- iv. Resiliência como rede de arquiteturas que podem sustentar a habilidade para se adaptar a futuras surpresas na medida em que as condições evoluem.

Ele alertou, ainda, que, para garantir a coerência da finalidade prática ou acadêmica do estudo ou projeto de modelagem de capacidades adaptativas, é importante explicitar sobre qual dos quatro sentidos da resiliência ele se ampara. Woods (2015) identificou também algumas das principais questões que orientaram as pesquisas sobre resiliência:

---

<sup>3</sup> Eles exemplificam afirmando que há quem veja resiliência como uma característica associada a robustez enquanto outros a definem como sinônimo de capacidade de adaptação. Tal contradição suscita o questionamento: um sistema resiliente resiste a condições adversas ou se adapta a elas?

- Como os sistemas adaptativos falham?
- Como os sistemas podem ser preparados para as inevitáveis surpresas enquanto lidam com pressões para serem mais eficientes na utilização de recursos?
- Quais mecanismos permitem que um sistema gerencie o risco de falhar nos limites de suas funções normais?
- Quais arquiteturas permitem que os sistemas continuem adaptáveis durante longos períodos e múltiplos ciclos de mudança?

Bergström et al. (2015), por sua vez, enaltecem que, na literatura, a resiliência costuma ser associada aos níveis individual, de equipes e organizacional e a indicadores que versam sobre comprometimento da alta gestão, cultura justa e de aprendizagem, consciência e opacidade, preparação e flexibilidade. Ele lembra, ainda, que alguns pesquisadores se preocupam até com a influência de governos sobre a resiliência de organizações críticas em segurança.

No Quadro 6, apresentamos definições de resiliência adotadas por autores relevantes no campo dos estudos organizacionais no decorrer das últimas décadas. A seleção não pretende ser exaustiva, mas, sim, elucidativa, ajudando o leitor a se contextualizar mais amplamente sobre o tema e demonstrando como o conceito evoluiu, o que pode ser feito comparando as definições antigas com as mais recentes.

Quadro 6: definições de resiliência

<b>Estudo</b>	<b>Definição</b>
Wildavksly (1989)	Capacidade de lidar com perigos inesperados depois que eles se manifestam, aprendendo a se recuperar.
Grotberg (1997)	Capacidade universal que permite a uma pessoa, grupo ou comunidade prevenir, minimizar ou superar os efeitos danosos da adversidade.
Amalberti (2006)	Existem vários tipos de resiliência correspondentes às diferentes atividades humanas. O alcance da segurança pode ser diferente de um tipo de resiliência para outro. Pequenos acidentes, por exemplo, podem ser tolerados no setor de mineração enquanto, na indústria nuclear, são inaceitáveis.
Leveson et al. (2006)	Habilidade que os sistemas têm para prevenir ou se adaptar a mudanças nas condições, preservando ou controlando suas propriedades (e.g., segurança ou risco).
McDonald (2006)	Capacidade que um sistema tem para antecipar e gerir o risco de forma eficaz por meio da adequada adaptação de suas ações, sistemas e processos de forma a garantir que as funções essenciais sejam desempenhadas numa relação estável e eficaz com o meio ambiente.
Hollnagel (2006, 2010)	Habilidade que uma organização tem para se ajustar às influências danosas ao invés de evitar ou resistir a elas [...] antes, durante ou após mudanças ou distúrbios, mantendo as operações mesmo após um grande contratempo ou a presença de stress contínuo.
Sundström & Hollnagel (2006)	Capacidade que uma organização tem de se ajustar com sucesso ao impacto combinado de eventos internos e externos durante um significativo período.

Dekker et al. (2008)	Habilidade para acomodar mudanças, conflitos e distúrbios e de manter ou recuperar um estado dinâmico de estabilidade sem que ocorram danos severos ou falhas catastróficas. A resiliência não diz respeito à redução de negativos (incidentes, erros, violações) e, sim, à identificação e aprimoramento de capacidades positivas das pessoas e organizações que permitem que elas se adaptem efetiva e seguramente sob pressão.
McManus (2008)	Função da consciência situacional, das vulnerabilidades chave e da capacidade de adaptação de uma organização em um ambiente complexo, dinâmico e inter-relacionado.
Woods (2009)	Potencial que um sistema tem para a ação adaptativa no futuro quando as informações variam, as condições mudam ou novos tipos de eventos ocorrem, qualquer um dos quais desafia a viabilidade de adaptações, modelos ou suposições anteriores.
Ayyub (2015)	Persistência das funções e desempenhos de um sistema sob incertezas decorrentes de distúrbios.
Lundberg & Johansson (2015)	Capacidade intrínseca que um sistema tem de se adaptar proativa ou reativamente preservando suas principais funções.
Mendonça & Wallace (2015)	Expressão da capacidade de adaptação e da morfologia do comportamento adaptativo.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na concepção mais tradicional, um sistema será considerado seguro ou confiável quando o número de resultados adversos (e.g., acidentes e incidentes, lesões ocupacionais) for aceitavelmente baixo. O nível de segurança, assim, será um indicador inversamente proporcional ao número de ocorrências. O clássico e amplamente difundido Modelo Dominó, de Heinrich (1931), baseia-se nesta perspectiva.

Na perspectiva sistêmica, defendida por Pariès (2006) como uma alternativa à visão tradicional, a estabilidade é dinamicamente emergente ao invés de estruturalmente inerente, sugerindo que a segurança é o que o sistema faz e não algo que ele tem (DEKKER et al., 2008). Por isso, os teóricos da resiliência costumam defender não ser ela uma qualidade ou condição estática das organizações, mas, sim, uma característica que pode variar durante o tempo associada ao seu desempenho e capacidade para reconhecer e se adaptar a perturbações imprevistas que as desafiam e exigem mudanças em processos e estratégias, além de coordenação para preservar, na medida do possível, sua integridade e a continuidade das operações (MCDONALD, 2006; WESTRUM, 2006; WOODS, 2006; MCMANUS et al., 2007; MCMANUS, 2008; HOLLNAGEL; NEMETH, 2009; HOLLNAGEL, 2015). A resiliência, neste entendimento, é considerada uma propriedade emergente de organizações complexas, cujo objetivo é a sustentabilidade (PARIÈS, 2006; DEKKER et al., 2008).

McDonald (2006) evidenciou o dilema<sup>4</sup> da gestão da qualidade e da segurança entre a desejada manutenção da estabilidade – para que um padrão constante de trabalho ou produção seja mantido – e as necessidades de melhoria constante e flexibilidade para atender às demandas reais da operação, que implicam em mudança. Analisar o funcionamento normal dos sistemas operacionais, segundo ele, revela uma lacuna entre os requisitos formais e o que realmente acontece. Ele vê na definição de resiliência a resposta a este dilema: alcançar adaptação suficiente para manter a integridade e a estabilidade das funções essenciais, absorvendo os desafios que o ambiente suscita. Tais desafios podem advir de novas ameaças ou demandas do ambiente, da incorporação de novas tecnologias, do aumento das pressões competitivas, de mudanças nas expectativas do público ou de outros eventos inesperados fora do escopo de variações e distúrbios com os quais o sistema está projetado para lidar que podem provocar conflitos sob a limitação de recursos (DEKKER et al., 2008; MCDONALD, 2006; WOODS, 2015).

O foco da discussão deixa de ser, então, se a mudança é benéfica e passa a ser a avaliação de sua pertinência com vistas à sobrevivência de médio a longo prazo. Para tal, as organizações devem reconhecer que acidentes emergem da complexidade das atividades das pessoas em um contexto organizacional e técnico (DEKKER et al., 2008), que procedimentos operacionais padrão não fornecem todas as bases para lidar com *trade-offs* inerentes ao trabalho (RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015) e que eventos inesperados possuem, muitas vezes, características regulares e podem ser rastreados e usados como sinais para adaptação (WOODS, 2015). Com isso, elas se tornam mais capazes de perceber e compreender o ambiente de forma adequada para que antecipem, planejem e implementem ajustes apropriados em atendimento aos requisitos do futuro (MCDONALD, 2006).

Mesmo em sistemas com desempenho ótimo ou robusto ocorrem eventos que desafiam seus limites. Woods (2015) é quem faz esta observação e, a partir dela, apresenta o conceito de extensibilidade graciosa, que é uma capacidade dinâmica, variação de degradação graciosa, termo mais tradicional na literatura científica. A degradação graciosa se refere apenas a quebras enquanto a extensibilidade promove adaptações positivas nos limites do sistema, levando-o ao sucesso e não simplesmente a uma capacidade menos negativa. Os sistemas com alta

---

<sup>4</sup> De forma análoga ao dilema exposto por McDonald (2006), o desenvolvimento e a incorporação de processos e tecnologias da I4.0 pode gerar instabilidade nas organizações e, por consequência, comprometer qualidade e segurança. Sob a lente da engenharia de resiliência, que busca alcançar a adaptação suficiente para manter a integridade e a estabilidade organizacional em um ambiente complexo envolto por mudanças e incertezas, as consequências negativas desta turbulência podem ser minimizadas.

extensibilidade graciosa têm recursos para antecipar gargalos e aprender sobre a dinâmica das perturbações, além de possuírem a prontidão para ajustar suas respostas se adequando aos desafios. Os sistemas pouco preparados (i.e., com baixa extensibilidade graciosa) correm maior risco de colapso em seus limites (WOODS, 2015).

Disto decorre a importância de reconhecer que os acidentes emergem de uma confluência de condições e ocorrências normalmente associadas com a busca pelo sucesso, mas que, nessa combinação, são capazes de provocar falha (DEKKER et al., 2008). Por isso, as organizações modernas devem gerir ativa e conscientemente a resiliência com vistas à sua maximização (LUNDBERG; JOHANSSON, 2015), pois um sistema não pode ser resiliente, mas ter potencial para o desempenho resiliente (HOLLNAGEL, 2015). Além disso, é importante incorporar princípios de fatores humanos e envolver os trabalhadores de todos os níveis operacionais nas iniciativas de desenvolvimento de inovações em grandes sistemas sociotécnicos, principalmente aquelas que almejam contribuir com a ampliação de seu potencial de resiliência. O conhecimento tácito dos trabalhadores é, muitas vezes, difícil ou até impossível de ser explicitado, por isso o envolvimento direto é uma alternativa interessante para a geração, por exemplo, de ideias de design (MCDONALD, 2006).

Quando realiza adequadamente a gestão da resiliência, uma organização tende a ter maior consciência situacional, capacidade de adaptação e de reconhecimento dos limites das operações cotidianas. Isto permite que ela compreenda as vulnerabilidades que podem prejudicar criticamente seu desempenho e se adapte oportunamente a elas, tornando-se, por consequência, mais segura (HOLLNAGEL, 2010; MCMANUS et al., 2007). A seleção e análise de eventos pregressos para observar as formas pelas quais o sistema ampliou seus limites e acomodou ou se adaptou às perturbações, ainda que limitada, pode fornecer dados para avaliar o potencial do sistema para as ações adaptativas no futuro, quando novas variações e desafios ocorrerem (WOODS, 2015). Patriarca et al. (2017) observam, contudo, que a resiliência não é, por si só, a solução para a melhoria do desempenho do sistema, mas que, pela adoção de uma abordagem sistêmica, é possível compreender onde a resiliência é necessária e onde não é.

A motivação para o aperfeiçoamento de um sistema de gestão da resiliência que permita à organização saltar de um estágio para outro não costuma ser natural ou espontânea. Amalberti (2006) acredita que um sistema é instigado a mudar seu nível de resiliência quando percebe riscos de comprometimento dos negócios atuais em razão de mudanças ou pressões externas (e.g., crise econômica ou política, grande acidente no mesmo setor, perturbações em cascata) ou internas (e.g., envelhecimento do sistema, dificuldade para inovar ou se manter

competitivo, saturação da capacidade de adaptação, aumento da fragilidade) (WOODS, 2015). As métricas para mensuração e avaliação da resiliência organizacional, ainda que difíceis de medir devido à sua natureza latente (MENDONÇA; WALLACE, 2015), podem ser um instrumento útil de identificação de quatro necessidades organizacionais (STEPHENSON, 2010):

- Demonstrar progresso na iniciativa de se tornar mais resiliente.
- Obter indicadores que orientem as ações.
- Demonstrar ganhos de competitividade a partir de melhorias na resiliência organizacional.
- Demonstrar um *business case* para orientar investimentos em resiliência.

### 2.2.1 Gestão de riscos e da segurança orientada à resiliência

As abordagens mais tradicionais de gestão da segurança focam em resultados adversos (acidentes, incidentes) para tentar reduzir sua incidência ou, pelo menos, limitar seus efeitos. Elas se orientam por uma lógica linear, também chamada de raciocínio newtoniano, e visam reduzir a variabilidade do trabalho cotidiano por meio de regulamentos e procedimentos rígidos que restringem as atividades de trabalho. Ela tem base no credo da causalidade, ou seja, na possibilidade de encontrar umnexo causa-efeito específico para qualquer evento, decompondo o sistema em suas partes constituintes e, geralmente, pensando no ser humano como fonte de falhas. Convencionou-se chamar esta abordagem de *Safety-I* (HOLLNAGEL, 2015; PATRIARCA et al., 2017).

Patriarca et al. (2017) observam, contudo, que as suposições de *Safety-I* são efetivas só em sistemas cuja complexidade é limitada. Em cenários operacionais complexos, como nos atuais sistemas sociotécnicos, as fortes interações entre aspectos humanos, técnicos, organizacionais, procedimentais e regulatórios inviabilizam uma compreensão linear efetiva de todo o sistema. Ao reconhecerem e aceitarem a natureza complexa dos sistemas sociotécnicos, os pesquisadores da área de gestão da segurança orientaram-se em direção a uma perspectiva alternativa, que pretende entender as atividades cotidianas. Eles passaram a reconhecer que, no dia a dia, o trabalho realizado é diferente do projetado e tal diferença demanda a adaptação das pessoas para lidar com cenários de variabilidade operacional e garantia de produção segura. Essa adaptação, como já dissemos, está na base do conceito de resiliência.

A abordagem de gestão da segurança orientada à resiliência traz implicações, inclusive, à análise de acidentes<sup>5</sup>, onde sempre foi comum direcionar a atenção a causalidades lineares circunscritas ao evento em si, a pistas falsas como o erro humano ou a causas básicas

---

<sup>5</sup> O Grupo de Investigação do Acidente de Columbia foi o primeiro a recomendar a estratégia de resiliência como um mecanismo fundamental para prevenir futuras falhas (Woods, 2006).

vagas, como problemas de comunicação. A resiliência sugere que os graves acidentes são indicadores tardios de um sistema que se tornou frágil com o tempo e de um gerenciamento de segurança que não percebeu a fragilidade crescente e, por isso, não ajudou a gerência a responder a ela. Em outras palavras, os acidentes representam rupturas nos processos que promovem a resiliência (WOODS, 2006).

Woods (2006) sugere que técnicas mais efetivas de gestão da segurança deveriam habilitar as organizações a:

- revisar e reformular a avaliação de riscos que enfrentou e a eficácia de suas contramedidas contra esses riscos à medida que novas evidências se acumulam;
- detectar quando as margens de segurança estão erodindo ao longo do tempo (i.e., o risco de, sem que perceba, estar operando mais perto de seus limites de segurança);
- monitorar o risco continuamente ao longo do ciclo de vida para manter um equilíbrio dinâmico entre a segurança e as pressões para atender às metas de produção e eficiência.

Para melhor embasar suas proposições, Woods (2006) busca amparo na tragédia dos *commons*, alegoria proposta por Ostrom (1999), que designa a dinâmica adaptativa onde atores, agindo racionalmente no curto prazo para gerar um retorno em um ambiente competitivo, esgotam ou destroem o recurso comum do qual dependem no longo prazo. Ele explica que o tão comum *trade-off* entre segurança e produção é análogo às tragédias dos *commons*. Apesar dos esforços das organizações para projetar operações seguras e dos custos elevados advindos das falhas, que podem ocasionar até a perda de vidas humanas, os gestores de linha de frente, pressionados para produzir, tomam decisões que, gradualmente, podem erodir as margens de segurança, minando o amplo objetivo comum (*common*) compartilhado de segurança.

*Pools* de recursos comuns (*commons*) são geralmente administrados por uma organização de nível elevado para a qual se atribui a responsabilidade por eles em toda a sua extensão e por longos períodos. Tal organização costuma ter autoridade para obrigar indivíduos ou grupos a modificar seu comportamento, sacrificando autonomia e retornos de curto prazo em favor da sustentabilidade ou do aumento dos recursos em longo prazo (WOODS, 2006). Esta estrutura se assemelha muito àquelas responsáveis por gerenciar a segurança nas organizações.

Ostrom (1999) constatou, contudo, que as relações baseadas em estilo de comando entre os níveis organizacionais, tal qual descrevemos no parágrafo anterior, não funcionam bem. Ela propõe como alternativa a gestão por meio de sistemas de governança policêntricos, baseados em autoridade sobreposta em um equilíbrio dinâmico. Nessa estrutura, não há um centro de governança único com capacidade de comando unilateral e o gerenciamento baseia-se, por exemplo, em comunicação cruzada, normas compartilhadas, confiança e reciprocidade.

O gerenciamento da resiliência, assim, relaciona-se estreitamente com o gerenciamento da própria complexidade e da incerteza em sistemas sociotécnicos (ROBBINS et al., 2012). A reorientação da segurança para a resiliência exigirá uma avaliação de riscos mais precisa, levando em consideração, por exemplo, como mudanças nos treinamentos, nos procedimentos e na tecnologia afetam a resiliência do sistema (DIJKSTRA; WERP, 2006). Quando gerenciam adequadamente a resiliência, as organizações são capazes de monitorar e reequilibrar dinamicamente a relação entre risco e produção, a enxergar as deficiências nos processos decisórios, a reformular as avaliações de risco e a questionar as suposições sobre como ela própria promove segurança. São capazes, ainda, de determinar como projetar uma organização segura para atender a metas ambiciosas (WOODS, 2006).

Muitos pesquisadores enfatizam a relação causal entre risco e variabilidade, onde o primeiro é resultante de processos subjacentes do segundo que são inerentes aos sistemas complexos. Isto nos leva a reconhecer que o risco também é inerente a esses sistemas e nos permite considerar uma falácia os anseios pela extinção completa de danos ou acidentes. Cabe-nos, assim, ponderar a segurança sempre em relação a um nível de risco, considerando-o como uma propriedade emergente das próprias interações dentro de um sistema (BERGSTRÖM; VAN WINSEN; HENRIQSON, 2015).

O aumento de risco, nesta abordagem, seria indicado pelo monitoramento de sinais dinâmicos definidos já na modelagem de desempenho do sistema (PATRIARCA et al., 2018) e o aprimoramento da segurança recairia sobre a capacidade da organização de refletir e dinamicamente adaptar seus modelos de risco de forma alinhada com os processos cotidianos, que são dinâmicos (HUBER et al., 2009).

Grøtan e Vorm (2016), desta relação entre resiliência e segurança, fazem um alerta relacionado aos treinamentos ofertados pelas organizações aos seus trabalhadores. Eles sugerem que os treinamentos em resiliência sejam conduzidos e organizados em estreita relação com os focados em segurança (i.e., orientados para a conformidade), visando um equilíbrio delicado entre o comportamento prescrito e as habilidades adaptativas necessárias para lidar com o inesperado. Eles salientam certo aspecto contraintuitivo advindo do alinhamento entre treinamentos em resiliência e em segurança, pois a resiliência como princípio (*Safety-II*) contrasta com o pensamento de segurança baseado em conformidade (*Safety I*). Desta nova concepção, parece fazer sentido que a atenção dos gestores se reorienta para modos alternativos de controle com maior autonomia das equipes de campo em uma relação ampliada de confiança em suas capacidades resilientes.

## 2.3 ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA

As primeiras publicações mencionando a Engenharia de Resiliência (ER) são de 2003 (WOODS, 2003; WOODS; WREATHALL, 2003), mas foi o 1º Simpósio sobre ER realizado na Suécia, em 2004, e o livro publicado posteriormente, em 2006, baseado neste encontro, que impulsionaram academicamente a disciplina (RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015). No evento, tentou-se obter um consenso a respeito dos limites do campo. Foram explorados quatro temas gerais:

- Limitações da abordagem mais comum para análise de acidentes baseada em causalidade e decomposição e benefícios potenciais da ER para a prevenção de acidentes (AMALBERTI, 2006; LEVESON et al., 2006).
- Dificuldades em detectar desvios organizacionais e diferenças sobre a resiliência percebida e a real.
- Reconhecimento da detecção dos meios que levam ao fracasso como um papel importante para a ER.
- A necessidade de marcadores adicionais de resiliência (DEKKER, 2006).

A ER funda-se em conceitos alternativos aos tradicionais de engenharia de segurança (i.e., *Safety I*), como o da capacidade de adaptação para manutenção do controle em face de distúrbios ou eventos imprevistos. Eles passaram a ser intitulados *Safety II*. As investigações científicas amparam-se nas publicações centrais de alguns pesquisadores da escola de Rasmussen, principalmente Hollnagel e Woods, as quais serão mais bem detalhadas nas próximas seções deste capítulo (LE COZE, 2013; BERGSTRÖM; VAN WINSEN; HENRIQSON, 2015; LUNDBERG; JOHANSSON, 2015).

### 2.3.1 O campo de investigação científica da ER: agenda atual e futura

Desde a concepção coletiva da ER, a "resiliência" tem recebido cada vez mais atenção tanto da academia quanto das organizações que precisam lidar com assuntos atinentes à segurança e aos fatores humanos. Ao perceberem que a resiliência está se tornando uma agenda predominante tanto na pesquisa sobre segurança quanto na prática organizacional, Bergström et al. (2015) revisaram a literatura para analisar como a comunidade científica:

- formula a lógica por trás do estudo da resiliência;
- constrói a resiliência como um objeto científico; e
- constrói e localiza o sujeito resiliente.

Os resultados alcançados por eles indicam que os estudos sobre a ER normalmente são motivados pelas complexidades inerentes aos sistemas sociotécnicos modernos que os tornam inerentemente arriscados. O objeto da resiliência, em muitos estudos, é a capacidade de se adaptar a tais riscos emergentes. O sujeito da resiliência, por sua vez, é tipicamente o indivíduo,

seja na ponta ou em níveis gerenciais mais elevados. O indivíduo é chamado a se adaptar diante do risco para garantir o desempenho contínuo do sistema.

Righi et al. (2015) realizaram trabalho semelhante e constataram que, em relação às áreas de pesquisa, os estudos:

- normalmente adotam designs de pesquisa baseados em casos;
- enfatizam a descrição de como o desempenho resiliente ocorre em sistemas sociotécnicos complexos;
- não se beneficiam normalmente de frameworks, orientações e métodos existentes para a identificação e classificação da resiliência, embora haja exceções, o que dificulta a comparação entre diferentes estudos;
- focam nos domínios nos quais tecnologias para lidar com desastres são usadas (e.g., aviação e saúde), ainda que estudos em áreas não críticas em segurança tenham sido conduzidos (e.g., setor financeiro).

Em relação à gestão de riscos, principalmente nos pessoais e nos relacionados aos processos de segurança, eles constataram que:

- ER e resiliência não se relacionam exclusivamente com segurança;
- a habilidade para ajustar o desempenho é o aspecto chave da resiliência, apesar do foco nos indivíduos, times, organizações ou comunidades;
- a principal preocupação da ER é a investigação científica e o uso prático do conceito de resiliência, especialmente no nível organizacional.

Além disso, identificaram relações fortes entre a ER e outras disciplinas, como engenharia de sistemas, teoria normal de acidentes, organizações de alta confiabilidade (HRO), cultura de segurança e teoria da complexidade.

Outra perspectiva interessante para compreender o estágio atual da ER enquanto campo de investigação científica foi proposta por Dekker e Woods (2010) e lembrada por Patriarca et al. (2018). Eles definiram a ER como a agenda de ação da HRO (organizações de alto desempenho), especificamente quanto a:

- não tomar o sucesso do passado como garantia da segurança no futuro;
- distanciar-se por meio da diferenciação;
- resolução fragmentada de problemas;
- contrariar interpretações e decisões comuns;
- ser capaz de trazer novas perspectivas;
- conhecer a lacuna entre o trabalho realizado e o projetado;
- monitorar o monitoramento de segurança (ou meta-monitoramento).

Patriarca et al. (2018) criticam as revisões da literatura feitas por Righi et al. (2015) e Bergström et al. (2015) por entenderem que elas possuem sérias limitações, principalmente quanto à abrangência. Em sua opinião, publicações importantes podem ter sido desconsideradas. Eles sugerem que estudos futuros combinem análises qualitativas com

métricas quantitativas para definir a resiliência da organização em diferentes níveis do sistema, considerando os acoplamentos e as interações entre os diferentes aspectos.

Os autores aqui citados sugerem direcionamentos para orientar as pesquisas futuras no campo da ER. No Quadro 7, apresentamos a seleção de alguns:

Quadro 7: agenda de pesquisa futura para a ER

<b>Autor(es)</b>	<b>Direcionamento</b>
Righi et al., 2015	Integrar a ER com outros paradigmas de gestão, como a DSR ( <i>Design Science Research</i> ), que enfatiza o desenvolvimento sistemático e a avaliação rigorosa dos artefatos sociotécnicos projetados para lidar com problemas complexos.
Righi et al., 2015	Refinar os construtos chave usados na pesquisa (e.g., resiliência, robustez, flexibilidade, ajustes, improvisação, adaptação, estabilidade, variabilidade) para proporcionar um entendimento mais profundo das suas semelhanças, diferenças e relações.
Righi et al., 2015	Posicionar a ER em relação a outras teorias.
Righi et al., 2015	Explorar estratégias alternativas de pesquisa, particularmente métodos quantitativos.
Righi et al., 2015	Buscar o equilíbrio entre a atual ênfase na descrição e na compreensão da resiliência com o design de sistemas resilientes e a avaliação desses designs.
Righi et al., 2015	Investigar barreiras para a implementação da ER na indústria e os meios para gerenciá-la.
Bergström et al., 2015	Refletir sobre os pressupostos subjacentes e a epistemologia da resiliência, observando como outros domínios científicos operacionalizam esse objeto, e sobre as implicações que vêm com seu uso discursivo.
Patriarca et al., 2018	Considerar o trabalho realizado como fonte de falhas e sucessos e o papel da variabilidade (que é inevitável), desenvolvendo modelos para lidar com a complexidade inerente e fenômenos emergentes, em uma perspectiva mais ampla baseada, por exemplo, em STAMP, FRAM, outras dinâmicas de sistemas ou lógica <i>fuzzy</i> . Definir uma perspectiva estruturada e sistemática sobre esses modelos para torná-los reproduzíveis e confiáveis. Aprimorar a formulação desses modelos por meio, por exemplo, da técnica de Monte Carlo ou de simulações de Rede Bayesiana.
Patriarca et al., 2018	Explorar como o tempo pode afetar a ressonância funcional do sistema para identificar diretrizes operacionais úteis a análises futuras.

Fonte: elaborado pelo autor.

Patriarca et al. (2018) apontam uma evolução natural da ER enquanto campo de investigação científica. Se em meados dos anos 2000, quando ela se posicionou como disciplina, a preocupação esteve em sua definição, recentemente o foco das pesquisas se reorientou para a modelagem com vistas a compreender, representar, comparar e, eventualmente, mensurar a resiliência. Eles, no entanto, enaltecem que essa linha de pesquisa ainda é subdesenvolvida e merece maior atenção da comunidade científica.

### 2.3.2 Fundamentos

Erik Hollnagel é provavelmente o autor mais proeminente e aquele que mais contribuiu para a consolidação das bases e a divulgação da ER como campo de investigação científica. Além dele, são igualmente relevantes os trabalhos de David Woods e Sidney Dekker (LE COZE, 2013).

Hollnagel et al. (2006) afirmam que a noção de resiliência emergiu gradualmente de forma lógica para superar as limitações das abordagens existentes para avaliação de risco e segurança dos sistemas. Suas pesquisas pregressas, realizadas principalmente nos anos 80 e 90, sobre a confiabilidade da cognição forneceram diretrizes gerais para o que, anos depois, se tornaria a ER:

- A descrição e a compreensão da variabilidade são mais apropriadas do que um estudo de erros.
- O estudo da operação normal é considerado mais relevante do que o de incidentes ou acidentes.
- Os modelos normativos de processos cognitivos tendem a restringir as observações para ajustar os dados ao modelo e não o contrário, que seria mais apropriado. Para capturar as estratégias cognitivas no contexto e como elas produzem resultados confiáveis, é preciso um modelo que oriente as observações sem restringir os dados.

A perspectiva organizacional da ER também foi influenciada pela visão de cultura de segurança adotada por Reason (1997). Ele, no entanto, assim como os estudos sobre organizações de alta confiabilidade (HRO), não propôs uma agenda operacional para implementar os princípios sugeridos. A ER baseia-se, ainda, na engenharia de sistemas cognitivos ao defender que as explicações sobre as decisões e ações humanas considerem o contexto organizacional no qual ocorrem (SAURIN; CARIM JÚNIOR, 2011) e em insights da pesquisa sobre falhas em sistemas complexos, incluindo os contribuintes organizacionais ao risco e os fatores que afetam o desempenho humano (WOODS, 2003).

Hollnagel et al. (2006), ao rememorarem a motivação para a ER, explicam que quando a pesquisa foge da análise retrospectiva, baseada no entendimento de que os acidentes têm uma causa raiz e que o evento é o ponto de partida para a identificação das causas que o precederam, ela costuma revelar as fontes de resiliência que permitem que as pessoas sejam bem-sucedidas mesmo quando o fracasso as ameaça. Os trabalhadores buscam constantemente, mesmo em ambientes intensivos em tecnologia (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015), antever direções que podem os levar ao fracasso, criando e sustentando ativamente estratégias e se esforçando para preservar as margens esperadas mesmo quando pressionados para fazer mais e mais rápido<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Hollnagel et al. (2006) afirmam que os processos de trabalho ou as pessoas não escolhem falhar, mas que a probabilidade de ocorrência das falhas aumenta quando as pressões por produção, por restrições de tempo e esforço, impedem o desenvolvimento e a manutenção das precauções normalmente tomadas para evitar as falhas.

Assim, trabalhar com segurança é parte das práticas operacionais tanto dos indivíduos quanto da organização e representa o equilíbrio que reflete a regularidade do ambiente de trabalho. Decorre disso o entendimento de que a segurança é a soma dos acidentes que não acontecem, colocando em xeque muitas pesquisas sobre segurança que, ao invés de tentarem entender por que alguns acidentes não aconteceram, preferiram buscar compreender as causas de acidentes que, de fato, ocorreram. Dekker (2006) sintetiza este entendimento ao afirmar que não são os erros humanos ou eventos de falha que ocasionam os acidentes e, sim, o trabalho normal.

Por isso, a ER surge como um avanço significativo aos métodos tradicionais de engenharia de segurança baseados em predição e decomposição, características já não tão comuns aos atuais sistemas sociotécnicos complexos, capaz de especificar projetos de organizações seguras como parte do cotidiano das atividades organizacionais (WOODS, 2006; LUNDBERG; JOHANSSON, 2015).

No paradigma tradicional de segurança, ênfase sempre foi depositada no erro como algo que poderia ser categorizado e contado. Neste ínterim, foram propostos taxonomias, procedimentos de estimativa e maneiras de fornecer os dados necessários para tabulação e extrapolação de erros. Estudar os limites humanos tornou-se algo importante para orientar a criação de sistemas corretivos ou de proteção que suprissem as deficiências das pessoas. O trabalho seguro, em suma, compreendia proteger o sistema de componentes humanos não confiáveis, erráticos e limitados (HOLLNAGEL; WOODS; LEVESON, 2006).

Dekker (2006) critica as metáforas nas quais se baseiam grande parte dos modelos de relatórios de incidentes, como Queijo Suíço e Efeito Dominó, principalmente em relação à progressão linear dos colapsos previstos por eles, onde se assume que a progressão será interrompida em algum lugar (constituindo um incidente) ou não (ocasionando um acidente). Ele defende que segurança e risco em sistemas seguros são propriedades emergentes surgidas de uma interação muito mais complexa dos fatores que constituem o trabalho normal.

Pela reanálise de erros e coleta de dados sobre a forma pela qual os sistemas complexos falham, muitos pesquisadores, entre eles Hollnagel e Rasmussen, passaram a perceber as contribuições positivas das pessoas para a segurança fornecidas por meio de suas habilidades para adaptação às mudanças, às lacunas no projeto dos sistemas e às situações não planejadas.

---

Somos críticos a esta visão, pois nos parece reducionista ao enfatizar fortemente a relação inversa entre pressão por produção e segurança, enquanto outros fatores sabidamente podem contribuir para a ocorrência de falhas. Evidentemente, a pressão por produção, inerente ao processo produtivo, é um fator importante (talvez o mais importante). Contudo, especialmente em organizações complexas, outros fatores podem preponderar (e.g., condições externas, relações contratuais, cultura organizacional).

A ER foi, então, proposta como contraponto na forma de uma base conceitual composta por princípios e modelos para gerenciamento da saúde e segurança (HSMS) nas organizações (HOLLNAGEL; NEMETH, 2009; SAURIN; CARIM JÚNIOR, 2011). Embora isoladamente os conceitos e princípios da ER não representem inovações teóricas, a articulação conjunta e o aprofundamento de todos eles em diretrizes para gestão de saúde e segurança com orientação sociotécnica é potencialmente sua maior contribuição (SAURIN; CARIM JÚNIOR, 2011). Nesse sentido, Hollnagel (2009) já afirmou que a proposta da ER é reinterpretar as melhores práticas de HS e não as descartar. Dekker e Woods (2010) complementam ao afirmar que os estudos sobre ER são uma oportunidade para o desenvolvimento de métodos para projetar e administrar organizações de alta confiabilidade (HRO).

Alguns princípios da ER foram propostos pelos principais autores do campo e orientaram a maioria dos trabalhos posteriores. Adiante, elencamos alguns:

- i. Ao invés de considerar o que é o desempenho resiliente, deve-se considerar o que o viabiliza, o que o torna possível (HOLLNAGEL, 2015).
- ii. A segurança é criada por processos resilientes proativos ao invés de barreiras e defesas reativas (HOLLNAGEL; WOODS; LEVESON, 2006).
- iii. A adaptabilidade e a flexibilidade são razões para a eficiência do trabalho humano (HOLLNAGEL; WOODS; LEVESON, 2006).
- iv. Um estado inseguro pode surgir pela insuficiência ou inadequação dos ajustes do sistema e não necessariamente porque algo falhou (HOLLNAGEL; WOODS; LEVESON, 2006).
- v. A variabilidade e a incerteza são inerentes ao trabalho complexo (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015) e delas originam-se tanto falhas quanto o sucesso (LUNDBERG; JOHANSSON, 2015).
- vi. Trabalhadores experientes são fontes de confiança (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015).
- vii. Os sistemas são fundamentalmente complexos, ambíguos, incertos e com restrições de recursos, decorrendo daí que nem tudo pode ser conhecido, previsto e investigado (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015).
- viii. A adaptabilidade no planejamento e nas ações e a capacidade de improvisar quando os planos ou ações dão errado e de aprender e aceitar desafios inesperados devem ser celebradas pelas organizações (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015).
- ix. As dinâmicas e interações entre os fatores contribuintes e não a procura por elementos defeituosos devem orientar a análise de acidentes em sistemas complexos (RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015).

Em relação a esses princípios, Hollnagel et al. (2006) explicam que as ações normais são bem-sucedidas porque as pessoas se ajustam às condições locais, às deficiências ou peculiaridades da tecnologia e às mudanças previsíveis nos recursos e demandas. Elas normalmente aprendem rapidamente a antecipar variações recorrentes e são proativas. A adaptabilidade e a flexibilidade, contudo, ainda que essenciais à eficiência do trabalho humano, são razões pelas quais falhas ocorrem, embora raramente sejam a causa. Há que se ter em mente que ações e respostas se baseiam quase sempre em análises limitadas das condições atuais quando o ideal seria que fossem completas. Troca-se meticulosidade por eficiência, o ótimo pelo bom.

Por isso, faz mais sentido que as organizações foquem no trabalho normal e na promoção da segurança para detectar desvios antes que os colapsos aconteçam ao invés de nos eventos adversos como incidentes, lesões e perdas de desempenho (DEKKER, 2006; BERGSTRÖM; VAN WINSEN; HENRIQSON, 2015; LAY; BRANLAT; WOODS, 2015), mais no que funciona em relação ao desempenho do sistema do que ao que não funciona (NEMETH; HERRERA, 2015). As origens do fracasso e do sucesso organizacional estão nos processos cotidianos de gestão e tomada de decisão. Ao aceitar isto, a ER busca formas de progredir na segurança por meio de uma melhor compreensão e influência desses processos. Dekker (2006), no entanto, salienta que a operacionalização desta abordagem é possível, mas difícil, pois as decisões e os *trade-offs* no nível micro representam e reproduzem pressões macroestruturais (de produção, escassez de recursos, competição) e prioridades e preferências organizacionais, além de, normalmente, relacionarem-se com mudanças organizacionais no nível macro<sup>7</sup>.

Outro fator que contribui para a importância de focar no trabalho normal é a distância muitas vezes percebida entre a operação realizada e a forma pela qual ela foi prescrita ou regulamentada, o que acarreta implicações sobre a segurança. Dekker (2006) afirma que isto é realidade inclusive em organizações consideradas seguras e lembra que a atuação dos mecânicos na aviação civil é emblemática deste *trade-off*. Por lidarem frequentemente com situações imprevistas e recursos escassos (e.g., tempo, peças), eles desenvolvem habilidades de adaptação, invenção, compromisso e improvisação. Os mecânicos mais adaptáveis, que lidam melhor com essas situações de imprevisibilidade e, por consequência, entregam mais resultado, são bem-vistos dentro das organizações, inclusive pelos níveis superiores. Ocorre que, à letra fria dos regulamentos, essas adaptações seriam compreendidas como transgressões, desvios ao trabalho prescrito e, por isso, geradoras de insegurança. Patriarca et al. (2018) sugerem a implantação de uma perspectiva sistêmica baseada na ER que permita aos operadores humanos compreender quais limites podem ser transgredidos sem comprometer o espaço operacional seguro, apoiando uma distribuição apropriada de recursos e inteligência.

Outro desafio da ER é a criação de métodos que permitam às organizações complexas entender quando estão em vias de perder a estabilidade dinâmica e se tornar instáveis. Essas

---

<sup>7</sup> Essas relações, desde as forças macroestruturais até as decisões no nível micro e, por sua vez, das decisões no nível micro até a orientação organizacional no nível macro, fazem sentido na evolução das organizações em direção à Indústria 4.0. Normalmente, o desenvolvimento e a incorporação tecnológica, além das mudanças organizacionais, são orientados por decisões estratégicas, de alto nível, que reverberam sobre o trabalho realizado nos níveis inferiores.

transformações podem ser abruptas, como em um acidente, ou lentas, como em uma erosão gradual das margens de segurança. É comum que os sistemas ajustem seu desempenho às condições, mas é muito difícil que esses ajustes sejam pré-programados, pois eles não podem ser antecipados no design dos sistemas. As organizações devem, assim, aceitar ser praticamente impossível projetar cada pequeno detalhe ou situação que possa surgir. Por isso, faz mais sentido projetar sistemas que sejam dinamicamente estáveis, que permaneçam sob controle o tempo todo e que sejam capazes de responder a mudanças e desafios. Nas palavras de Hollnagel (2006), a essência da resiliência é, portanto, a capacidade intrínseca de uma organização manter ou recuperar um estado dinamicamente estável que lhe permita continuar as operações após um acidente ou um estresse contínuo.

Dekker (2006) e Lay et al. (2015) sugerem, ainda, outros princípios norteadores para a ER. O primeiro propõe como um indicador de resiliência a avaliação do quanto as organizações conseguem promover discussões sobre riscos mesmo em momentos em que tudo parece estar seguro. Há em sua sugestão uma forte relação com o que outros autores na literatura abordam sob a alçada da cultura de segurança (e.g. GRECCO et al., 2014; REASON, 1997; WREATHALL, 2006). Lay e seus coautores, por sua vez, recomendam que a identificação das barreiras de segurança deixe de ser um trabalho calculativo, inspirado na engenharia, para se tornar interpretativo, inspirado pela etnografia e sociologia.

### **2.3.3 Definições**

A ER representa uma nova forma de pensar sobre segurança compatível com a natureza complexa dos sistemas sociotécnicos. Seus princípios e pressupostos orientam a busca pelo aprimoramento da habilidade de as organizações criarem processos robustos, mas flexíveis, monitorarem e revisarem modelos de risco e usarem recursos proativamente em face de interrupções ou pressões econômicas e produtivas. Enquanto a resiliência pode ser compreendida como a propriedade de um sistema que lhe confere a capacidade de se manter intacto e funcional mesmo diante de ameaças, a ER provê a capacidade de projetar sistemas resistentes a distúrbios (DEKKER et al., 2008; RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015; PATRIARCA et al., 2017).

No Quadro 8, são apresentadas definições de ER extraídas de publicações de importantes pesquisadores da área:

Quadro 8: definições de Engenharia de Resiliência

<b>Estudo</b>	<b>Definição</b>
Woods (2006)	Oferece suporte aos processos cognitivos de reformulação organizacional em relação especificamente à segurança antes que os acidentes ocorram, desenvolvendo medidas e indicadores dos fatores que contribuem para a resiliência. Orienta a observação da organização tal qual ela foi projetada e de que forma este projeto proporciona segurança a fim de constatar quando ele precisa ser revisado. Orienta intervenções para gerenciar e ajustar a capacidade adaptativa à medida que o sistema enfrenta novas formas de variação e desafios.
Woods e Hollnagel (2006)	Paradigma que foca em como ajudar as pessoas a lidar com a complexidade sob a pressão para alcançar o sucesso.
Hollnagel e Woods (2006)	Objetiva alcançar a habilidade de um sistema sociotécnico complexo de se adaptar ou absorver distúrbios, interrupções e mudanças.
Fairbanks et al. (2014)	Projeto e construção deliberados de sistemas que têm a capacidade de resiliência.
Resilience Engineering Association ([s.d.])	Procura por formas de aumentar a habilidade em todos os níveis das organizações de criar processos que são robustos, mas flexíveis, para monitorar e revisar modelos de riscos e para usar recursos proativamente em face de interrupções ou de pressões econômicas e por produção.
Anderson et al. (2013)	Representa uma mudança filosófica na ciência da segurança. É uma abordagem proativa que foca na necessidade das organizações de se adaptar a mudanças no ambiente nos quais elas operam, os trabalhadores em uma adaptação segura quando necessário.
Patriarca et al. (2018)	Abordagem para a gestão da segurança propícia para sistemas complexos que precisam equilibrar produtividade com segurança. Pretende fornecer ferramentas para gerenciamento proativo de riscos, reconhecendo a complexidade inerente do funcionamento do sistema e a correspondente necessidade de variabilidade de desempenho.

Fonte: elaborado pelo autor.

A ER contesta a falsa presunção de que a segurança deve ser definida como a ausência de algo porque os sistemas já são seguros e reconhece que, sob circunstâncias adversas, a capacidade adaptativa das pessoas faz com que elas sejam superadas (DEKKER et al., 2008). Por isso, a disciplina oferece métodos e técnicas para monitorar as condições que determinam os limites das organizações em relação às suas competências, visto que eles eventualmente precisam ser ajustados ou expandidos para acomodar mudanças nas demandas (WOODS, 2006). Em outras palavras, a ER busca avaliar a capacidade adaptativa das organizações em relação aos desafios que recaem sobre elas, considerando a segurança não uma propriedade constante ou permanente, mas uma função contínua que emerge das propriedades interativas e das atividades dos componentes que os constituem (PATRIARCA et al., 2018).

### 2.3.4 Críticas

Na medida em que a disciplina se popularizava e crescia a comunidade científica dedicada ao seu desenvolvimento, a ER passou a receber críticas tanto positivas quanto negativas.

Hale e Heijer (2006), Roe e Schulman (2008) e Hopkins (2009) questionam a proposição de mais um termo para designar, na opinião deles, fenômenos ou condições já tratadas e difíceis de definir por outras abordagens das ciências da segurança, como as organizações de alta confiabilidade (HRO) ou a cultura de segurança. Hopkins (2009), especificamente, afirma não enxergar diferenças claras entre a ER e a HRO. Righi et al. (2015) lembram, contudo, que até mesmo artigos seminais da ER reconhecem a HRO como inspiração, sendo enganoso retratar a ER como radicalmente inovadora, uma vez que a maioria de seus conceitos e princípios básicos foi absorvida de outros campos. Eles afirmam, ainda, que a HRO não atribui um papel proeminente ao conceito de resiliência, pois quatro outras características são igualmente enfatizadas: preocupação com o fracasso, relutância em simplificar interpretações, sensibilidade às operações e deferência à expertise.

Bergström et al. (2015) alertam para o risco de a ER se tornar outra referência normativa para julgamentos morais comuns na análise de fracassos organizacionais, como as noções de cultura de segurança, erro humano, *sensemaking* organizacional e muitos outros objetos do discurso de segurança. Eles reconhecem o otimismo da ER, principalmente em relação à capacidade humana de adaptação aos riscos, mas enaltecem a importância de uma discussão sobre riscos com os quais se deve ser mais pessimista para não expor os operadores individualmente. Além disso, sugerem que discussões críticas nas organizações sobre como lidar com o fracasso e as pessoas envolvidas com ele são importantes para solidificar o campo da ER.

Nemeth e Herrera (2015), por sua vez, afirmam que a observação é uma área da ER que evoluiu bem, mas que a de análise merece maior atenção. Eles sugerem perguntas a serem respondidas para estimular o progresso desta área:

- Como avaliar e reavaliar os vários estados de adaptação em um sistema?
- Como representar a adaptação para que ela possa ser medida?
- Quais variáveis importam na avaliação da adaptação?
- Como verificar “benchmarks” de desempenho resiliente, particularmente em situações que não têm precedentes?
- Como determinar e modelar objetivamente as maneiras pelas quais um sistema é adaptativo?
- Como determinar e modelar como um sistema é vulnerável?
- Como garantir que os resultados de uma área de aplicação possam ser transferidos com sucesso para outras?

- Quais indicadores de tendência podem ser validados para que os operadores e supervisores, a partir deles, antecipem a necessidade de mudança?
- Como permitir aos operadores e supervisores verem os recursos que precisam ser alocados e as compensações envolvidas?

Esta visão é consubstanciada por Patriarca et al. (2018) que afirmam que, mesmo que a ER pretendesse desde seus primórdios fornecer instrumentos sistêmicos para lidar com riscos de forma proativa, especialmente se comparada aos métodos tradicionais de risco, as aplicações práticas ainda merecem maior discussão.

Na opinião de Le Coze (2013), estabelecer posturas metodológicas semelhantes com ênfase na 'engenharia', ou seja, nos modelos que podem servir de suporte para a ação, foi o que permitiu que os autores da ER coexistissem de forma relativamente independente com os membros do projeto HRO. Em relação às críticas direcionadas à ER, ele argumenta que ela ampliou, mas também criticou, expandiu, transformou e se distanciou de certas linhas dentro da engenharia cognitiva de forma comunicativa. Para tal, a disciplina se inspirou em diversas teorias e abordagens propostas antes dela<sup>8</sup>.

Bergström et al. (2015), por fim, concordam quando Le Coze (2013) afirma que o campo da ER reconceitualiza e não simplesmente repete teorias existentes sobre segurança, principalmente as de Rasmussen, Hollnagel e Woods.

### **2.3.5 Modelos, técnicas e ferramentas**

É comum que a arquitetura e as operações organizacionais baseiem-se em modelos de tarefas e do ambiente. Ainda que necessários para reduzir e gerenciar a incerteza e a complexidade do mundo real, esses modelos representam sempre uma simplificação. Como resultado, as condições operacionais não podem ser tão bem especificadas e a previsibilidade dos processos e do ambiente nunca é perfeita. Os sistemas complexos, portanto, precisam ser capazes de se adaptar a uma variedade de perturbações, algumas vezes surpreendentes. Esta visão contrasta com as práticas tradicionais de gerenciamento de segurança e riscos que prescrevem previsões acuradas baseadas na análise detalhada de eventos e no monitoramento dos níveis de risco por meio de indicadores (LAY; BRANLAT; WOODS, 2015).

Os modelos prevalentes ou mais populares merecem revisão crítica e a literatura, inclusive, já questionou se eles continuam apropriados. Le Coze (2013), por exemplo, propôs oito atributos para análise de modelos:

---

<sup>8</sup> A influência de Rasmussen, por exemplo, evidencia-se na ideia de ressonância, na importância do estudo da cognição em operações normais e na crítica explícita à noção de erros.

- A inovação específica que os modelos selecionados propuserem no momento de suas publicações em comparação com os anteriores.
- A força e a legitimidade de suas bases empíricas e conceituais.
- Suas ambições genéricas, tanto entre os setores industriais quanto nas disciplinas científicas, promovendo de suas próprias formas específicas uma visão social e técnica de segurança (ou acidentes).
- Seus aspectos normativos, fornecendo alguma orientação para avaliar (retrospectiva ou prospectivamente) operações críticas em segurança.
- A simplicidade e a clareza dos princípios básicos de suas bases conceituais.
- Suas habilidades para traduzir esses princípios por meio de representações gráficas sugestivas e úteis para a comunicação simples sobre segurança (ou acidentes).
- Sua popularidade e habilidade para sensibilizar tanto círculos acadêmicos quanto práticos.
- A força e influência de uma rede associada de promotores ativos, incluindo cientistas, especialistas de consultorias ou das indústrias e representantes de governos.

Le Coze (2013) sugere que os modelos atuais e as representações gráficas que apoiam as práticas de gestão da segurança incorporem avanços gerenciais, sociais e da ciência política e, também, epistemológicos e filosóficos com vistas a refletir o corpo de conhecimento disponível sobre segurança mais efetivamente.

Não temos a pretensão, neste trabalho, de realizar uma análise completa e irrefutável dos modelos, técnicas e ferramentas relacionados a gestão de riscos e segurança propostos na literatura e que orientam as práticas organizacionais. A fim de ajudar o leitor a compreender nossas proposições, apresentamos e nos atemos à essência de alguns modelos predecessores e mais recentes desenvolvidos sob a abordagem da ER.

#### *2.3.5.1 Modelos predecessores*

As disciplinas que precederam a ER vêm sendo desenvolvidas há décadas e, por isso, há inúmeras teorias e instrumentos práticos propostos, como modelos, técnicas e ferramentas, sendo praticamente impossível selecionar um conjunto que se possa atribuir como predecessor fundamental da ER.

Por isso, tal qual Le Coze (2013), decidimos detalhar modelos populares que talvez tenham exercido influência mais nítida e nos atemos aqui aos seguintes:

- Queijo Suíço (Reason)
- Migração e Visão Sociotécnica (Rasmussen)
- Mindfulness Coletiva (Weick)

#### **Queijo Suíço – James Reason (1938)**

James Reason é um psicólogo britânico que descreveu sua própria trajetória científica em estágios de diferentes interesses – ergonomia da cabine na aviação militar, desorientação e enjojo em sistemas de transporte, erro e distração na psicologia cognitiva da vida cotidiana,

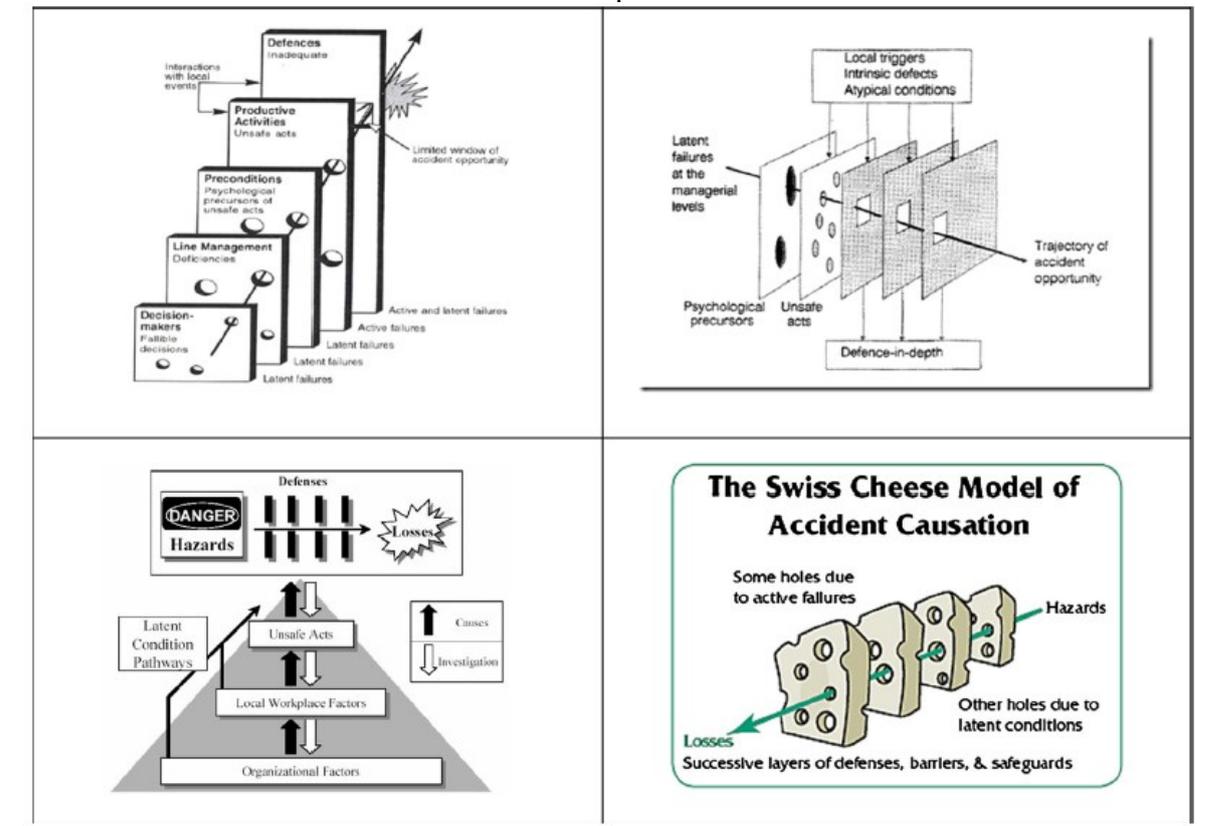
gerenciamento de segurança e erro em indústrias perigosas e questões culturais e organizacionais na segurança de pacientes.

No início dos anos 90, ao analisar investigações de acidentes conduzidas na década anterior, Reason propôs uma distinção entre falhas 'ativas' e 'latentes'. Para ele, as 'falhas latentes' originam-se primária e sistematicamente nos erros dos tomadores de decisão de alto nível. Elas seriam análogas aos patógenos que habitam o corpo humano e que, quando combinados com fatores externos, como estresse e substâncias tóxicas, provocam doenças.

A abordagem de Reason é sistêmica, pois não se atém aos fatores individuais, mas aos organizacionais. Nesse sentido, ele abordou frequentemente o *trade-off* dinâmico entre segurança e produção. Le Coze (2013) entende que a proposição de um modelo sistêmico marca uma guinada nas pesquisas de Reason, que passou muitos anos investigando principalmente fatores psicológicos e, em particular, erros humanos. Nesse período, ele desenvolveu uma perspectiva acurada sobre a noção de 'falhas ativas' e suas dimensões cognitivas subjacentes. A taxonomia de erros de Reason (1990a) e, em particular, a introdução da categoria 'violações necessárias' é, na visão de Le Coze (2013), muito útil para a abordagem sistêmica na medida em que cria a conexão entre as condições, as 'falhas latentes' que desencadeiam 'falhas ativas'. 'Violações necessárias' são impostas pelas condições de trabalho e não por indivíduos que não desejam seguir os procedimentos.

Curiosamente, o 'Queijo Suíço', seu modelo mais popular, não foi proposto por ele, mas por um entusiasta de suas teorias, que as usou como inspiração (REASON, 2017). Neste modelo, o sistema é compreendido como uma série de componentes identificáveis e as falhas (e riscos) entendidas como decorrentes de falhas dos componentes, como o colapso das defesas (REASON, 1990b). Reason (*apud* Le Coze, 2013) explica que o modelo possui valor como um meio de comunicação, um dispositivo de explicação heurística. Ele argumenta que o modelo não fornece um instrumento para descrição detalhada de acidentes ou uma teoria detalhada sobre como as múltiplas funções e entidades em um sistema sociotécnico complexo interagem e dependem umas das outras.

Figura 3: diferentes variações das representações gráficas baseadas em Reason no decorrer do tempo



Fonte: Le Coze (2013)

Alguns críticos da abordagem de Reason (VAUGHAN, 1996; CAIB, 2003; SNOOK, 2011), especialmente do ‘Queijo Suíço’, reconhecem seu valor, mas entendem que o modelo perdeu gradualmente a capacidade de refletir a profundidade dos insights acumulados durante os anos advindos de relatórios de investigação de acidentes e de estudos nas áreas das ciências sociais. Hollnagel (2006), em especial, critica a insistência em focar nas estruturas ou componentes e nas funções associadas a eles ao invés de nas funções do sistema como um todo. Ele explica que não considerar a causalidade uma propagação linear de efeitos é um mérito deste modelo quando comparado com anteriores, mas um acidente ainda é o resultado de uma combinação relativamente limpa de eventos e a falha de uma barreira ainda é a falha de um componente individual.

### Migração e Visão Sociotécnica – Jens Rasmussen (1926 - 2018)

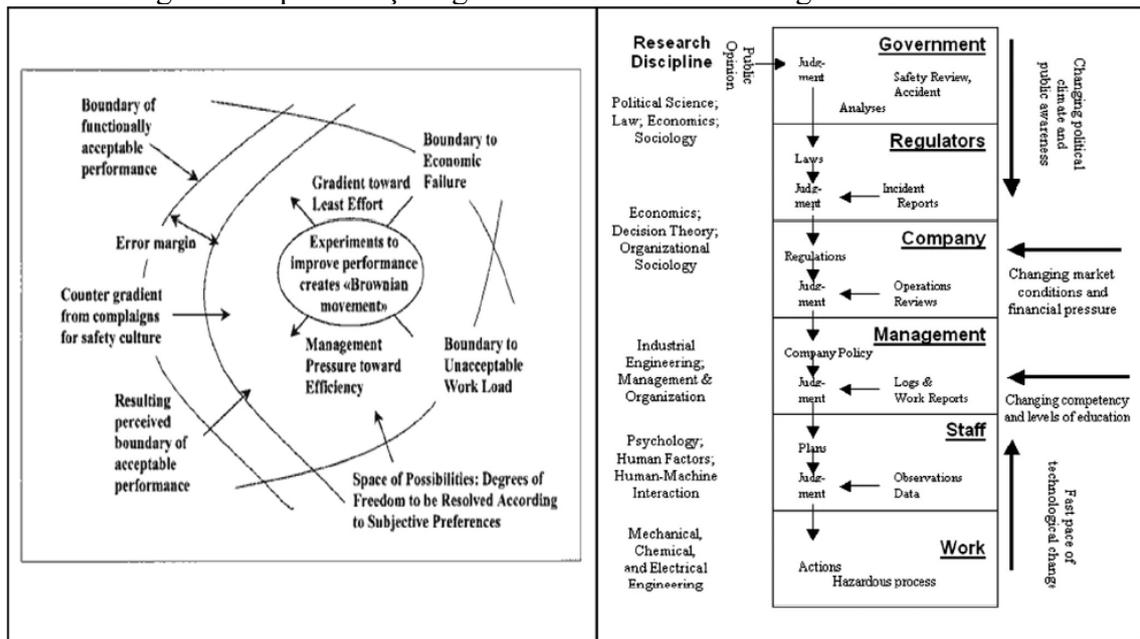
Rasmussen foi um pesquisador dinamarquês que se dedicou aos estudos sobre segurança e fatores humanos. Uma de suas principais contribuições é a ideia de variabilidade,

que contribuiu para a mudança em direção a uma visão mais positiva dos trabalhadores tomada no século 21, longe da perspectiva negativa do "erro humano" (LE COZE, 2013).

O modelo de migração e a visão sociotécnica do sistema (STS) são as proposições teóricas e práticas de Rasmussen que mais se aplicam a problemas na área de segurança. Intimamente relacionado com a ideia de variabilidade, no modelo de migração, Rasmussen traduziu a natureza exploratória e adaptativa dos indivíduos localmente para a natureza exploratória e adaptativa das organizações globalmente. Sob esta óptica, os acidentes são vistos como resultado coletivo de indivíduos expressando sua liberdade enquanto se adaptam às restrições locais. Esses indivíduos exploram, adaptam e aprendem com seus erros como parte de sua experiência dentro de restrições específicas.

A visão sociotécnica do sistema (STS) complementa o modelo de migração a partir de um ponto de vista analítico. Em sua representação gráfica, várias camadas (i.e., governo, reguladores, empresa, gestão, pessoas, trabalho) interagem de forma hierárquica ao mesmo tempo em que estão abertas a restrições externas, como mudanças nas condições de mercado e na competência dos trabalhadores. Cada camada associa-se a um conjunto de disciplinas científicas, que vão da engenharia ao direito e à psicologia. As camadas podem ser estudadas individualmente (ou horizontalmente), mas o desafio interdisciplinar é entender toda a operação do sistema, dinâmica e verticalmente. O modelo inspirou e orientou a proposição do Accimap (RASMUSSEN, 1997b; SVEDUNG; RASMUSSEN, 2002), uma ferramenta comunicativa e analítica para investigações de acidentes.

Figura 4: representações gráficas centrais da abordagem de Rasmussen



Fonte: Le Coze (2013)

Rasmussen (1997a) explica que uma abordagem comum para modelar sistemas sociotécnicos é a decomposição em elementos modelados separadamente. Tradicionalmente, os sistemas são modelados pela decomposição de seus elementos estruturais enquanto as dinâmicas dos comportamentos dos sistemas e seus atores são modeladas pela decomposição do fluxo comportamental em eventos. As atividades são decompostas em tarefas e as tarefas em decisões, ações e erros. Em praticamente todas as situações de trabalho, no entanto, mesmo em sistemas de alta complexidade, os trabalhadores têm liberdade para escolher os meios e os momentos que julgam adequados para ação. Regras, leis e instruções quase nunca são seguidas à risca. Por isso, os objetivos do trabalho, as instruções para tarefa e os padrões operacionais não podem, por si só, serem usados como referência para julgamentos comportamentais.

A visão sociotécnica do sistema (STS) proposta por Rasmussen influenciou também os estudos sobre a tomada de decisão. Nas pesquisas tradicionais, ela era vista como um conjunto de processos discretos que podiam ser separados do contexto e estudados como um fenômeno isolado. Mas este isolamento, na prática, é muito difícil de fazer adequadamente. No trabalho cotidiano, as pessoas costumam estar imersas durante muito tempo no contexto do trabalho e, por isso, conhecem intuitivamente o fluxo normal de atividades e as alternativas de ação disponíveis. Durante as situações corriqueiras, o raciocínio analítico, planejado e baseado em conhecimento é substituído por escolhas baseadas em habilidades e regras entre alternativas de ação familiares adquiridas pelas práticas e pelo *know-how*.

Mesmo em eventos de risco, as decisões operacionais são frequentemente tomadas não com base em uma análise racional da situação e, sim, a partir das informações que, naquele contexto, são suficientes para distinguir entre as alternativas de ação disponíveis. Por isso, na opinião de Rasmussen (1997a), o estudo da tomada de decisão deve ser associado a um estudo simultâneo sobre o contexto social e o sistema de valor nos quais ela acontece e o processo dinâmico de trabalho que ela pretende controlar. Ele conclui que a modelagem de atividades na forma de uma sequência de tarefas e erros não é uma técnica efetiva para compreender o comportamento, sendo necessário se aprofundar para compreender os mecanismos básicos que moldam o comportamento.

Rasmussen (1997a) também defende implicações derivadas da visão sociotécnica dos sistemas sobre a gestão de riscos. A decomposição estrutural deve ser substituída por uma abordagem orientada a sistemas baseada na abstração funcional. Em termos práticos, a análise de tarefas focada na sequência de ações e nos erros humanos deve ser substituída por um modelo comportamental onde os mecanismos são modelados em termos de restrições do sistema de trabalho, fronteiras de desempenho aceitáveis e critérios subjetivos que guiem a adaptação para a mudança. Em sua opinião, a convergência dos paradigmas de pesquisa das ciências humanas orientada por conceitos das ciências cognitivas apoia essa abordagem.

### **Mindfulness Coletiva – Karl Weick (1936)**

Weick é um teórico americano reconhecido por introduzir os conceitos de acoplamento fraco, *mindfulness* e *sensemaking* aos estudos organizacionais. Em contraste com uma visão positivista predominante no campo da gestão, Weick propôs uma alternativa a ela com um viés construtivista que pautou debates epistemológicos no campo da gestão na década de 1990 (DONALDSON, 1992). Para além das descrições empíricas, Weick desenvolveu com Sutcliffe um modelo genérico de segurança com caráter normativo intitulado ‘*mindfulness* coletiva’ (WEICK; SUTCLIFFE, 1999). Ele é derivado de descobertas empíricas, de análises científicas realizadas pelos integrantes do projeto HRO (*high reliability organizations*)<sup>9</sup> e de resultados obtidos por outros autores do campo da gestão e da análise de acidentes, além de antropólogos, sociólogos e psicólogos cognitivos (LE COZE, 2013).

---

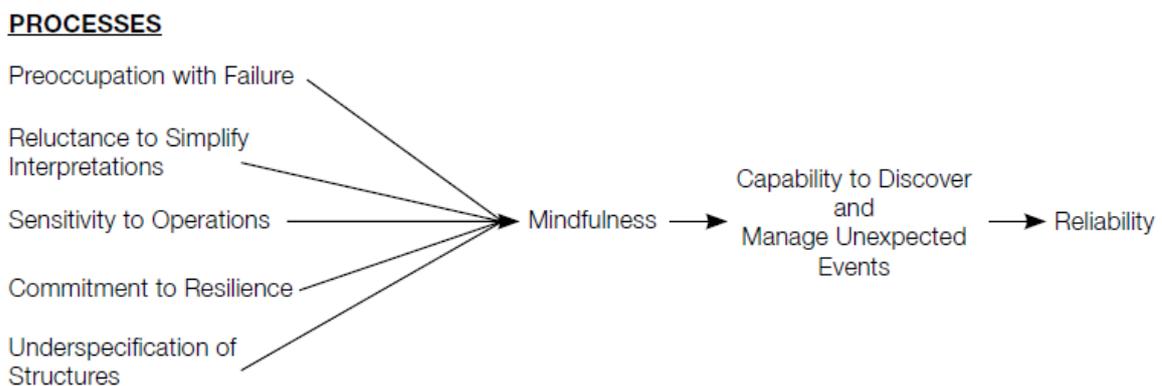
<sup>9</sup> O modelo de *mindfulness* coletiva de Weick pode ser visto como uma tradução da pesquisa sobre HRO em um modelo genérico e normativo, embora alguns proponentes de HRO sejam cautelosos, relutantes em estabelecer proposições normativas (LE COZE, 2013).

O modelo prevê cinco processos cognitivos básicos que promovem o estado de *mindfulness* necessário para operar com segurança:

- Preocupação com as falhas
- Relutância em simplificar as interpretações
- Sensibilidade às operações
- Compromisso com a resiliência
- Subespecificação de estruturas (mais tarde redefinida como "deferência à especialização")

Weick e Sutcliffe (1999) explicam que *mindfulness* relaciona-se menos com tomada de decisão, foco tradicional dos estudos organizacionais e de prevenção de acidentes, e mais com investigação e interpretação baseadas em capacidades de ação. A Figura 5 foi extraída da publicação original e representa visualmente o modelo de *mindfulness* coletiva.

Figura 5: representação visual do modelo de *mindfulness* coletiva



Fonte: Weick & Sutcliffe (1999)

Le Coze (2013) faz uma observação pertinente ao salientar que, ao invés de focar na cognição e no comportamento dos indivíduos, como fizeram Reason e Rasmussen, o *mindfulness* coletivo busca compreender o fluxo constante de ações recíprocas entre indivíduos e os ambientes que eles criam.

### 2.3.5.2 Instrumentos e modelos baseados na ER

Desde meados dos anos 2000, quando a ER foi organizada como uma abordagem para a segurança e uma disciplina de investigação científica, diversos instrumentos foram propostos para orientar a prática organizacional. Em maior ou menor grau, todos se inspiraram em abordagens predecessoras, algumas das quais expusemos neste mesmo capítulo.

Não temos a pretensão nem é escopo deste trabalho fazer um levantamento exaustivo de todos os modelos e instrumentos já propostos orientados pela abordagem da ER.

Pretendemos, por meio de sucintas descrições que apresentam os principais elementos de cada instrumento, introduzir o leitor em um universo mais orientado à prática da ER.

No Quadro 9, os objetivos, as contribuições e os autores de alguns desses modelos são apresentados de forma categorizada:

Quadro 9: instrumentos e modelos baseados na ER

<b>Categoria</b>	<b>Modelo</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Contribuições</b>	<b>Autores</b>
Avaliação da segurança	SDSMS - Modelo Dinâmico e Sensibilização da Segurança	Ser um modelo analítico refinado para avaliação de segurança, levando em consideração seus aspectos dinâmicos e sistêmicos. Integrar design tecnológico e tarefas e, também, questões cognitivas, culturais e de poder em várias camadas de análise.	Derivado da combinação entre um modelo gerencial e outro sociológico/político, são oferecidas percepções de sensibilização interessantes	Le Coze (2013)
Avaliação da segurança	SNTS - Visão Sócio-Natural-Técnica do Sistema	Alinhar a visão STS de Rasmussen (1997) ao movimento intelectual que ganhou influência nos últimos anos por meio de uma abordagem construtivista.	Nova metáfora que molda a interpretação e o significado de segurança (e de acidentes) em favor: <ul style="list-style-type: none"> <li>- de uma visão policêntrica ou acêntrica do sistema</li> <li>- do reconhecimento dos padrões emergentes imprevisíveis</li> <li>- das interações fluidas entre indivíduos, mídias, tecnologias e natureza</li> <li>- da indicação de camadas sociais de análise micro e macro</li> <li>- da representação de observadores e cientistas como parte do sistema e não como outsiders</li> <li>- da integração entre as ciências exatas e humanas (humanidades científicas)</li> </ul>	Le Coze (2013)
Avaliação da segurança	MAHS - Método para avaliar sistemas de gestão da saúde e segurança	Avaliar fontes de resiliência e deficiências na gestão de saúde e segurança (HSMS) por meio de uma abordagem baseada na ER.	Reúne as três principais abordagens (estrutural, operacional e desempenho) de auditoria para saúde e segurança (HS) e fornece percepções sobre processos informais que normalmente não	Costella et al. (2009); Saurin & Carim Jr. (2011)

			recebem atenção das auditorias de HSMS.	
Análise de acidentes	STAMP - Processos e Modelagem Teórica de Acidentes	Orientar projetos de sistemas resilientes que respondam às pressões e aos fatores que os influenciam a se movimentar para um estado de maior risco ou, se isso não for possível, de sistemas de gestão de risco que, continuamente, detectem as mudanças e auxiliem na formulação de respostas adequadas antes que os eventos de risco ocorram.	Auxiliar projetistas e engenheiros na construção e operação de sistemas mais resilientes, capazes de detectar e responder às mudanças no sistema interno e no ambiente externo, por meio da avaliação do impacto de vários fatores técnicos e sociais.	Leveson et al. (2006)
Análise de capacidades resilientes	4 capacidades para a resiliência	Compreender e descrever as capacidades resilientes de um sistema por meio de suas habilidades para responder, monitorar, antecipar e aprender.	Ponto de partida para a concepção de frameworks, questionários e outros instrumentos para obtenção de indicadores de resiliência e identificação de criticalidades.	Hollnagel (2010)
Análise de capacidades resilientes	RAG - Grade de Análise de Resiliência	Orientar a criação de um perfil de resiliência da organização por meio de um conjunto de questões que avaliam o desempenho do sistema em relação a cada uma das quatro habilidades básicas.	Instrumento útil para a caracterização ou criação de um perfil do sistema que apoie seu gerenciamento ou o desenvolvimento de seu potencial de desempenho resiliente.	Hollnagel (2010)
Análise de capacidades resilientes	SyRes - Modelo Sistêmico de Resiliência	Orientar o desenvolvimento e a avaliação de métricas e modelos de resiliência.	Descreve a robustez resiliente, resolvendo a aparente contradição entre as definições de resiliência (i.e., equilibrar propriedades de aumento de estabilidade com propriedades de aumento de resiliência no projeto do sistema).	Lundberg e Johansson (2015)
Análise de capacidades resilientes	AHP – Análise Hierárquica de Processos	Definir as capacidades resilientes de uma organização para criar um perfil resiliente em diferentes níveis de abstração, identificar fraquezas e forças do sistema e potenciais ações para aumentar sua capacidade de adaptação.	Permite ranquear os fatores e excluir da análise as categorias que recebem pesos mais baixos que outros sob a suposição de que seu efeito sobre a resiliência organizacional é limitado.	Patriarca et al. (2017)

Análise de processos e criticalidades	SCALES Framework	Unificar a terminologia relacionada ao domínio da ER a fim de criar um vocabulário comum e evitar mal-entendidos e confusões quando esses termos são usados.	Instrumento para identificação e extração de indicadores de resiliência.	Herrera et al. (2014)
Análise de processos e criticalidades	ADAPTER Questionnaire	Diagnosticar os requisitos de resiliência da equipe em trabalhos críticos para a segurança.	Instrumento para mensuração e avaliação da resiliência no nível de times.	van der Beek & Schraagen (2015)
Aprimoramento da resiliência	TORC - Training for Operational Resilience Capabilities	Conciliar deliberadamente as práticas adaptativas com a aderência e a orientação às regras, incluindo a preparação para o inesperado e para a antecipação. Permitir e facilitar um esforço sistêmico de treinamento para apresentar, reconhecer, identificar, nutrir, desenvolver e levar a resiliência à influência, controle e <i>accountability</i> gerencial, de forma gradual e mensurável.	Orientar treinamentos, simulações e revisões com maior consciência e maturidade, permitindo que empresas e trabalhadores elaborem mais detalhadamente a identificação de ações baseadas em rotinas, regras e conhecimentos como ponto de partida para a ação resiliente. Facilitar um processo no qual a resiliência é aceita como uma propriedade organizacional, além de ser apreciada, explicada e emancipada da sombra contextual da conformidade ( <i>compliance</i> ) e, também, abarcada sob um nível mensurável de intenção, supervisão e controle administrativo	Grotan & van der Vorm (2016)

Fonte: elaborado pelo autor.

## 2.4 RELAÇÃO ENTRE A BASE TEÓRICO-CONCEITUAL E OS OBJETIVOS DA PESQUISA

Explicitamos nas seções progressas desta tese que nossa pesquisa almeja especificar um framework que oriente a análise de aderência de iniciativas de TD a princípios de FH e às capacidades de resiliência em organizações críticas em segurança.

A jornada pelo alcance deste objetivo inicia pela compreensão da influência das iniciativas de TD sobre a resiliência organizacional. Como já expusemos, a literatura sobre TD e I4.0 aponta a importância desta compreensão ao mesmo tempo em que critica o fato de, até então, pouco ter se dado atenção a ela. Além disso, observa negativamente a baixa adesão dos pesquisadores da área a métodos empíricos de investigação. Por isso, reconhecendo a evidente

lacuna, nos debruçamos sobre os modelos clássicos e contemporâneos baseados na ER para avaliar se algum deles poderia nos ajudar a compreender a influência da TD sobre resiliência organizacional, especialmente sobre segurança operacional e saúde ocupacional, e nos fornecer meios para realizar análises empíricas em organizações reais.

O esforço de levantamento e análise de um número elevado de modelos foi válido, pois ancorou nossa decisão de basear os métodos da pesquisa na combinação entre RAG e AHP proposta por Patriarca et al. (2017). Lembramos que este modelo não foi concebido com o olhar sobre iniciativas de TD e I4.0, mas, sim, sobre a resiliência organizacional em sua concepção ampla. Contudo, para que fosse útil e aderente aos nossos propósitos, precisamos compreender as bases fundamentais e os principais elementos dessa transformação, inclusive suas críticas, para posicionar o modelo ao contexto. Isto justifica a dimensão e a profundidade da revisão bibliográfica acerca da TD e I4.0.

Isto nos a outro objetivo específico, que diz respeito à operacionalização do diagnóstico e da análise das capacidades de resiliência à luz da gestão da segurança relacionando-a com o desenvolvimento e a implantação de tecnologias digitais. Novamente, o desenvolvimento da base teórico-conceitual permitiu que elencássemos os termos-chave da pesquisa bibliográfica e selecionássemos publicações com potencial para contribuir com a seleção de variáveis úteis ao diagnóstico e à análise das capacidades de resiliência. Os procedimentos realizados são apresentados detalhadamente no próximo capítulo desta tese. Aqui, queremos salientar somente como a redação da base teórico-conceitual foi importante também para este fim.

Nosso último objetivo específico sugere que analisemos se as tecnologias digitais podem orientar e apoiar a gestão da segurança orientada à resiliência e baseada em fatores humanos. Para seu alcance, foi fundamental compreendermos as origens da resiliência organizacional e sua apropriação pela disciplina de engenharia de resiliência, que busca os meios para a operacionalizar. Ativemo-nos principalmente aos alertas emitidos pelos principais autores da área relativos à importância de investigar a relação e os impactos do desenvolvimento sobre a segurança organizacional, especialmente quando orientada à resiliência.

No próximo capítulo, apresentamos os métodos e instrumentos adotados para condução de nossa pesquisa. Esperamos, com ele, aprofundar o que brevemente expusemos nesses últimos parágrafos, tangibilizando os objetivos da pesquisa e sua relação com a base teórico-conceitual.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na I4.0, acredita-se que a organização do trabalho deva ser mais inteligente e as habilidades dos trabalhadores ampliadas, pois eles são parte essencial do desenvolvimento e da assimilação das inovações tecnológicas. Como consequência, pode ocorrer uma transformação radical do conteúdo, dos processos e do próprio ambiente de trabalho, repercutindo sobre a flexibilidade, o controle do tempo, os cuidados com a saúde, as mudanças demográficas e até as vidas privadas das pessoas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

As organizações precisam se adequar para incorporar novas tecnologias às suas rotinas e nem sempre este processo é fluido (DE CAROLIS et al., 2017). Na I4.0, não será diferente. Impactos são previstos, inclusive, sobre a gestão da segurança e saúde ocupacional. Para evitar que o progresso tecnológico e a segurança e saúde dos trabalhadores entrem em rota de colisão, é interessante que uma transição suave em direção à I4.0 seja concebida e coordenada por profissionais da academia e da indústria (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018).

Neste sentido, assim como já adiantado nas seções preliminares desta tese, guiamos-nos pelo desafio de contribuir com a descoberta de formas de aumentar o potencial de resiliência de organizações críticas em segurança por meio da incorporação de tecnologias digitais. Para tal, amparamo-nos na ER, pois acreditamos ser o paradigma contemporâneo mais apropriado para lidar com sistemas sociotécnicos complexos, especialmente aqueles críticos em segurança, como os que compõem o setor de óleo e gás (O&G).

A proposição de modelos de referência que permitam um roteiro de mensuração e avaliação de aspectos relacionados à resiliência nesses sistemas é um desafio que está sendo enfrentado tanto pela comunidade científica quanto pelos indivíduos que atuam nessas instituições. Desta problemática, surgiram os objetivos de pesquisa e sua instrumentalização na forma de procedimentos metodológicos.

Nos estudos organizacionais, as perguntas geralmente envolvem relações causais nas quais se pré-concebe que um fator influencia o outro. Por isso, as abordagens empíricas são aquelas que normalmente mais contribuem para a compreensão dessas relações, pois permitem a investigação das relações por meio de técnicas de medição (SCHWAB, 2005).

Assim, por ser este trabalho uma pesquisa empírica, suas etapas básicas compõem-se de medição, design da pesquisa e análise. As atividades de medição visam obter pontuações correspondentes aos conceitos estudados. O design da pesquisa estabelece procedimentos para determinar os participantes e como as pontuações serão obtidas. As análises, por sua vez, são

realizadas para descrever as pontuações em medidas individuais e identificar relações entre as pontuações (SCHWAB, 2005).

Nas próximas seções, descrevemos detalhadamente os procedimentos metodológicos adotados para a condução da pesquisa de acordo com esta classificação.

### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Silva et al. (2012) sugerem que, para o delineamento da pesquisa, sejam considerados três elementos: o paradigma de pesquisa, a classificação quanto à finalidade e os métodos ou estratégias escolhidos.

#### 3.1.1 Paradigma

Paradigmas são entendidos como diferentes visões de mundo ou modelos mentais. Um paradigma é a instância filosófica que embasa o método de pesquisa (CROTTY, 1998). Em princípio, não há um paradigma mais apropriado para uma pesquisa, mas espera-se que ele guie a escolha de métodos coerentes com a formulação e elaboração do problema, os objetivos propostos e outras limitações práticas de tempo, custo e disponibilidade de dados (SILVA et al., 2012).

Nesta pesquisa, adotamos o pragmatismo como paradigma por ser uma abordagem orientada à resolução de problemas desenvolvida sobre um modelo comportamentalista da natureza humana que vê a realidade em termos de processos e relações e enaltece a interação entre significado e ação. Ele é, ao mesmo tempo, analítico e prescritivo. Seus fundamentos e princípios enfatizam a interrelação entre ação e significado, apontam uma forte desconfiança dos dualismos e uma apreciação das influências recursivas.

O pragmatismo pode ser posicionado como uma teoria organizacional à parte que fornece elementos contrastantes com as abordagens racional e estrutural. Ao desafiar o dualismo entre teoria e prática, analisando as ações sociais em face dos problemas concretos, o pragmatismo adota uma concepção de filosofia que aborda os aspectos práticos e o enriquecem (FARJOUN; ANSELL; BOIN, 2015).

O pragmatismo propõe ainda processos de pesquisa que sejam ao mesmo tempo efetivos e, se possível, eficientes, avaliando-os por seus produtos, pela sua eficácia funcional na resolução de objetivos coletivos. Ele enaltece a primazia da prática baseada no fazer científico, focando nos resultados objetivos e na eficácia do alcance dos objetivos coletivos da pesquisa científica (GONZALEZ, 2020).

Martela (2015) nos traz importante observação ao afirmar que, ainda que o teste final da investigação científica no pragmatismo tenha caráter prático, isto não significa que, para ser aceita, a pesquisa deva fornecer diretamente demonstrações práticas de seus resultados. Idealmente, eles devem ser demonstrados por meio de intervenções ativas e deliberadas, mas, especialmente nas ciências sociais, nem sempre é possível fazer isto de forma simples e objetiva.

O pragmatismo é indicado para se compreender os desafios contemporâneos advindos de mudanças e da complexidade especialmente quando envolvem múltiplos níveis de análise, como ocorre normalmente nas iniciativas de TD. Farjoun et al. (2015) argumentam que o pragmatismo fornece uma "terceira via" entre as abordagens racional e estrutural e representa uma escola da teoria organizacional por si só.

Quando comparado com os racionalistas e estruturalistas, o pragmatismo fornece uma visão mais rica e realista do comportamento humano. Os indivíduos são entendidos como seres sociais e complexos, criativos e motivados pela experimentação. Com isso, suas ações moldam os ambientes complexos onde estão inseridos. A lógica recursiva do pragmatismo ajuda a compreender como os fenômenos sociais se afetam mutuamente e sua descrença no dualismo cria uma barreira para as perspectivas unilaterais (FARJOUN; ANSELL; BOIN, 2015).

O pragmatismo suplanta presunções simplistas com uma visão mais complexa, porém realista, das relações, dos indivíduos e das instituições. A perspectiva desafia a tradicional teoria organizacional que vê estabilidade e mudança como dualismos, separadas e opostas uma à outra. Nesta abordagem, estrutura e estabilidade não são vistas como barreiras para iniciativa, liberdade e exploração. As regras e burocracias podem até ajudar a preservar as autonomias individuais e coletivas e permitir que trabalhadores lidem mais efetivamente com as inevitáveis contingências e interrupções (FARJOUN; ANSELL; BOIN, 2015).

Por fim, de acordo com o paradigma da pesquisa, buscamos considerar os aspectos práticos da ciência como um fator de relevância ao invés de focar somente em suas contribuições teóricas. Para tal, tentamos sempre nos manter alertas e sensíveis aos contextos sociais, culturais e econômicos onde estão inseridos nossos objetos de pesquisa (GONZALEZ, 2020).

### **3.1.2 Tipologia quanto aos objetivos**

Em relação à tipologia, classificamos nosso estudo como uma pesquisa exploratória. Trabalhos desta natureza buscam abordar conceitos recentes, inéditos ou pouco explorados e

propor hipóteses ou proposições que servirão de base para pesquisas complementares. O objetivo é proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses (GIL, 2009; SILVA et al., 2012).

A pesquisa exploratória é um passo útil quando os pesquisadores adentram a um universo sobre o qual têm experiência ou conhecimentos limitados. Isto ocorre quando a problemática é inédita para eles ou mesmo para a comunidade científica (ZIKMUND et al., 2010). Gil (2009) nos lembra de que o planejamento da pesquisa exploratória costuma ser flexível para possibilitar a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, as pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e (c) análise de exemplos que ajudem na compreensão. Mas ele observa que, embora flexível, o planejamento da pesquisa exploratória, na maioria dos casos, assume a forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso.

O *locus* desta pesquisa, como já dissemos, está nas indústrias que baseiam suas estratégias de transformação digital na I4.0. Recentemente, a literatura científica começou a abordar com mais ênfase os potenciais impactos do desenvolvimento e da incorporação tecnológica sobre fatores humanos, resiliência organizacional e saúde e segurança dos trabalhadores (e.g. BADRI et al., 2018; AREZES et al., 2019; KADIR et al., 2019; LIU et al., 2020; NEUMANN et al., 2021). Estas evidências, ainda que recentes, inspiraram e ajudaram a compor a problemática de nossa pesquisa. Um estudo exploratório, tal qual realizamos, contribui com a confirmação das hipóteses levantadas pelos referidos pesquisadores e com o fornecimento de métodos e instrumentos que poderão orientar pesquisas futuras. Os métodos e as estratégias adotados para realização da pesquisa reforçam sua caracterização como pesquisa exploratória, principalmente a pesquisa bibliográfica, os grupos focais para construção dos instrumentos e os levantamentos para coleta de dados. Tais métodos e estratégias são mais bem apresentados nas seções seguintes deste capítulo.

Nesta pesquisa, adotamos principalmente métodos qualitativos. De acordo com Zikmund et al. (2010), esta é a abordagem recomendada, pois constitui um primeiro passo essencial em direção a outros mais conclusivos, confirmatórios, reduzindo as chances de os trabalhos iniciarem com um conjunto de objetivos de pesquisa inadequados, incorretos ou errados. Além disso, é apropriada para quando se pretende compreender profundamente as motivações ou desenvolver novos conceitos. É o nosso caso.

No Quadro 10, a título de exemplo, apresentamos situações em que a pesquisa qualitativa é, normalmente, a mais indicada:

Quadro 10: aplicações da abordagem de pesquisa qualitativa

Quando adotar uma abordagem qualitativa?
Quando é difícil desenvolver problemas e objetivos de pesquisa específicos e acionáveis. A pesquisa qualitativa é normalmente usada para obter insights mais profundos e consolidar o problema de pesquisa.
Quando o objetivo de pesquisa é desenvolver a compreensão detalhada e profunda de algum fenômeno. As ferramentas de pesquisa qualitativa ajudam a compreender motivações humanas e a documentar de forma completa conjuntos de atividades.
Quando o objetivo da pesquisa é aprender como um fenômeno ocorre em sua forma natural ou aprender como expressar alguns conceitos em termos coloquiais.
Quando algum comportamento que o pesquisador está estudando é particularmente dependente do contexto.
Quando uma abordagem nova para estudar algum problema é necessária. Este é particularmente o caso quando pesquisas quantitativas obtiveram resultados abaixo dos satisfatórios. Instrumentos qualitativos podem rever insights únicos, muitos dos quais direcionarão as pesquisas para uma nova direção.

Fonte: adaptado de Zikmund et al. (2010)

### 3.2 MÉTODO E TÉCNICAS

A classificação das pesquisas em exploratórias, descritivas e explicativas é útil para o estabelecimento de seu marco teórico, mas, para analisar os fatos do ponto de vista empírico, para confrontar a visão teórica com os dados da realidade, é preciso traçar um modelo conceitual e operativo da pesquisa (GIL, 2009). Compõem o método de pesquisa os procedimentos sistemáticos escolhidos pelo pesquisador para descrever e explicar fenômenos no processo de investigação científica (RICHARDSON; PERES, 1999). O método orienta primordialmente a seleção das técnicas para coleta e de análise de dados (SILVA et al., 2012).

Para o alcance de nossos objetivos, adotamos a ciência do design (DSR) como método e um conjunto integrado de técnicas composto por pesquisa bibliográfica, estudo de caso e levantamento, os quais descrevemos a seguir.

#### 3.2.1 Ciência do Design (DSR)

Dois paradigmas caracterizam a maioria das pesquisas em sistemas de informação (SI): a ciência comportamental e a DSR. Ambos são fundacionais para a disciplina de SI, posicionados na confluência entre pessoas, organizações e tecnologia (HEVNER et al., 2004).

A ciência comportamental, que tem raízes nas ciências naturais, busca desenvolver e avaliar teorias que explicam ou predizem o comportamento humano ou organizacional enquanto a ciência do design busca estender os limites das capacidades humanas e organizacionais criando artefatos novos e inovadores. A ciência do design, cujas raízes advêm da engenharia e das ciências do artificial (SIMON, 1996), volta-se à resolução de problemas.

Em relação à tecnologia, a DSR é proativa, pois se concentra na criação e avaliação de artefatos inovadores que permitam às organizações abordar importantes tarefas relacionadas à informação. A ciência comportamental, neste mesmo sentido, é reativa, pois toma a tecnologia como “dada” e se concentra no desenvolvimento de teorias que explicam e preveem fenômenos relacionados à sua aquisição, implementação, gerenciamento e uso (HEVNER et al., 2004).

Os mesmos pesquisadores observam, no entanto, que tais artefatos não estão isentos de leis naturais ou teorias comportamentais. Ao contrário, sua criação depende de teorias existentes que são aplicadas, testadas, modificadas e ampliadas pela experiência, criatividade, intuição e capacidades de resolução de problemas do pesquisador. Eles veem como uma oportunidade interessante para a pesquisa organizacional baseada em SI a associação entre as ciências do design e comportamental para lidar com problemas fundamentais enfrentados na aplicação das tecnologias de informação. Filosoficamente, de acordo com Hevner et al. (2014), esses argumentos derivam dos pragmatistas que afirmavam serem a verdade (teoria justificada) e a utilidade (artefatos que são eficazes) dois lados da mesma moeda e que a pesquisa científica deve ser avaliada à luz de suas implicações práticas. Eles acreditam que o enquadramento das atividades de pesquisa para atender às necessidades de negócios garante sua relevância.

É comum que artefatos tecnológicos implementados em uma ou mais organizações sejam objetos de estudo de pesquisas baseadas na ciência comportamental. Tais teorias buscam prever ou explicar fenômenos que ocorrem em relação ao uso desse artefato, à utilidade percebida e ao impacto sobre indivíduos e organizações. Não haveria mal algum em procedermos assim, mas nossos objetivos são distintos. Por nos ampararmos na ciência do design, trabalhamos na criação e proposição de artefatos destinados à resolução de problemas organizacionais. Para tal, buscamos entender o problema abordado pelo artefato e sua viabilidade para a solução por meio de uma sequência de atividades especializadas, cujo objetivo é a geração de um produto inovador (i.e., o artefato de design).

Hevner et al. (2004) propõem um conjunto de diretrizes para caracterizar e orientar pesquisas baseadas na ciência do design. De acordo com eles, pesquisas sob este paradigma requerem que:

- seja criado um artefato inovador e proposital (D1) para um domínio de problema específico (D2);
- o artefato seja avaliado (D3);
- o artefato seja inovador, resolvendo um problema até então não resolvido ou resolvendo um problema conhecido de forma mais efetiva ou eficiente (D4);
- o artefato em si seja rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente (D5);

- o processo pelo qual ele é criado – e muitas vezes o próprio artefato – incorpore ou possibilite um processo de busca pelo qual um espaço de problema é construído e um mecanismo proposto para encontrar uma solução efetiva (D6);
- os resultados da pesquisa sejam comunicados de forma eficaz tanto para um público técnico quanto para um público gerencial (D7).

A essência da ciência do design está na utilidade do novo artefato. Hevner et al. (2004) explicam que, se os artefatos já existentes são adequados, a pesquisa baseada em DSR que cria um novo artefato é desnecessária, pois irrelevante. Se o novo artefato não for mapeado adequadamente para o mundo real, ele não será útil. Se o artefato não resolver o problema, ele não tem utilidade. Se a utilidade não for demonstrada, não há base para aceitar as alegações de que fornece qualquer contribuição. Além disso, se o problema, o artefato e sua utilidade não forem apresentados adequadamente para demonstrar com clareza as implicações para a pesquisa e a prática, a publicação na literatura não será apropriada.

No Quadro 11, demonstramos o alinhamento desta pesquisa às diretrizes da DSR de acordo com o framework de Hevner et al. (2004).

Quadro 11: alinhamento da pesquisa às diretrizes da DSR

Diretriz	Descrição	Evidências da pesquisa
D1 – Design como um artefato	A pesquisa deve produzir um artefato viável na forma de um construto, um modelo, um método ou uma instanciação.	O principal produto resultante desta pesquisa é o framework para análise da aderência de iniciativas de Transformação Digital e Indústria 4.0 aos princípios de fatores humanos e resiliência organizacional. Ele pode ser caracterizado como um método, pois, além de um modelo, são propostas orientações para sua aplicação em cenários reais.
D2 – Relevância do problema	A solução deve resolver problemas de negócio importantes e relevantes.	A literatura científica recente atesta a importância de se avaliar a incorporação tecnológica à luz de fatores humanos e resiliência (e.g. Kadir et al., 2019; Liu et al., 2020; Neumann et al., 2021). Além disso, o envolvimento durante os trabalhos de pesquisadores e profissionais atuantes em organizações de alta complexidade e críticas em segurança contribui com a atestação da relevância do problema.
D3 – Avaliação do design	A utilidade, qualidade e eficácia de um artefato de design devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados.	Na execução da pesquisa, a avaliação dos artefatos de design ocorreu em interações informais e, também, em dinâmicas formais de avaliação com pesquisadores e profissionais do setor de O&G: grupos focais e ciclos de revisão e análise do levantamento.
D4 – Contribuições da pesquisa	A pesquisa deve fornecer contribuições claras e verificáveis para as áreas atinentes ao artefato do design, às fundações do design e/ou às metodologias do design.	Os resultados da pesquisa são inovadores, pois associam campos de investigação científica distintos (e.g. TD/I4.0, fatores humanos e ER) para a proposição de um método que contribui para a mensuração da resiliência organizacional. Além disso, pela objetividade e simplicidade, contribuem com a prática organizacional, pois podem ser

		adotados por indivíduos que atuam em organizações complexas e críticas em segurança.
D5 – Rigor da pesquisa	A pesquisa deve ser conduzida pela aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação do artefato de design.	O rigor da pesquisa é evidenciado pelos procedimentos metodológicos descritos neste trabalho e pelos eventos de avaliação formais típicos dos programas de pós-graduação <i>stricto sensu</i> .
D6 – Design como um processo de busca	A busca por um artefato efetivo requer utilizar meios disponíveis para alcançar os fins desejados enquanto satisfaz as leis no ambiente do problema.	A criação do framework para mensuração da resiliência organizacional baseou-se em um processo iterativo proposto por Patriarca et al. (2017) baseado nas técnicas RAG e AHP. A sofisticação e a pertinência dos artefatos produzidos, de acordo com essas técnicas, são gradualmente aperfeiçoadas em um processo que pode ser caracterizado como de busca.
D7 – Comunicação da pesquisa	A pesquisa deve ser apresentada efetivamente tanto ao público orientado à tecnologia quanto à gestão.	Os resultados desta pesquisa são apresentados primeiramente neste trabalho em razão da necessidade de ineditismo das teses de doutorado. Futuramente, serão divulgados em publicações científicas e, eventualmente, em outros veículos mais afeitos ao público corporativo.

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Pesquisa bibliográfica

Na pesquisa bibliográfica, o pesquisador recorre a trabalhos já realizados e a materiais já publicados para investigar ou melhor compreender um determinado tema de estudo (SILVA et al., 2012). A principal vantagem desta técnica reside no acesso a informações de maneira mais ampla do que seria possível pesquisando diretamente. Essa vantagem é especialmente importante quando o problema de pesquisa requer dados altamente dispersos (GIL, 2009). Marconi e Lakatos (2017) observam, contudo, que a pesquisa bibliográfica não deve se restringir à repetição do que já foi dito ou escrito anteriormente, mas propiciar o exame de um tema a partir de um novo enfoque ou abordagem para que sejam tecidas conclusões inovadoras.

Silva et al. (2012) destacam, ainda, que não se deve confundir pesquisa bibliográfica com a revisão de literatura realizada na fase inicial de qualquer pesquisa. Eles apontam três características básicas da pesquisa bibliográfica que as diferenciam das revisões de literatura:

- i. Orienta-se por questões de pesquisa específicas que serão respondidas por meio da bibliografia pesquisada.
- ii. Compreende toda a bibliografia disponível sobre determinado tema em nível nacional e internacional.
- iii. Analisa a literatura e, a partir dela, gera um conhecimento inédito sobre determinado assunto.

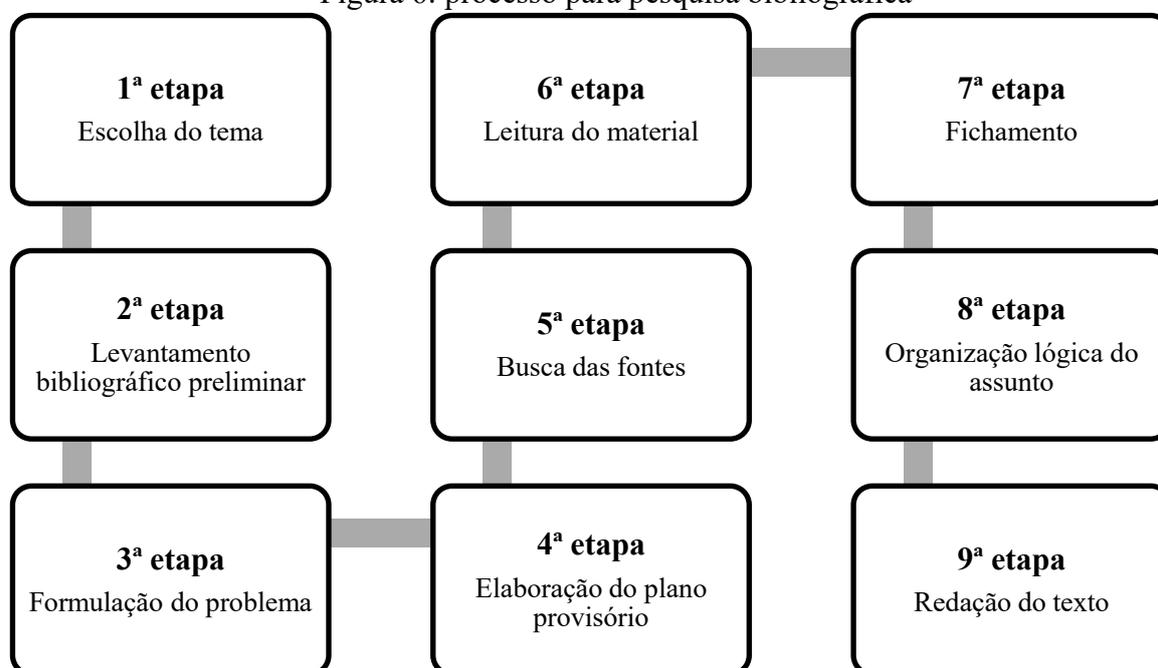
Em nossa investigação, recorreremos à pesquisa bibliográfica para extrair da literatura sobre Indústria 4.0, manufatura inteligente, transformação digital, digitalização e fatores humanos variáveis que exercem influência positiva ou negativa sobre riscos, saúde e segurança ocupacional e resiliência organizacional. A hipótese que nos orientou, vale lembrar, foi a de

que a incorporação de tecnologias digitais causa abalos temporários, mas pode contribuir com o aumento da resiliência das organizações, especialmente daquelas críticas em segurança.

Mais adiante, detalhamos a abordagem que adotamos para o desenvolvimento do framework. Aqui, adiantamos que a identificação de questões relevantes sobre o sistema estudado é uma prerrogativa do RAG (HOLLNAGEL, 2015) que subsidia a elaboração dos instrumentos para coleta de dados.

Conduzimos a pesquisa bibliográfica orientados pelo processo apresentado por Gil (2009) composto pelas seguintes etapas:

Figura 6: processo para pesquisa bibliográfica



Fonte: adaptado de Gil (2009)

Os temas da pesquisa bibliográfica confundem-se, de maneira geral, com os desta tese, pois são variações de uma mesma problemática. A leitura prévia de alguns trabalhos e experimentações em bases de publicações foram realizadas até que chegássemos a uma combinação satisfatória de palavras-chave que nos permitisse acessar um conjunto relevante de publicações.

Selecionamos as publicações a partir de duas bases: *Web of Science* e *Scopus*. A escolha por elas amparou-se pela reconhecida relevância acadêmica e amplitude dos conteúdos, que abrange tanto publicações brasileiras quanto estrangeiras.

No Quadro 12, listamos o conjunto final de termos-chave que, combinados, compuseram a estratégia de busca.

Quadro 12: termos-chave da revisão bibliográfica

Em português	Em inglês
Resiliência	<i>Resilience</i>
Fatores humanos	<i>Human factors</i>
Ergonomia	<i>Ergonomy</i>
Erro humano	<i>Human error</i>
Confiabilidade humana	<i>Human reliability</i>
Avaliação de risco	<i>Risk assessment</i>
Indústria 4.0	<i>Industry 4.0</i>
Manufatura inteligente	<i>Smart manufacturing</i>
Transformação digital	<i>Digital transformation</i>
Digitalização	<i>Digitalization</i>

Fonte: elaborado pelo autor.

Os termos-chave de nossa pesquisa, aqueles presentes em todas as descrições da problemática, são Resiliência, Fatores Humanos e Indústria 4.0. Com a intenção de alcançar um volume maior de trabalhos, incluindo até alguns periféricos, optamos por adicionar à busca assuntos adjacentes aos temas centrais. Ergonomia, Erro Humano, Confiabilidade Humana e Avaliação de Risco, por exemplo, relacionam-se estreitamente com Resiliência e Fatores Humanos. Manufatura Inteligente, Transformação Digital e Digitalização, por sua vez, são assuntos próximos à Indústria 4.0.

Além disso, após iniciar a leitura das publicações científicas, decidimos buscar também trabalhos que abordassem os temas de forma mais instrumental. Isto se justifica pelo caráter prático, empírico de nossa investigação e dos resultados que dela pretendemos obter. Adicionamos ao rol de publicações um conjunto de trabalhos que propõem instrumentos para avaliar a maturidade e a prontidão tecnológica de organizações em direção à I4.0. Esses trabalhos, é importante dizer, são de autoria tanto de instituições científicas quanto de institutos e empresas de consultoria.

Ao final, após aplicar critérios de inclusão e exclusão, obtivemos um conjunto coeso de publicações para leitura completa e análise rigorosa. No Quadro 13, nós as apresentamos:

Quadro 13: publicações selecionadas para análise definitiva

#	Autores	Título	Ano	Fonte
1	Friedrich et al.	Measuring industry digitization: leaders and laggards in the digital economy	2011	PWC
2	Westerman et al.	Digital transformation: a roadmap for billion-dollar organizations	(014	MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting
3	Rockwell Automation	The Connected Enterprise Maturity Model	2014	Rockwell Automation
4	Romero et al.	Towards a Human-Centred Reference Architecture for Next Generation Balanced Automation Systems: Human-Automation Symbiosis	2015	IFIP International Federation for Information Processing 2015
5	Lichtblau et al.	IMPULS Industrie 4.0 Readiness	2015	VDMA's IMPULS-Stiftung
6	Opitz et al.	Digital Transformation: How to Become Digital Leader	2015	Arthur D. Little
7	Catlin et al.	Raising your Digital Quotient	2015	McKinsey Quarterly
8	Bloching et al.	The Digital Transformation of Industry: How important is it? Who are the winners? What must be done now?	2015	Roland Berger Strategy Consultants
9	Geissbauer, R.; Vedso, J.; Schrauf, S.	Industry 4.0: Building the digital enterprise	2016	PWC
10	Schumacher, A.; Erol, S.; Sihm, W.	A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises	2016	Procedia CIRP
11	Ganzarain, J.; Errasti, N.;	Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0	2016	Journal of Industrial Engineering and Management
12	Leyh, C.; Schäffer, T.; Bley, K.; Forstnhäusler, S.;	SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0	2016	2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)
13	Berghaus; Back	Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study	2016	MCIS 2016 Proceedings
14	Accenture Research	European Financial Services Digital Readiness Report	2016	Accenture Research
15	De Carolis, A.; Macchi, M., Zegri, E.; Terzi, S.;	A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies (DREAMY)	2017	Springer International Publishing
16	Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E.	Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM	2017	Springer International Publishing
17	VanBoskirk et al.	The Digital Maturity Model 5.0	2017	Forrester Research
18	Badri et al.	Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern?	2018	Safety Science
19	Leso et al.	The occupational health and safety dimension of Industry 4.0	2018	La Medicina del Lavoro

20	Sjödin, DR; Parida, V.; Leksell, M.; Petrovic, A.	Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing	2018	Research-Technology Management
21	Kadir et al.	Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0	2019	Computers & Industrial Engineering
22	Arezes et al.	Occupational and Environmental Safety and Health	2019	Springer International Publishing
23	Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; Hompel, M.; Wahlster, W.	Industrie 4.0 Maturity Index (ACATECH)	2020	Acatech – National Academy of Science and Engineering
24	Liu et al.	A paradigm of safety management in Industry 4.0	2020	Systems Research and Behavioral Science
25	Neumann et al.	Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development	2021	International Journal of Production Economics

Fonte: elaborado pelo autor.

Para analisar individualmente as publicações em uma pesquisa bibliográfica, é essencial a utilização de instrumentos de apoio que viabilizem a síntese dos trabalhos e a identificação de suas diferenças (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). A matriz de análise proposta por Klopper, Lubbe e Rudgbeer (2007) nos pareceu interessante e optamos por adotá-la. Seu objetivo é minimizar erros que possam comprometer a qualidade dos resultados da análise. Por não possuir estrutura ou formato pré-estabelecidos, sua elaboração baseia-se na interpretação do pesquisador e na forma pela qual ele organiza os dados produzidos por sua pesquisa (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). Ela deve, contudo, agregar informações importantes sobre os principais aspectos da pesquisa para que o pesquisador os acesse quando deles necessitar.

No Quadro 14, apresentamos o modelo de matriz de análise que criamos para apoiar o processo de análise dos trabalhos selecionados:

Quadro 14: matriz de análise

Temas de análise	Publicação 1	Publicação 2	Publicação 'n'
Aspectos contextuais			
Principais definições			
Dimensões			
Estágios de maturidade			
Fatores e indicadores (variáveis)			
Outras informações importantes			

Fonte: elaborado pelo autor.

Como resultado da pesquisa bibliográfica, obtivemos um conjunto de variáveis posicionadas na intersecção entre os constructos Indústria 4.0, Fatores Humanos e Resiliência Organizacional. Na Figura 7, apresentamos uma ilustração esquemática desta relação. O conjunto completo de categorias de análise e variáveis pode ser consultado no Apêndice A desta tese.

Figura 7: posicionamento das variáveis obtidas pela pesquisa bibliográfica



Fonte: elaborada pelo autor.

Depois de revisar e categorizar as variáveis obtidas pela pesquisa bibliográfica, estruturamos assertivas tal qual prevê o RAG para se traçar o perfil de resiliência de uma organização. Esse conjunto de questões é apresentado detalhadamente nas próximas seções deste capítulo.

### 3.2.3 Estudo de caso

Estudos de caso são investigações empíricas de fenômenos contemporâneos em seu contexto da vida real. É um método recomendado para situações em que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos e quando existem muito mais variáveis

de interesse do que pontos de dados. Nessas pesquisas, um resultado pode ser obtido a partir de múltiplas fontes (YIN, 2008).

Adiante, listamos algumas características dos estudos de caso (EISENHARDT, 1989; SILVA et al., 2012; YIN, 2008):

- Foco em eventos contemporâneos com múltiplas fontes de evidência.
- Emprego de vários métodos para coleta e análise de dados.
- Útil para estudar por que e como determinados fenômenos ocorrem.
- Foco nos processos ao longo do tempo e não na frequência ou incidência.
- Fenômeno estudado em seu contexto natural.
- Busca pela compreensão da realidade sem adotar controles experimentais ou intervenções.

Muito adotado em campos como psicologia, sociologia, ciência política, antropologia, serviço social, administração, economia, educação, enfermagem e políticas públicas (YIN, 2008), o estudo de caso foi escolhido para esta pesquisa como método para avaliar a pertinência do framework proposto em um contexto real, caracterizado como socialmente complexo.

Vale mencionar, ainda, que fomos além da tipologia clássica e adotamos para a realização do estudo de caso uma combinação de evidências quantitativas e qualitativas. As primeiras foram essenciais para a ponderação dos itens que compõem o framework e a hierarquização das questões. As evidências qualitativas, por sua vez, foram coletadas por meio de grupos focais e de percepções a respeito do questionário.

A opção pelo estudo de caso pode ser explicada, ainda, por suas diferentes aplicações no contexto deste estudo. Yin (2008) nos esclarece que os estudos de caso têm um lugar distinto na pesquisa avaliativa e que existem pelo menos quatro diferentes aplicações, quais são:

- Explicar as conexões causais presumidas nas intervenções sobre a vida real que são muito complexas para as estratégias baseadas em experimentos.
- Descrever uma intervenção e o contexto da vida real na qual ela ocorreu.
- Ilustrar tópicos em uma avaliação de modo descritivo.
- Clarificar aquelas situações nas quais a intervenção sendo avaliada não possui resultados claros e distintos.

Nesta pesquisa, não realizamos uma profunda intervenção sobre a realidade de uma organização. Restringimo-nos ao seu diagnóstico, o que pode ser considerado o princípio de uma intervenção. Por isso, não há que se falar nas três últimas aplicações listadas acima. A primeira, contudo, resume parcialmente aquilo que fizemos neste trabalho. Propusemos um framework baseado em pesquisa bibliográfica e, depois, reunimos profissionais que atuam em sistemas sociotécnicos complexos para que, a partir das percepções originadas de suas experiências, avaliassem tanto sua forma quanto seu conteúdo. Esta avaliação não poderia ter sido conduzida de forma diferente, pois inexisteriam condições para analisar longitudinalmente

os efeitos das intervenções. No futuro, se tais intervenções ocorrerem, isto poderá ser feito com instrumentos alternativos, até mais apropriados que um estudo de caso.

### 3.2.4 Levantamento

Nos levantamentos, busca-se interrogar diretamente as pessoas a respeito do objeto de investigação (GIL, 2009). Os resultados obtidos permitem identificar características e aspectos dos componentes do contexto pesquisado para a caracterização de seus segmentos. Em um levantamento, cada aspecto, conceito ou ideia investigado é operacionalizado de forma clara e transformado em variáveis que possam ser observadas e medidas objetivamente durante a aplicação dos questionários (SILVA et al., 2012).

Gil (2009) pontua o que, em sua opinião, são as principais vantagens dos levantamentos:

- Conhecimento direto da realidade, pois, à medida que as próprias pessoas informam acerca de seu comportamento, crenças e opiniões, a investigação torna-se mais livre de interpretações calcadas no subjetivismo dos pesquisadores.
- Economia e rapidez, pois, quando se tem uma equipe de entrevistadores, codificadores e tabuladores devidamente treinados, torna-se possível a obtenção de grande quantidade de dados em curto espaço de tempo.
- Quantificação, pois os dados obtidos mediante levantamento podem ser agrupados em tabelas, possibilitando sua análise estatística.

Além disso, propõe etapas sequenciais para a operacionalização de um levantamento (GIL, 2009):

- i. Especificação dos objetivos
- ii. Operacionalização dos conceitos e variáveis
- iii. Elaboração do instrumento de coleta de dados
- iv. Pré-teste do instrumento
- v. Seleção da amostra
- vi. Coleta e verificação dos dados
- vii. Análise e interpretação dos dados
- viii. Apresentação dos resultados

Nesta pesquisa, não nos propomos a observar ou mensurar de forma abrangente o perfil de resiliência de uma organização e, sim, de sua jornada em direção à I4.0 no que diz respeito à aderência de projetos e iniciativas a princípios de FH e capacidades de resiliência. Por isso, optamos pela operacionalização de conceitos e variáveis, definindo-os teoricamente a partir da pesquisa bibliográfica. Elicitamos, então, categorias e assertivas e as estruturamos em questionários para coleta de dados tal qual propõem Hollnagel (2015) e Patriarca et al. (2017). Em nosso trabalho, nunca foi a intenção traçar fiel e completamente o perfil de resiliência de uma organização, mas, sim, propor e avaliar métodos e instrumentos que possam contribuir

com levantamentos e análises que persigam esse objetivo. Nesse sentido, os questionários permitiram experimentar o método em um contexto real para sua posterior avaliação.

## 4 PROCEDIMENTOS PARA CRIAÇÃO, REVISÃO E VALIDAÇÃO DO FRAMEWORK

Patriarca, Di Gravio, Constantino, Falegnami e Bilotta, em artigo publicado em 2017, propõem um framework analítico para avaliar a resiliência organizacional pela combinação da Escala de Análise de Resiliência (RAG) (HOLLNAGEL, 2015) e da Análise Hierárquica de Processos (AHP) (SAATY, 2004). Seu trabalho baseia-se em alguns pressupostos fundamentais:

- que a engenharia de resiliência (ER), enquanto paradigma para gestão da segurança, se concentra no enfrentamento da complexidade para o alcance do sucesso, mesmo considerando diversos objetivos conflitantes;
- que os modernos sistemas sociotécnicos devem ser resilientes para lidar com a variabilidade das atividades cotidianas, o forte acoplamento, a natureza subespecificada do trabalho e as interações não lineares entre os agentes; e
- que, no nível organizacional, a resiliência pode ser descrita pela combinação de quatro capacidades: monitorar, responder, aprender e antecipar.

Por meio do framework, os pesquisadores oferecem uma abordagem para definir as habilidades resilientes que permite traçar um perfil de resiliência em diferentes níveis de abstração, identificar pontos fortes e fracos de um sistema e delinear ações para aumentar sua capacidade de adaptação.

Ao analisarmos a publicação, identificamos de imediato o potencial para contribuir com a instrumentalização dos objetivos geral e específicos de nossa pesquisa. Após averiguar sua relevância científica, decidimos basear parte de nossa abordagem metodológica neste framework.

Antes de adentrarmos às especificidades das tarefas operacionais, fazemos um parêntese para lembrar os principais elementos do RAG e apresentar a AHP, métodos nos quais se baseiam o framework proposto por Patriarca et al. (2017).

### 4.1 ESCALA DE ANÁLISE DE RESILIÊNCIA (RAG)

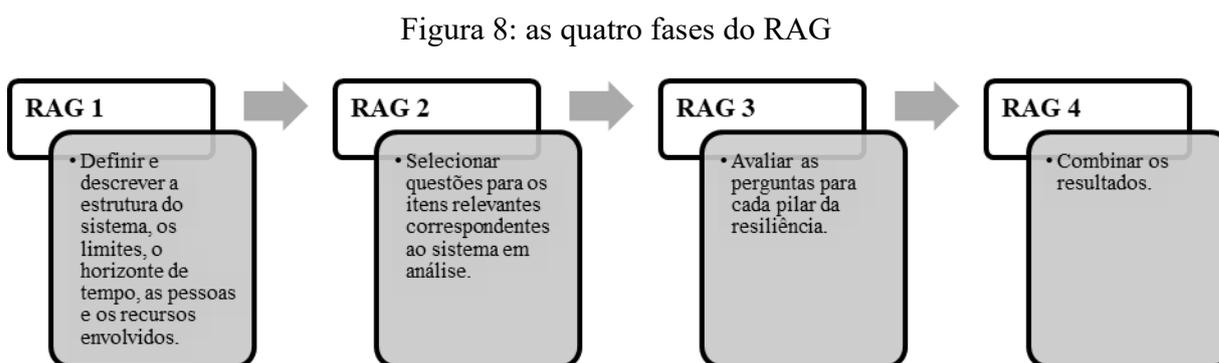
Um dos principais desafios da ER, desde quando proposta como área de investigação científica, é a associação da resiliência a atributos claramente descritíveis e observáveis. Orientado por este desafio, Hollnagel (2015) propôs a decomposição da resiliência em quatro pilares<sup>10</sup> ou capacidades. Em sua visão, os sistemas resilientes devem ser capazes de responder a qualquer tipo de evento, monitorar as evoluções em curso, antecipar ameaças e oportunidades

---

<sup>10</sup> Conteúdo complementar e mais detalhado a respeito do RAG e dos quatro pilares da resiliência podem ser consultados no capítulo sobre Engenharia de Resiliência (ER) que compõem a base teórico-conceitual desta tese.

futuras e aprender a partir das falhas e dos sucessos passados. Patriarca et al. (2017) nos lembram que a validade dos quatro pilares da resiliência é amplamente reconhecida por representar como as pessoas se sentem diante de eventos cotidianos inesperados e nunca vivenciados e por promover estratégias proativas para gestão operacional. O framework SCALES (HERRERA et al., 2014) e o questionário ADAPTER (VAN DER BEEK; SCHRAAGEN, 2015), por exemplo, são instrumentos concebidos e criados com base nos quatro pilares da resiliência.

O RAG foi proposto como um instrumento para compreender e monitorar a resiliência baseado em seus quatro pilares. Ele fornece uma base para o desenvolvimento de questões específicas ao sistema que se pretende analisar. O método possui quatro fases, que apresentamos na Figura 8:



Fonte: adaptado de Patriarca et al. (2017) e Hollnagel (2015)

O contexto do qual emergiu a ER enquanto campo de investigação científica, seus principais autores e suas definições basilares são apresentados na seção 2.3 desta tese. Este conteúdo fornece ao leitor sustentação para melhor compreender as origens e a motivação do RAG.

#### 4.2 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP)

A AHP é uma técnica de tomada de decisão multicritério proposta por Saaty (2004) que objetiva reduzir decisões complexas a uma série de comparações par a par. A motivação para a sua criação deriva do fato de os processos de tomada de decisão envolverem quase sempre múltiplos critérios e alternativas com diferentes graus de relevância. Para tomar uma decisão, nós precisamos normalmente conhecer o problema, a necessidade e o propósito da decisão, os critérios de decisão, seus subcritérios, além dos *stakeholders* e grupos afetados e,

obviamente, as alternativas de ação. Nós, então, determinamos a melhor alternativa. Decorre deste mix a importância de mensurarmos critérios e subcritérios por meio de métodos e escalas de medição para classificação das alternativas de decisão (SAATY, 2004, 2008).

Os critérios, contudo, podem ser intangíveis e não possuem medidas que sirvam de orientação para a classificação de alternativas. A ponderação das alternativas, nesses casos, é uma tarefa desafiadora (SAATY, 2008).

Saaty (2004, 2008) explica que é comum acreditar que as medições exijam sempre uma escala com um valor nulo e uma unidade que se apliquem a objetos ou fenômenos. A própria ciência, durante muito tempo, nos levou a acreditar que tudo poderia ser medido matematicamente. Contudo, o número de coisas que nós não sabemos como medir é infinitamente maior que o de coisas que sabemos e é altamente improvável que nós encontremos formas de medir todas as coisas por meio de escalas físicas com uma unidade. As nossas mentes, na visão do pesquisador, podem ser guias precisos com seus julgamentos dependendo do quão bem conhecemos o fenômeno no qual aplicar a medição e quão bem nossos julgamentos representam nosso entendimento. Por isso, deveríamos aprender sobre como derivar prioridades relativas na tomada de decisão.

A base da abordagem de Saaty (2004, 2008), então, reside no fato de os julgamentos expressos na forma de comparações serem fundamentais na nossa constituição biológica e nós os fazemos a todo o momento. Essas comparações implicam que tudo o que conhecemos é compreendido em termos relativos a outras coisas. Para fazer sistematicamente essas comparações, ele explica que nós precisamos de uma escala numérica que indica quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre outro em relação ao critério ou propriedade para o qual eles estão sendo comparados. Surgiu daí a AHP.

Os passos fundamentais do método são (DI GRAVIO et al., 2016; SAATY, 2008):

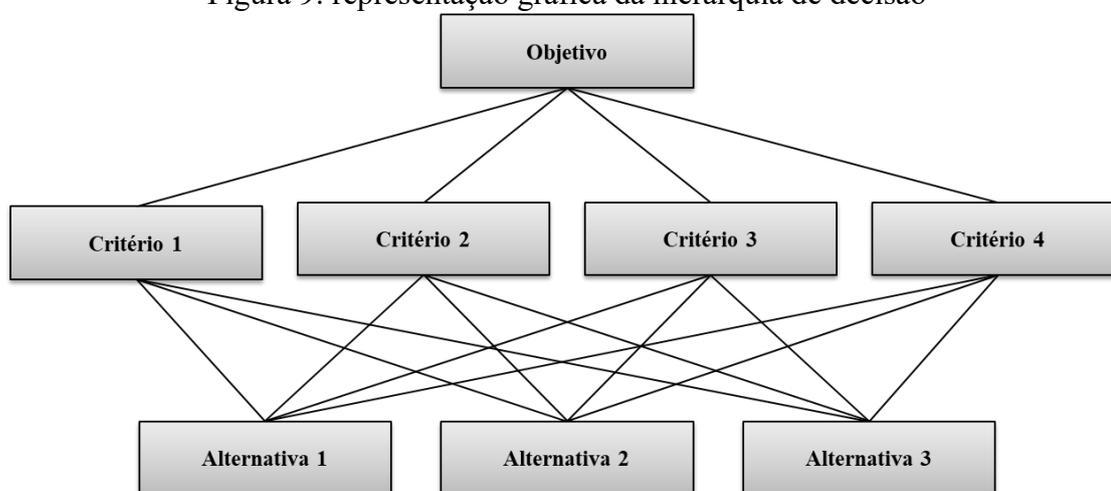
- i. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento procurado.
- ii. Estruturar a hierarquia de decisão do topo com o objetivo do processo, passando pelos níveis intermediários (critérios dos quais dependem os elementos subsequentes) até o nível mais baixo (que geralmente é o conjunto de alternativas).
- iii. Elaborar um conjunto de matrizes para comparação par a par. Cada elemento em um nível superior é comparado com os elementos no nível imediatamente abaixo. As comparações expressam um julgamento relativo entre dois elementos em uma escala de 9 graus de importância (1 = igual, 3 = moderado, 5 = forte, 7 = muito forte, 9 = extremo) e o valor recíproco é atribuído à comparação inversa.

O método permite lidar com problemas que envolvem tanto aspectos tangíveis (dados e medidas quantitativas) quanto intangíveis (indicadores genéricos, experiências, estimativas, avaliações qualitativas de especialistas), pois os envolvidos podem criar medidas para as

variáveis qualitativas baseadas em julgamentos subjetivos (RIBEIRO; ALVES, 2016; SAATY, 2004, 2008).

Os critérios de julgamento são estruturados por meio da hierarquia de decisão, onde o objetivo principal, que remete ao problema, é decomposto em vários critérios necessários ao seu alcance. Esses critérios, por sua vez, podem também ser decompostos em outros elementos e assim sucessivamente até que se chegue a uma composição satisfatória. A Figura 9 ilustra graficamente esta hierarquia de decisão.

Figura 9: representação gráfica da hierarquia de decisão



Fonte: adaptado de Saaty (2004)

Os critérios são, então, avaliados pelos envolvidos por meio das matrizes de decisão. Na avaliação, dois elementos de um mesmo nível (e.g., alternativas) são comparados par a par em relação ao elemento imediatamente superior (e.g., critério). Durante a dinâmica, cada alternativa disposta na linha é comparada com seus pares dispostos nas colunas, registrando-se o valor do julgamento na posição da matriz referente aos elementos comparados.

Na Tabela 1, demonstramos genericamente uma matriz de julgamento com  $n$  alternativas ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ) que compõem o critério  $C_1$ . Neste exemplo,  $x_{ij}$  representam os valores dos julgamentos, onde  $i$  e  $j$  variam de 1 a  $n$ .

Tabela 1: matriz de julgamento AHP

$C_1$	$a_1$	$a_2$	...	$a_n$
$a_1$	1	$x_{12}$	...	$x_{1n}$
$a_2$	$1/x_{12}$	1	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...
$a_n$	$1/x_{1n}$	$1/x_{2n}$	...	1

Fonte: adaptado de Ribeiro e Alves (2016)

Ribeiro e Alves (2016) observam que, de acordo com Saaty (2004), a matriz de comparação promove relações recíprocas. Isto é, para cada julgamento registrado na linha  $i$  e coluna  $j$  ( $x_{ij}$ ), há um valor igual a  $1/x_{ij}$  na posição recíproca ( $x_{ji}$ ). Disto decorre que, dado que os elementos satisfazem a relação  $x_{ij} \times x_{ji} = 1$  e  $x_{ii} = 1$ , somente  $n(n-1)/2$  comparações são necessárias, onde  $n$  é o número de elementos comparados (PATRIARCA et al., 2017).

No Quadro 15, apresentamos a escala de julgamento AHP tal qual proposta pelo seu autor. A partir da escala numérica de 1 a 9, recomenda-se que as ponderações sejam feitas considerando prioritariamente os números ímpares para assegurar distinção adequada dos pontos de medição. Contudo, os valores intermediários (i.e., pares) podem ser usados em situações que ensejam sua necessidade (e.g., quando os decisores não chegam a um consenso entre seus julgamentos).

Quadro 15: escala de julgamento AHP

Escala numérica	Escala conceitual	Descrição
1	Igual	Os dois elementos contribuem igualmente para o alcance do objetivo.
3	Moderada	O elemento comparado é ligeiramente mais relevante que o outro.
5	Forte	O elemento comparado é fortemente mais relevante que o outro.
7	Muito forte	O elemento comparado é muito mais forte que o outro e isto pode ser demonstrado na prática.
9	Absoluta	As evidências que favorecem um elemento sobre o outro são as maiores possíveis em uma ordem de afirmação.

Fonte: adaptado de Saaty (2008) e Ribeiro e Alves (2016)

Depois de julgados todos os elementos das matrizes, o método prescreve o cálculo das prioridades locais e globais para obter a contribuição relativa dos elementos em relação aos objetivos imediato e principal (RIBEIRO; ALVES, 2016). Isto é feito pelo cálculo das prioridades de cada elemento em relação ao critério ao qual pertence, de onde se obtém a

prioridade média local. Para o cálculo da prioridade global, que é relativa ao objetivo principal, multiplica-se a prioridade média local pelas prioridades médias locais do elemento superior (i.e., do critério).

As prioridades locais são calculadas a partir do vetor de prioridade, chamado de autovetor da matriz, realizando-se o seguinte passo-a-passo:

- i. Somar os valores dos julgamentos registrados em cada coluna da matriz (Tabela 2).
- ii. Criar uma matriz normalizada, dividindo o valor atribuído a cada elemento da matriz pelo total de sua respectiva coluna (Tabela 3).
- iii. Calcular a média aritmética dos valores preenchidos para cada elemento na linha correspondente.

Tabela 2: exemplo de matriz principal

Matriz principal	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>
a <sub>1</sub>	1	9	5	2	1	1	1/2
a <sub>2</sub>	1/9	1	1/3	1/9	1/9	1/9	1/9
a <sub>3</sub>	1/5	2	1	1/4	1/4	1/3	1/9
a <sub>4</sub>	1/2	9	3	1/2	1/2	1	1/3
a <sub>5</sub>	1	9	4	1	1	2	1/2
a <sub>6</sub>	1	9	3	1/2	1/2	1	1/3
a <sub>7</sub>	2	9	9	2	2	3	1
<b>Total</b>	<b>5,811</b>	<b>48,000</b>	<b>25,333</b>	<b>9,444</b>	<b>5,361</b>	<b>8,444</b>	<b>2,889</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3: exemplo de matriz normalizada

Matriz normalizada	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>
a <sub>1</sub>	0,172	0,188	0,197	0,212	0,187	0,118	0,173
a <sub>2</sub>	0,019	0,021	0,013	0,012	0,021	0,013	0,038
a <sub>3</sub>	0,034	0,042	0,039	0,035	0,047	0,039	0,038
a <sub>4</sub>	0,086	0,188	0,118	0,106	0,093	0,118	0,115
a <sub>5</sub>	0,172	0,188	0,158	0,212	0,187	0,237	0,173
a <sub>6</sub>	0,172	0,188	0,118	0,106	0,093	0,118	0,115
a <sub>7</sub>	0,344	0,188	0,355	0,318	0,373	0,355	0,346
<b>Vetor de prioridade</b>	<b>0,178</b>	<b>0,020</b>	<b>0,039</b>	<b>0,118</b>	<b>0,189</b>	<b>0,130</b>	<b>0,326</b>
<b>Prioridade local</b>	<b>17,8%</b>	<b>2,00%</b>	<b>3,9%</b>	<b>11,8%</b>	<b>18,9%</b>	<b>13,0%</b>	<b>32,6%</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Vargas (2010) explica que os valores obtidos pelo vetor de prioridade são relevantes, pois determinam a participação ou o peso do critério ou do elemento para o alcance do objetivo estabelecido.

Em seguida, para garantir a acurácia dos dados e verificar se as decisões dos participantes são consistentes entre si, realiza-se a análise de consistência. Saaty (2004, 2008) sugere uma tolerância de 10% para as inconsistências, valor que entendemos ser razoável.

O primeiro passo desta análise consiste no cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento ( $\lambda_{Max}$ ). Ele é obtido pelo somatório do produto de cada total da coluna  $j$  da matriz original de julgamento (anterior à normalização) por cada elemento na posição  $j$  do vetor de prioridade (RIBEIRO; ALVES, 2016; VARGAS, 2010). No Quadro 16, apresentamos um exemplo do cálculo aqui descrito.

Quadro 16: exemplo de cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento

<b>Vetor de prioridade</b>	0,178	0,020	0,039	0,118	0,189	0,130	0,326
<b>Total (Soma)</b>	5,811	48,000	25,333	9,444	5,361	8,444	2,889
<b>Maior autovalor (<math>\lambda_{Max}</math>)</b>	$[(0,178 \times 5,811) + (0,020 \times 48,000) + (0,039 \times 25,333) + (0,118 \times 9,444) + (0,189 \times 5,361) + (0,130 \times 8,444) + (0,326 \times 2,889)] = 7,14$						

Fonte: adaptado de Vargas (2010)

O índice de consistência, por fim, é calculado pela equação

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

onde CI é o índice de consistência e  $n$  o número de critérios avaliados. Considerando os mesmos valores adotados no exemplo apresentado no Quadro 16, o índice de consistência seria

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} = \frac{7,14 - 7}{7 - 1} = 0,023$$

A avaliação de fato da consistência é realizada pelo cálculo da taxa de consistência (CR), determinada pela razão entre o índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatória (RI). Conforme já dissemos, Saaty (2004, 2008) sugere considerar a matriz consistente quando a razão for inferior a 10%.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O valor de RI é pré-determinado pelo índice de consistência com base no número de critérios avaliados. O Quadro 17 apresenta os valores de RI para uma análise com até 10 critérios.

Quadro 17: índices de consistência aleatória (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: adaptado de Saaty (2004)

Considerando os valores do exemplo demonstrado acima, a taxa de consistência seria

$$CR = \frac{CR}{RI} = \frac{0,023}{1,35} = 0,01734 = 1,73\%$$

Por ser inferior a 10%, tal matriz seria considerada consistente e, dela, seria possível extrair a probabilidade de cada alternativa atender à meta estabelecida. Quanto maior a probabilidade, maior a contribuição daquela alternativa para o alcance do objetivo previamente estabelecido.

#### 4.3 RAG COM AHP

Quando combinado com o RAG, de acordo com a proposta de Patriarca et al. (2017), a AHP permite combinar objetivamente julgamentos subjetivos e determinar os pesos relativos de cada variável cujos dados foram coletados por meio de um levantamento. Em relação às fases do RAG, a técnica contribui com a estruturação da segunda (RAG 2 - seleção dos itens e das questões) por meio de um framework sistemático para determinar e ponderar o conjunto final de questões. Além disso, fornece os dados necessários para a terceira (RAG 3 - classificação das questões) e influencia inerentemente a quarta (RAG 4 - análise e apresentação dos resultados).

Patriarca et al. (2017) sugerem os seguintes passos para a condução da AHP no contexto de uma aplicação do RAG:

- i. AHP 1 – Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento procurado.
- ii. AHP 2 – Estruturar a hierarquia de decisão (ou do problema).
- iii. AHP 3 – Elaborar um conjunto de matrizes para comparação par a par.
- iv. AHP 4 – Ponderar as prioridades no nível imediatamente abaixo por meio das prioridades obtidas pelas comparações.

Em termos práticos, é possível ranquear fatores e excluir da análise categorias que receberem pesos mais baixos que outros sob a suposição de que seu efeito sobre a resiliência organizacional é limitado.

Adiante, demonstramos a racional que nos orientou na aplicação experimental do método com o objetivo de propor um framework que oriente pesquisadores e profissionais a traçarem um perfil de resiliência associado ao desenvolvimento e à incorporação de tecnologias digitais e sua influência sobre fatores humanos, segurança operacional e saúde ocupacional.

#### **4.3.1 Caracterização do domínio (RAG 1)**

Na primeira etapa do RAG, deve-se definir e evidenciar o campo de aplicação da análise, contextualizando as perguntas a serem feitas. Em nossa pesquisa, guiamo-nos pela problemática evidenciada em publicações recentes (e.g. REIMAN et al., 2021; NEUMANN et al., 2021 ; KADIR et al., 2019a ; LONGO et al., 2019) acerca do impacto das iniciativas de digitalização na indústria de manufatura sobre áreas como fatores humanos, saúde e segurança dos trabalhadores e meio ambiente. Esta problemática nos ajudou a delimitar os temas que trataríamos em nosso trabalho.

Desde o início dos trabalhos, almejávamos obter resultados que não só contribuíssem com o avanço das fronteiras científicas, mas também fornecessem instrumentos práticos aos profissionais envolvidos no cotidiano da indústria de manufatura. Este desejo nos fez optar pela ciência do design como paradigma metodológico. Em razão de atuarmos em projetos de pesquisa e desenvolvimento junto a empresas do setor de O&G que operam em território brasileiro, identificamos a oportunidade de convidar pesquisadores e profissionais deste setor para, com seus conhecimentos e experiências, contribuir com a pesquisa.

Assim, contamos com esta ajuda em todas as etapas da aplicação do método proposto por Patriarca et al. (2017), o que apresentamos com mais detalhe a seguir.

##### *4.3.1.1 Estrutura e limites do sistema*

As empresas que mencionamos acima integram um consórcio responsável desde 2013 pela exploração de petróleo em campos do pré-sal no litoral brasileiro. São corporações multinacionais caracterizadas como sistemas sociotécnicos complexos, fortemente acoplados e cujas atividades, principalmente as realizadas em ambientes *offshore*<sup>11</sup>, são críticas em segurança.

---

<sup>11</sup> No setor de petróleo, o termo *offshore* refere-se às operações de exploração e produção realizadas ao largo da costa marítima e em alto mar (MORAIS, 2013).

Nessas empresas, a preocupação com a segurança operacional é constante, pois são altamente reguladas e acidentes e incidentes podem ocasionar riscos aos trabalhadores, ao meio ambiente, além de elevados prejuízos financeiros.

Bento et al. (2021) defendem que a resiliência é um tema de interesse a diferentes áreas, mas que fatores internos e externos fazem com que ela seja particularmente interessante para a indústria de O&G. Eles explicam que, em nível operacional, a complexidade e o risco são inerentes à produção de petróleo e que fatores externos suscitam preocupações com a resiliência organizacional. Eles citam dois: os ciclos de flutuação no preço das matérias primas e derivados e as pressões sociais em favor da substituição dos combustíveis fósseis pelos renováveis (BENTO; GAROTTI; MERCADO, 2021).

Lu et al. (2019) também apontam a instabilidade desta indústria nos últimos anos decorrente da flutuação do preço do petróleo. Eles afirmam que muitas empresas enfrentaram e ainda enfrentam dificuldades financeiras, que reverberam sobre suas operações e provocam até o aumento das demissões de funcionários. Além disso, as flutuações na oferta e demanda inibem investidores que, muitas vezes, preferem alocar recursos em outros setores (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

A visão de Sell et al. (2021) a respeito deste setor volta-se mais à segurança operacional. Os pesquisadores afirmam que a complexidade e a instabilidade são elementos presentes na indústria de O&G que dificultam prever e lidar com todos os elementos e situações que possam afetar a segurança de suas operações. Eles defendem, ainda, ser essencial classificar e analisar os fatores que determinam o desempenho resiliente para subsidiar intervenções e aumentar o potencial de resiliência das organizações deste setor.

A McKinsey aponta ainda que a indústria de O&G é a única que perdeu eficiência nos últimos 100 anos em comparação com outras intensivas em ativos (ou capital) (HANDSCOMB; SHARABURA; WOXHOLTH, 2016). Isto faz com que, associado às prolongadas baixas no preço do petróleo e às crescentes restrições regulatórias, as empresas sejam instigadas a se tornarem mais inovadoras para alcançar metas de negócios de longo prazo. De acordo com Wanasinghae et al. (2020), tais metas incluem, mas não se limitam a:

- redução dos riscos à saúde, à segurança e ao meio ambiente;
- aumento da vida útil dos campos de produção;
- minimização dos custos operacionais e de capital;
- aumento da confiabilidade e da operabilidade dos equipamentos para reduzir custos com manutenção e o tempo de inatividade das instalações;
- aprimoramento do *compliance* regulatório; e
- aumento dos níveis de produção e de receita.

Neste ambiente, muitas empresas sentiram-se forçadas a acelerar a busca por eficiência, cortando custos, aumentando a produção e maximizando lucros. Talvez esteja aí o problema, pois, tal qual já extensivamente abordado pelos teóricos da Engenharia de Resiliência (e.g., WOODS & HOLLNAGEL, 2006; HOLLNAGEL, 2006; WOODS, 2006; PARIÈS, 2006; DEKKER ET AL., 2008), é comum nas organizações certo conflito entre eficiência e segurança.

#### *4.3.1.2 Pessoas e recursos envolvidos*

Neste trabalho, não pretendemos obter como resultado um amplo diagnóstico a respeito da resiliência em empresas do setor de O&G. Este seria um objetivo digno e valioso, pois relevante tanto para a academia quanto para o setor. Contudo, entendemos desde o princípio como mais importante experimentar e aperfeiçoar instrumentos e métodos de pesquisa para que eles, sim, subsidiem trabalhos posteriores que retratem o setor com fidedignidade e profundidade. Por isso, entendemos por bem buscar a contribuição de profissionais que atuam no setor – tanto profissional quanto academicamente. Os seus conhecimentos e experiências são fundamentais para os propósitos da pesquisa. A seleção dessas pessoas resultou em uma amostra não probabilística.

Gil (2009) nos explica a diferença entre os dois tipos de amostra:

- probabilística – baseada em procedimentos estatísticos, onde as escolhas são rigorosamente científicas;
- não probabilística – baseada em critérios do pesquisador, não possui necessariamente fundamentação matemática ou estatística.

As amostras probabilísticas permitem que se faça inferência estatística e a generalização dos resultados encontrados para todo o restante da população (SILVA et al., 2012). Embora os resultados obtidos por esta pesquisa representem, no nosso entendimento, a realidade de muitas organizações de alta complexidade e críticas em segurança, não podemos afirmar ser possível generalizá-los amplamente.

Para contribuir com seus conhecimentos e experiências para o alcance dos objetivos geral e específicos da pesquisa, estabelecemos uma amostra não probabilística composta por acadêmicos e profissionais de diferentes formações e que atuam em diversas áreas, formando um interessante grupo interdisciplinar. Entendemos ser a melhor estratégia, pois aderente ao paradigma metodológico (i.e., ciência do design), à abordagem de pesquisa (i.e., qualitativa) e às características de grande parte das pesquisas em ER, FH, I4.0, segurança operacional e saúde ocupacional.

### 4.3.2 Seleção das questões relevantes (RAG 2)

Nos estudos organizacionais, o método de pesquisa e seus procedimentos são úteis à medição de variáveis pertinentes ao problema investigado. Por meio delas, conceitos e ideias (i.e., elementos abstratos) são operacionalizados, definidos de forma clara e transformados em uma ou mais variáveis que possam ser observadas e/ou medidas na realidade de forma precisa. Com base em Saccol (2009), Silva et al. (2012) nos apresentam as definições de constructos e variáveis:

- Constructo é uma definição criada para representar, de forma objetiva, uma determinada ideia ou conceito em um projeto de pesquisa. Em geral, um construto é medido por um conjunto de variáveis.
- Variável é uma característica, um traço ou atributo que pode ser medido e que, como o próprio nome diz, pode variar, isto é, apresentar valores diferentes.

Constructos são definições mentais de objetos ou eventos que podem sofrer alguma variação. O termo constructo é usado para denotar variáveis conceitualmente definidas (SCHWAB, 2005). A validação de constructos, por sua vez, envolve procedimentos para desenvolver medidas e fazer inferências sobre sua validade. Três passos normalmente compõem este processo de validação:

- i. Definir o constructo e desenvolver seu significado conceitual.
- ii. Desenvolver/escolher medidas consistentes com a definição.
- iii. Realizar análises lógicas e testes empíricos para determinar se as observações obtidas nas mensurações se conformam com a definição conceitual.

Schwab (2005) observa que as definições conceituais úteis identificam a natureza do constructo pela especificação de seu significado. Elas determinam o que está incluído no constructo e o que foi excluído de sua definição para evitar potenciais confusões. O pesquisador nos apresenta um exemplo ilustrativo. Suponha que alguém queira medir a satisfação de proprietários com seus computadores pessoais. Esta pessoa pode estar interessada nas características que influenciam a satisfação e, então, considerá-las como variáveis dependentes. Ou ela pode estar interessada nas consequências da satisfação dos proprietários de computadores e, então, considerar a satisfação como uma variável independente. Em ambos os eventos deste exemplo, o observador definiria o constructo como (SCHWAB, 2005, p. 27):

A satisfação com computadores pessoais é uma resposta emocional resultante de uma avaliação da velocidade, da durabilidade e do preço inicial, mas não a aparência de um computador pessoal. Espera-se que essa avaliação dependa da variação nas atuais características do computador (e.g. velocidade) e nas expectativas que uma pessoa tem sobre aquelas características. Quando características alcançam ou excedem as expectativas, espera-se que a avaliação seja positiva (satisfação). Quando as características ficam aquém das expectativas, espera-se que a avaliação seja negativa

(insatisfação). As pessoas com mais instrução terão maiores expectativas e, por consequência, menores níveis de satisfação com os computadores que aquelas com menos instrução.

Uma variável, por sua vez, é um conceito, um substantivo que representa classes de objetos e que varia ou muda de uma instância para outra. Ela pode apresentar diferenças de valor, geralmente em relação à magnitude, força ou direção. Idade, altura e peso são exemplos de variáveis usadas normalmente para descrever as pessoas. Número de funcionários, número de contas pendentes, receita bruta e ativos totais são usadas para descrever as organizações. A recíproca de uma variável é uma constante, algo que não muda e que, por isso, não é útil para abordar questões de pesquisa (RICHARDSON; PERES, 1999; SCHWAB, 2005; ZIKMUND et al., 2010).

Zikmund et al. (2010) consideram a teoria fundamental na construção de processos que incluem variáveis independentes e dependentes. Eles afirmam que gestores e pesquisadores devem ter o cuidado de identificar variáveis relevantes e acionáveis. Relevante significa que uma mudança na variável importa e acionável significa que uma variável pode ser controlada pela atividade gerencial. Variáveis supérfluas são aquelas que não são relevantes nem acionáveis e não devem ser incluídas em um estudo. A teoria deve ajudar a distinguir variáveis relevantes das supérfluas.

Neste sentido, buscamos apoio no RAG e na AHP, de acordo com o método proposto por Patriarca et al. (2017), para identificar variáveis dependentes e independentes que pudessem ser associadas a diferentes constructos concomitantemente. Esses constructos, conforme adiantamos na seção 3.2.2, são os listados a seguir, além de suas variações:

- resiliência organizacional;
- fatores humanos;
- saúde ocupacional;
- segurança operacional;
- transformação digital;
- digitalização;
- Indústria 4.0.

Nas próximas seções, detalhamos como a AHP nos orientou no desenvolvimento da segunda fase do RAG. O leitor entenderá como a pesquisa bibliográfica nos permitiu definir os principais constructos da pesquisa e determinar as variáveis relevantes ao fenômeno investigado, além de compreender como estruturamos hierarquicamente tais variáveis em categorias e assertivas que foram analisadas por especialistas e ponderadas por meio de matrizes de avaliação.

#### 4.3.2.1 Definição dos constructos e determinação das variáveis (AHP 1)

Nas seções anteriores deste capítulo, apresentamos o passo-a-passo da pesquisa bibliográfica que conduzimos para definir os constructos e identificar as variáveis associadas aos temas da pesquisa que os interseccionam. Aqui, apresentamos de que forma esse conjunto de variáveis subsidiou a proposição de assertivas que, mais adiante, viriam a compor os instrumentos para coleta de dados essenciais às nossas experimentações.

Ao reunirmos um volume suficiente de variáveis obtidas pela análise das publicações selecionadas na pesquisa bibliográfica, procedemos com sua organização para posterior classificação. A Figura 10 apresenta uma nuvem de termos gerada pela redação dessas variáveis. A multiplicidade de termos evidencia a importância da classificação para facilitar as análises posteriores tanto pelos pesquisadores quanto pelos futuros usuários dos instrumentos propostos.

Figura 10: nuvem de termos gerada pela redação das variáveis



Fonte: elaborada pelo autor.

Amparamo-nos no método de análise temática proposto por Braun e Clarke (2006) para organizar os dados coletados, agrupá-los e, ao final, extrairmos deles temas que contribuíssem com sua organização e facilitassem sua compreensão.

Quadro 18: etapas da análise para tematização de dados

Fase	Descrição
1 Familiarização	Organização inicial, leitura e releitura dos dados, registro de ideias.
2 Geração de códigos iniciais	Codificação sistemática e transversal de aspectos interessantes do conjunto de dados e posterior agrupamento dos dados de acordo com esses códigos.
3 Busca por temas	Agrupamento dos códigos em potenciais temas, compilando todos os dados relevantes para cada um.
4 Revisão dos temas	Verificação da abrangência dos códigos em relação ao conjunto de dados, gerando um mapa temática da análise.
5 Definição e nomeação dos temas	Análise contínua para refinamento das especificidades de cada tema, gerando definições e nomes claros para cada tema.

Fonte: adaptado de Braun e Clarke (2006)

Como resultado desta análise temática, obtivemos dez temas, que passamos a chamar de categorias e, com isso, atender a um dos principais requisitos do RAG/AHP. Elencamos, assim, as seguintes categorias (ou critérios), cada qual com o seu próprio conjunto de variáveis.

- Automação digital
- Cibersegurança
- Desenvolvimento e design
- Estratégia digital
- *Forecasting* tecnológico
- Gestão de dados
- Habilidades e competências
- Parcerias para a digitalização
- Saúde ocupacional
- Segurança operacional

O Quadro 19 exemplifica a lógica adotada para organização e categorização das variáveis para posterior criação das assertivas que compõem os instrumentos para coleta de dados.

Quadro 19: exemplo da lógica adotada para organização das variáveis em categorias e criação das assertivas

Variáveis	Categoria	Assertiva
V1) Monitoramento do progresso das estratégias de digitalização (LICHTBLAU et al., 2015)	Estratégia digital	A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização (V1) por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis (V2) que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente (V3).
V2) Associação de indicadores e metas claras e quantificáveis às estratégias de digitalização (BERGHAUS; BACK, 2016)		
V3) Associação de indicadores sobre saúde, segurança e meio ambiente às estratégias de		

digitalização (VANBOSKIRK et al., 2017)		
<p><b>V1)</b> Amplitude da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados (BLOCHING et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014)</p> <p><b>V2)</b> Nível de automação da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados (LICHTBLAU et al., 2015)</p> <p><b>V3)</b> Abrangência da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados (SJÖDIN et al., 2018)</p>	Gestão de dados	Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional ( <b>V1</b> ) de forma abrangente ( <b>V3</b> ) e automatizada ( <b>V2</b> ).

Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida, associamos cada variável a uma das quatro capacidades de resiliência: responder, monitorar, antecipar e aprender. Assim como outros pesquisadores (e.g. ANDERSON et al, 2020; BERGERØD et al., 2020; HEGGELUND & WIIG, 2018), sentimos dificuldade em fazer esta associação, pois as quatro capacidades são integradas e, em muitas ocasiões, não é possível tratá-las separadamente. O próprio Hollnagel (2017) reconhece isto ao não recomendar separar as capacidades umas das outras, pois a mudança em uma função normalmente gera implicações sobre outra. Ainda assim, concordamos com Anderson et al. (2020) quando afirmam serem os frameworks instrumentos importantes para guiar coletas e análises de dados, mesmo quando se referem a sistemas complexos, onde a decomposição tende a ser crítica, pois implica em simplificação da realidade. Desta forma, a associação das variáveis a uma capacidade de resiliência se faz para fins de orientação e organização das coletas e análises de dados. É essencial que se diga, contudo, que elas são integradas e as análises devem ser baseadas, sempre que possível, em uma visão abrangente, onde todas são consideradas.

Quadro 20: exemplo da lógica adotada para associação das assertivas às capacidades de resiliência

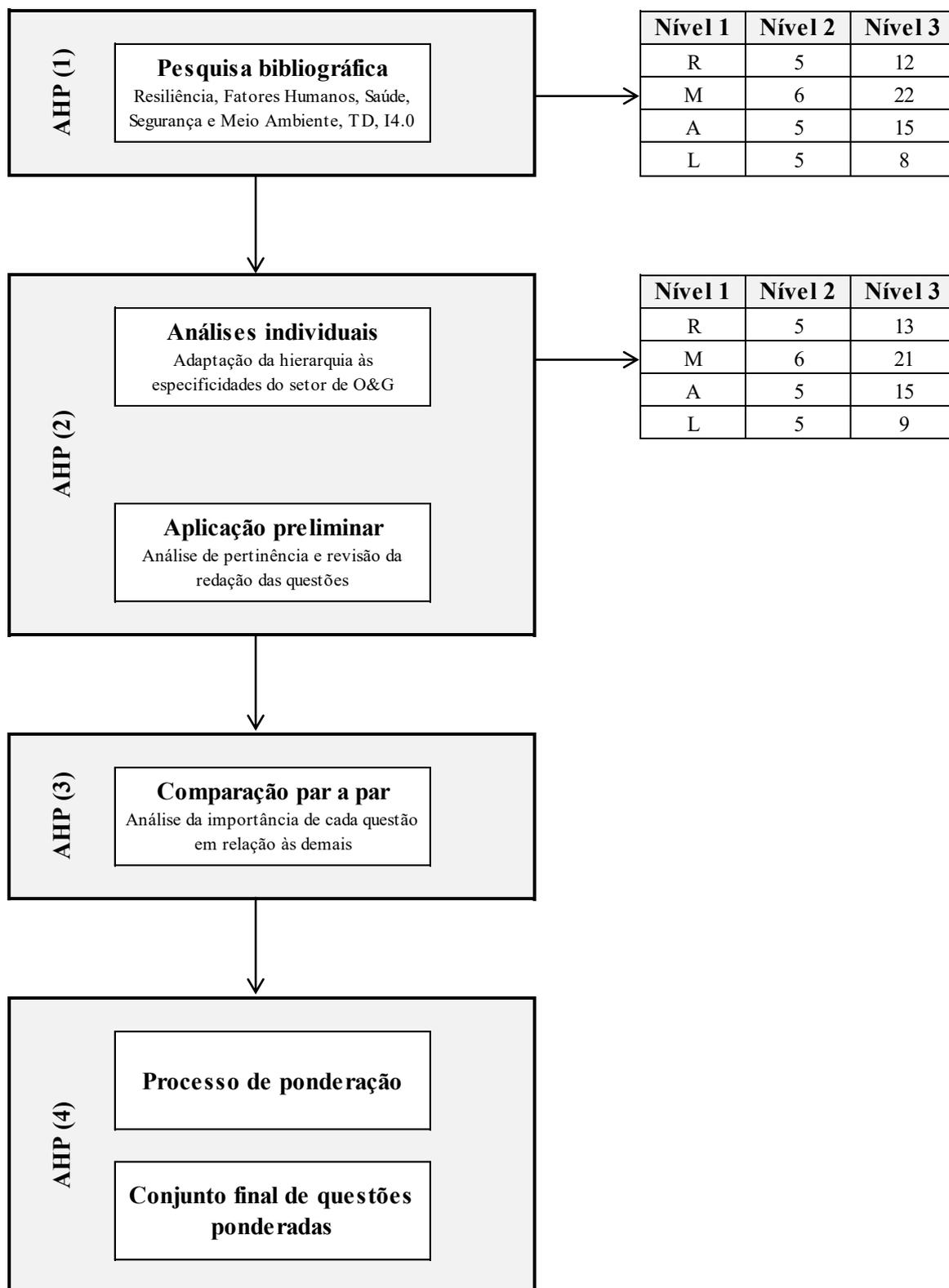
Categoria	Assertiva	Capacidade de resiliência
Estratégia digital	A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	<b>Monitorar</b> – Relaciona-se com o foco, os critérios e os limites do monitoramento.
Gestão de dados	Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	<b>Monitorar</b> – Relaciona-se com a frequência e a abrangência dos processos de monitoramento.

Fonte: elaborado pelo autor

A fim de revisar as perguntas e a classificação delas de acordo com as especificidades de organizações complexas críticas em segurança, como as do setor de O&G, contamos com a colaboração de profissionais que atuam no setor e de experientes pesquisadores afeitos ao tema que as analisaram individualmente. Posteriormente, aplicamos o questionário junto a um grupo de composição similar com o objetivo, principalmente, de avaliar as terminologias e a pertinência das questões. Ambas as dinâmicas ajudaram a aperfeiçoar o framework, tornando as redações mais claras e condizentes com a realidade.

A Figura 11 representa o fluxo processual da fase 2 do RAG baseada na AHP, onde, por meio de diferentes dinâmicas, o instrumento foi gradualmente aprimorado até chegar em sua versão final.

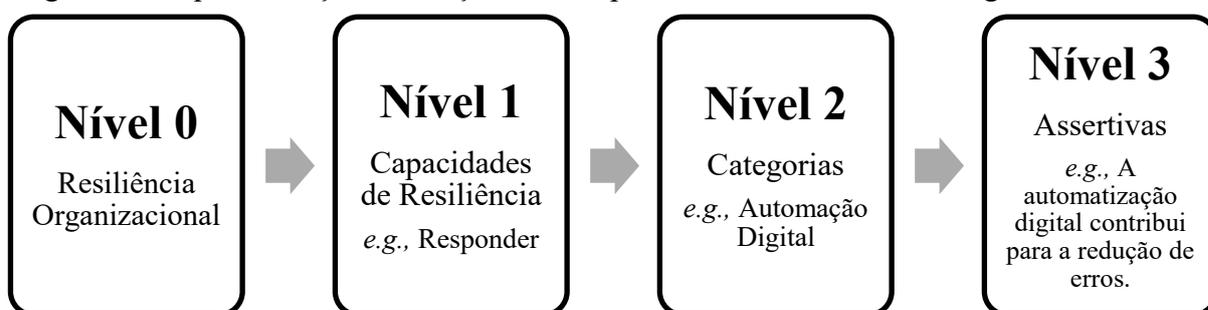
Figura 11: representação processual da fase 2 do RAG baseada na AHP



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao final desta fase, obtivemos um conjunto coeso de assertivas (3º nível), cada qual associada a uma categoria (2º nível) e a uma capacidade de resiliência (1º nível). A Figura 12 ilustra esta relação.

Figura 12: esquematização da relação entre capacidades de resiliência, categorias e assertivas



Fonte: elaborada pelo autor.

No Quadro 21, apresentamos ainda o conjunto final de categorias associadas às quatro capacidades de resiliência obtidas após os ciclos de revisão.

Quadro 21: categorias associadas às capacidades de resiliência

Responder - R	Monitorar - M	Antecipar - A	Aprender - L
R1. Automação Digital	M1. Cibersegurança	A1. Desenvolvimento e Design	L1. Cibersegurança
R2. Desenvolvimento e Design	M2. Desenvolvimento e Design	A2. Estratégia Digital	L2. Desenvolvimento e Design
R3. Estratégia Digital	M3. Estratégia Digital	A3. Habilidades e Competências	L3. Estratégia Digital
R4. Habilidades e Competências	M4. Gestão de Dados	A4. Saúde Ocupacional	L4. Habilidades e Competências
R5. Saúde Ocupacional	M5. Saúde Ocupacional	A5. Forecasting Tecnológico	L5. Parcerias para Digitalização
-	M6. Segurança Operacional	-	-

Fonte: elaborado pelo autor.

No Quadro 22, por sua vez, tabulamos as categorias e assertivas associadas a cada capacidade de resiliência. Esclarecemos que, após a revisão bibliográfica e as revisões pelos especialistas, obtivemos dez categorias. O referido quadro, contudo, discrimina um total de vinte e uma categorias. Isto ocorre em razão de algumas estarem associadas a mais de uma capacidade de resiliência (e.g., estratégia digital).

Quadro 22: tabulação das categorias e assertivas identificadas

<b>Nível 1</b> RAG	<b>Nível 2</b> Categorias	<b>Nível 3</b> Assertivas
R	5	13
M	6	21
A	5	15
L	5	9
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>58</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.3.2.2 Estruturação da hierarquia do problema (AHP 2)

Na pesquisa científica, é essencial que a validade seja constatada para verificar se o que foi realizado condiz com o que se propôs investigar. Validade é, portanto, o grau em que uma medida ou um conjunto de medidas representa corretamente o conceito de estudo (HAIR et al., 2000). Existem diversos tipos de validade. Aqueles aplicados nesta pesquisa são apresentados e detalhados no Quadro 23.

Quadro 23: tipos de validade

<b>Validade de construto</b>	Revela o grau em que um fenômeno e as variáveis envolvidas foram corretamente definidas e mensuradas na realidade (i.e., operacionalizadas). Esse tipo de validade em geral é avaliado por especialistas no assunto, que examinam previamente os instrumentos de pesquisa a serem aplicados em um método.
<b>Validade de conteúdo</b>	Avalia quanto as questões ou elementos de medição (e.g. itens individuais, formatos das respostas e instruções) em um instrumento de pesquisa são relevantes, ou seja, correspondem às características do constructo que desejam medir (i.e., refletem com precisão o domínio do constructo conforme definido conceitualmente).
<b>Validade aparente ou de face</b>	Avalia a clareza e a adequabilidade das questões em um instrumento de pesquisa do ponto de vista dos respondentes. É comum que o pré-teste seja realizado em um pequeno grupo pertencente à população visada pela pesquisa. A partir dele, aprimoramentos poderão ser feitos no instrumento de pesquisa antes de sua aplicação final.

Fonte: adaptado de Silva et al. (2012)

Em nosso trabalho, dentre as várias técnicas possíveis, optamos pelas análises individuais e grupos focais<sup>12</sup> para a avaliação da validade dos constructos e de seus conteúdos. Nossa decisão amparou-se pela possibilidade de, por meio destas técnicas, coletarmos e acessarmos simultaneamente opiniões, percepções e comentários dos envolvidos. Em relação

<sup>12</sup> Um grupo focal assemelha-se a uma entrevista não estruturada e de fluxo livre em grupo onde os participantes discutem sobre um determinado tema em seus próprios termos, compartilhando sobre ele sentimentos, ansiedades e frustrações. A técnica é muitas vezes usada para identificar elementos importantes a serem inseridos em um instrumento para coleta de dados, como um questionário (HAIR et al., 2000; SILVA et al., 2012; ZIKMUND et al., 2010).

especificamente ao RAG/AHP, os participantes contribuíram com a análise dos constructos e a revisão da pertinência e redação das assertivas para adequá-las aos objetivos do estudo.

A validade aparente, por sua vez, foi averiguada pela aplicação dos questionários<sup>13</sup> em suas versões preliminares e final junto a uma amostra dos respondentes. O principal objetivo deste pré-teste foi evidenciar possíveis falhas na redação das questões decorrentes de, por exemplo, imprecisão, constrangimento do respondente ou exaustão pelo elevado número de questões (GIL, 2009).

Lakatos e Marconi (2017) sugerem que o pré-teste seja aplicado em populações com características semelhantes, mas nunca naquela que será alvo de estudo. Por isso, as pessoas que participam do pré-teste não devem compor o grupo junto ao qual será aplicado o questionário definitivo, pois a experiência do pré-teste pode afetar suas respostas. Assim o fizemos, contando com a colaboração de grupos distintos nas fases de aplicação dos questionários em suas fases preliminares e final.

Para orientar as respostas, adotamos escalas associadas a questões fechadas que permitem averiguar o conceito que os participantes têm a respeito do tema em questão. Gil (2009) nos lembra que as escalas são úteis para medir objetivamente a intensidade das opiniões e atitudes por meio de uma série graduada de itens. Com as respostas, é possível quantificar opiniões, percepções e atitudes pela relação de distância padronizada entre determinadas expressões de um conjunto. É possível, se assim se desejar, analisar estatisticamente as respostas.

A escala likert empregada neste estudo representa níveis de concordância ou discordância do respondente em relação a algum assunto em uma gradação que normalmente vai de ‘discordo totalmente’ a ‘concordo totalmente’.

---

<sup>13</sup> Questionários são instrumentos para coleta de dados constituídos por perguntas que são respondidas sem a presença de um entrevistador (SILVA et al., 2012). Eles traduzem os objetivos da pesquisa em questões específicas, operacionalizando conceitos teóricos para viabilizar sua mensuração (GIL, 2009). Na condução de um estudo baseado em questionário, várias atividades inter-relacionadas devem ser consideradas: o design, a validação em um pré-teste e o método pelo qual será administrado (HAIR; PAGE; BRUNSVELD, 2020).

Quadro 24: exemplo de escala likert

QUESTÕES	Discordo totalmente	Discordo	Indiferente	Concordo	Concordo totalmente
As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho dos trabalhadores em tempo real.	<input type="checkbox"/>				
As tecnologias digitais diminuem a ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	<input type="checkbox"/>				

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao determinarmos o que pretendíamos perguntar, dedicamos nossa atenção ao critério de precisão, que indica se a informação é confiável e válida. Zikmund et al. (2010) nos esclarece que os pesquisadores mais experientes geralmente sugerem que, nos questionários, sejam usadas palavras simples, compreensíveis, imparciais, inequívocas e não irritantes. Contudo, inexistem procedimentos que garantam a precisão na redação das perguntas. Por isso, tomamos o cuidado de escrutinar as variáveis, as assertivas e os questionários junto a diferentes pessoas por meio de análises individuais, grupos focais e ciclos de pré-teste.

#### 4.3.2.3 Elaboração de matrizes para comparação par-a-par (AHP 3)

Na etapa imediatamente posterior à que resultou na hierarquização do problema, criamos matrizes para comparação par-a-par do 2º nível da hierarquia (categorias). Nosso objetivo foi avaliar a importância de cada categoria para o potencial de resiliência organizacional, o que, na linguagem da AHP, costuma ser chamado de objetivo principal. Para tal, contamos com a colaboração de profissionais que atuam no setor de O&G e que, por isso, possuem conhecimentos e experiências ricos a esta tarefa de priorização.

Organizou-se um grupo focal para a realização das análises. Nesta ocasião, moderamos as discussões e anotamos as decisões em uma planilha eletrônica previamente estruturada para a dinâmica. O preenchimento *in loco* foi especialmente útil, pois permitiu que os envolvidos acompanhassem em tempo real os resultados de suas decisões sobre a hierarquia de importância.

Na Figura 13, apresentamos um extrato desta planilha.

Figura 13: extrato da planilha que orienta as análises par-a-par

Escala numérica	Escala conceitual	Descrição
1	Igual	Os elementos contribuem igualmente para o alcance do objetivo.
3	Moderada	O elemento comparado é ligeiramente mais relevante que o outro.
5	Forte	O elemento comparado é fortemente mais relevante que o outro.
7	Muito forte	O elemento comparado é muito mais forte que o outro e isto pode ser demonstrado na prática.
9	Absoluta	As evidências que favorecem um elemento são as maiores possíveis.

Matriz Principal										
	1. Automação digital	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	5. Forecasting tecnológico	6. Gestão de dados	7. Habilidades e competências	8. Parcerias para a digitalização	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
1. Automação digital										
2. Cibersegurança										
3. Desenvolvimento e design										
4. Estratégia digital										
5. Forecasting tecnológico										
6. Gestão de dados										
7. Habilidades e competências										
8. Parcerias para a digitalização										
9. Saúde e segurança ocupacional										
10. Segurança operacional										
<b>Total (soma)</b>										

Fonte: elaborada pelo autor.

Na medida em que os pesos eram atribuídos durante a dinâmica, fórmulas previamente configuradas normalizavam a matriz e calculavam o vetor de prioridade, a prioridade local, o maior autovalor, o índice de consistência e a taxa de consistência para determinar se as decisões tomadas pelos participantes eram consistentes ou não. Durante as discussões, foram necessárias revisões até que o conjunto das pontuações atribuídas a cada categoria fosse considerado consistente de acordo com os métodos adotados.

#### 4.3.2.4 Definição dos pesos das questões (AHP 4)

A estrutura da AHP aprimora o gerenciamento dos dados obtidos na quarta fase do RAG, permitindo comparações detalhadas entre as perguntas (ou assertivas) e seus efeitos sobre o sistema (PATRIARCA et al., 2017). Após a realização do grupo focal para análise pareada das categorias, consolidamos os dados e atualizamos sua composição final.

Cumpre-nos esclarecer que as diretrizes da AHP, se seguidas à risca, obrigam-nos a desenvolver comparações par-a-par em cada nível do framework. Decidimos, contudo, realizá-las somente no 2º nível da hierarquia (i.e., categorias). Não acreditávamos haver sentido em comparar as importâncias relativas das quatro capacidades de resiliência, que representam o 1º nível, pois elas são integradas e uma não existe sem a outra. Assim, determinamos seus pesos como igualmente importantes, atribuindo uma pontuação de 0,25 para cada.

No 3º nível da hierarquia estão posicionadas as assertivas. Neste caso, em razão da densidade e profundidade de seu conteúdo, percebemos que seria uma tarefa excessivamente abstrata e, por isso, exaustiva aos especialistas determinar seus pesos relativos individualmente. O valor agregado desta atribuição seria limitado e não contribuiria com os propósitos de nosso estudo. Assim, também consideramos cada assertiva como igualmente importante para o

alcance do objetivo e atribuímos a elas um peso proporcional ao total de assertivas do conjunto ao qual pertencem.

No Quadro 25, demonstramos a lógica pela qual foram atribuídos os pesos relativos para cada nível da hierarquia.

Quadro 25: exemplo da lógica adotada para atribuição dos pesos relativos em cada nível da hierarquia

1º NÍVEL Capacidade		2º NÍVEL Categoria		3º NÍVEL Assertiva		
Aprender	1,00	Cibersegurança	0,073	As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	0,073	
		Desenvolvimento e design	0,091	Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	0,091	
		Estratégia digital	0,464	Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	0,464	
		Habilidades e competências	0,237		Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	0,059
					As deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores são conhecidas e a organização desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	0,059
					A importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional é constantemente demonstrada aos trabalhadores.	0,059
					Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	0,059
		Parcerias para a digitalização	0,136		Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a segurança das operações e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	0,068
					Startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) são envolvidas nas iniciativas de desenvolvimento e/ou implantação de inovações tecnológicas que visam contribuir para a segurança operacional e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	0,068

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.3.3 Coleta de dados (RAG 3)

Nesta etapa, após os ciclos de revisão da estrutura e do conteúdo do questionário, estruturamos sua versão final na Plataforma XM Qualtrics. Seu conteúdo foi organizado em doze seções, iniciando pela apresentação da pesquisa e do termo de consentimento, seguido de

perguntas sociodemográficas e, nas seções seguintes, as assertivas correspondentes a cada uma das categorias. Não foram solicitados dados que permitissem a identificação dos respondentes, tão somente sua caracterização sociodemográfica (tempo de atuação na indústria de O&G, empresa em que trabalha, tempo em que trabalha na empresa, função atual, tempo na função atual, nacionalidade, idade, gênero, grau de escolaridade).

As assertivas foram organizadas por categoria (e.g., automação digital, cibersegurança, estratégia digital). Para contextualizar os respondentes, apresentamos um descritivo da categoria com os principais conceitos e a relação dela com a resiliência organizacional contextualizada a iniciativas de TD e I4.0. Na Figura 14, um extrato deste questionário é apresentado.

Figura 14: exemplo de questões que compõem o questionário RAG/AHP

## 2. Cibersegurança

A TD na indústria pode tornar os processos de produção mais rápidos e eficientes, mas aumenta o risco de as empresas serem vítimas de ataques online. A proteção de dados será cada vez mais relevante, pois está se tornando mais complexa e, por isso, demorada e cara. A implementação de uma estratégia de segurança de ponta a ponta é fundamental. É interessante que esta etapa seja realizada interna e externamente, envolvendo parceiros de negócios (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; BLOCHING et al., 2015).

	Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
2.1. Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são conhecidos e possuem soluções de segurança implementadas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2. As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fonte: elaborada pelo autor.

O público-alvo e o perfil dos respondentes são descritos e caracterizados nas seções 5.1 e 5.3 desta tese. O questionário foi mantido ativo por aproximadamente duas semanas, tempo considerado adequado para que uma amostra suficiente do público-alvo o acessasse, compreendesse e respondesse às questões.

### 4.3.4 Consolidação, análise e apresentação dos resultados (RAG 4)

Concluído o período dedicado à coleta de dados, extraímos as informações armazenadas no XM Qualtrics e as consolidamos e analisamos por meio de planilhas de cálculo.

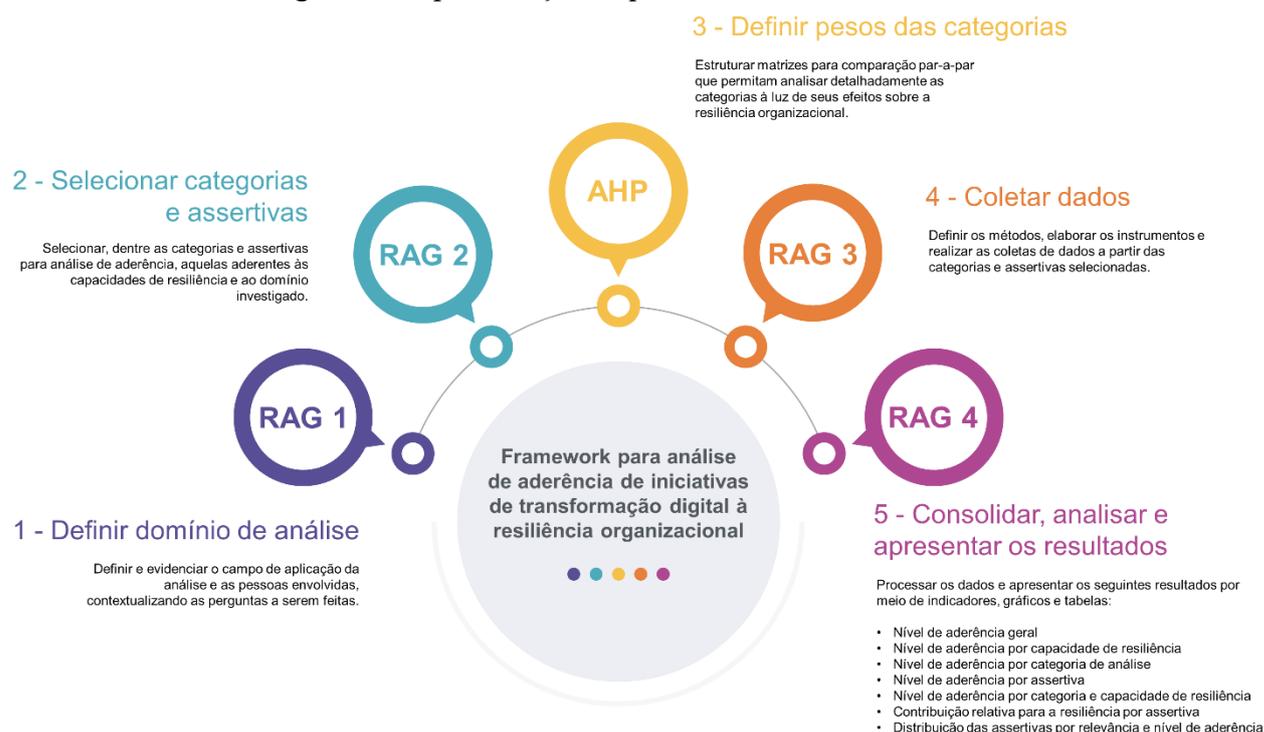
Optamos por proceder desta forma em razão da flexibilidade proporcionada por essas ferramentas que nos permitiu manipular os dados e, a partir deles, estabelecer relações, realizar cálculos, além de gerar tabelas e gráficos.

No próximo capítulo desta tese, apresentamos os resultados obtidos pela coleta, consolidação e análise dos dados e os discutimos à luz dos objetivos da pesquisa.

#### 4.4 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FRAMEWORK

Adiante, apresentamos esquematicamente os elementos que compõem o framework acompanhados dos objetivos de cada etapa em uma sequência lógica. Esta representação objetiva contribuir com a compreensão do artefato proposto, facilitando sua aplicação em fóruns científicos e práticos.

Figura 15: representação esquemática do framework



Fonte: elaborada pelo autor.

## 5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta pesquisa, concebemos um framework que orienta a análise de aderência de iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e às capacidades da resiliência organizacional. No capítulo anterior, descrevemos detalhadamente os procedimentos metodológicos adotados para alcançar esses resultados. Mencionamos, também, a intenção de experimentá-lo em um cenário real para avaliar, principalmente, sua viabilidade e pertinência.

Neste capítulo, apresentamos os resultados advindos dessa experimentação realizada junto a um consórcio de empresas que atuam no setor de O&G. Pretendemos, a partir daqui, demonstrar mais claramente ao leitor de que forma nosso framework pode ser aplicado e as análises que, a partir dos dados obtidos, podem ser realizadas para aprimorar as iniciativas de TD e I4.0, capacitando-as a contribuir com o aumento do potencial de resiliência da organização ao torna-las mais aderentes aos princípios de fatores humanos.

Inicialmente, apresentamos o domínio de análise, caracterizando a subdivisão do consórcio de empresas alvo da experimentação pela descrição de seus objetivos funcionais, iniciativas, pessoas e recursos envolvidos. Em seguida, demonstramos como as questões relevantes foram estruturadas pela definição dos principais construtos, identificação de variáveis, hierarquização do problema e determinação de seus pesos. Ao final, descrevemos os procedimentos para coleta e consolidação dos dados e analisamos os principais resultados obtidos.

### 5.1 DOMÍNIO DE ANÁLISE

O consórcio de empresas onde realizamos nossas experimentações é formado por cinco multinacionais que atuam, principalmente, na exploração e produção de petróleo e gás natural. Anos atrás, este consórcio foi vencedor de leilão para cessão onerosa de campos para exploração de petróleo na camada pré-sal do litoral brasileiro.

Nas empresas que atuam neste setor, embora as terminologias adotadas para a caracterizar não sejam unânimes, é comum que haja uma diretoria responsável por coordenar processos de exploração e produção. No referido consórcio, a empresa que o lidera atribuiu a esta diretoria a responsabilidade por gerenciar os assuntos relativos à exploração no pré-sal.

A Lei nº 9.478, de 1997, estabeleceu como uma das atribuições da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a de estimular a pesquisa e a adoção de novas tecnologias para o setor. Tal atribuição se materializa nas cláusulas de PD&I presentes nos contratos para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural que

obrigam as empresas petrolíferas que operam no Brasil a realizar despesas qualificadas como Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Os valores desta obrigação variam de 0,5% a 1% da receita bruta gerada pela produção de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos, a depender da modalidade dos contratos (*i.e.*, concessão, partilha de produção, cessão onerosa). Nos consórcios de empresas, a responsabilidade pelos investimentos em PD&I é proporcional à participação de cada uma.

Os projetos e programas de PD&I compreendem pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental, construção de protótipos e unidades-piloto e desenvolvimento tecnológico. Eles podem ser executados pela própria empresa petrolífera ou por outras empresas brasileiras e instituições credenciadas (ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015).

O consórcio de empresas que contribuiu com nossa pesquisa instituiu formalmente uma subdivisão responsável por gerenciar os programas e projetos de PD&I relativos à exploração e produção de petróleo no pré-sal. Esta subdivisão, que chamaremos daqui em diante de AT (nome fictício), é responsável por prospectar e contratar pesquisas científicas e possui alocados aproximadamente 25 trabalhadores de todas as empresas consorciadas.

No início de sua operação, a subdivisão AT ajudou a criar um plano de desenvolvimento tecnológico para o consórcio, priorizando 19 tecnologias que cobrem todas as etapas de exploração e produção e consideram princípios de FH e requisitos de saúde, segurança e meio ambiente. Mais recentemente, a subdivisão AT criou também um programa específico para desenvolver e aplicar tecnologias digitais estruturado em três temas: otimização de processos, integração e acesso a dados e desenvolvimento do gêmeo digital (*digital twin*).

Diversas iniciativas atinentes à TD e à I4.0 foram ou estão sendo realizadas pelas pessoas que integram a subdivisão AT, o que as credencia a serem alvo de uma investigação científica como a que nos propomos a fazer. Por isso, estabelecemos esta divisão como nosso domínio de análise.

## 5.2 QUESTÕES RELEVANTES

As variáveis das quais se originaram as questões que subsidiaram a coleta de dados foram obtidas por meio de uma revisão bibliográfica da literatura. Descrevemos este processo detalhadamente na seção 4.3 desta tese, mas não apresentamos integralmente lá os construtos definidos e as variáveis obtidas. Ativemo-nos aos procedimentos metodológicos para poder detalhar aqui o desenvolvimento evolutivo desta importante etapa da pesquisa.

Pela análise das publicações selecionadas durante a revisão bibliográfica, com apoio da matriz de análise (Quadro 14), identificamos 105 variáveis posicionadas na intersecção entre os constructos Indústria 4.0, Fatores Humanos e Resiliência Organizacional. Lembramos que nosso trabalho foi pautado pela hipótese de que tais variáveis ajudariam a analisar a aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional. O conjunto completo de variáveis pode ser consultado no Apêndice A deste trabalho. Lá, elas são associadas às assertivas delas obtidas, às categorias as quais pertencem, a uma capacidade de resiliência e aos trabalhos de onde se originaram.

Em seguida, de acordo com as diretrizes propostas por Patriarca et al. (2017) a respeito da combinação entre RAG e AHP, estruturamos a hierarquia do problema com as questões a serem observadas na coleta de dados em 3 níveis. No 1º nível, posicionam-se as quatro capacidades de resiliência: responder, monitorar, antecipar e aprender. No 2º, as dez categorias elencadas após organização das variáveis. No 3º, as assertivas associadas às categorias às quais pertencem.

A fim de aprimorar a hierarquia do problema, especialmente quanto à sua estrutura (*i.e.*, à relação entre capacidades de resiliência, categorias de análise e assertivas) e redação, solicitamos análises individuais por acadêmicos afeitos aos temas da pesquisa e executivos com experiência em projetos de TD. Contribuíram com esta etapa da pesquisa cinco pesquisadores doutores – quatro com vasta experiência em pesquisas científicas e um com significativa vivência em projetos de TD e I4.0 aplicados a empresas de base tecnológica. No Apêndice B, apresentamos o instrumento que lhes foi enviado por e-mail acompanhado de instruções para as análises.

Adiante, apresentamos exemplos das observações compartilhadas pelos pesquisadores. Os registros foram feitos no próprio texto ou por meio de comentários de acordo com o editor de texto utilizado. Depois de consolidá-las, avaliamos todas as observações e, quando consideradas viáveis e pertinentes, consideramos para o aprimoramento dos instrumentos desenvolvidos e aplicados nesta pesquisa.

Figura 16: exemplo de análise para revisão da hierarquia do problema (i)  
R - RESPONDER

Critérios Categorias	Assertivas	Fontes
R1) Automação digital	R1.1) A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital. - Sendo respondente, como deve entender a 'pergunta'? i.e. refere-se a iniciativas de modo geral? Ou especificamente na (minha) empresa? na indústria?...	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	R1.2) A automatização (automação?) digital contribui para a redução de erros e de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores. - Como está redigido parece que se deseja conhecer a opinião geral da pessoa/respondente, a respeito da contribuição percebida da automação digital para os trabalhadores de modo geral. Aqui também se aplica o comentário anterior, ou seja, quais trabalhadores? (da empresa, da indústria... quaisquer trabalhadores?)	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018
- Se for manter esta assertiva, sugiro separar em duas: (i) ...para redução de erros e de riscos operacionais, (ii) para a saúde dos trabalhadores (indicando quais trabalhadores).		

Figura 17: exemplo de análise para revisão da hierarquia do problema (ii)

R - RESPONDER		
Critérios	Assertivas	Fontes
R1) Automação digital	R1.1) A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	R1.2) A automatização digital contribui para a redução de erros e de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018
	R1.3) As máquinas e os sistemas críticos em segurança na organização são integrados e controlados quase completamente por meio de TI.	LICHTBLAU et al., 2015
R2) Desenvolvimento e design	R2.1) Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para a resiliência organizacional estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	SJÖDIN et al., 2018
	R2.2) O design das tecnologias digitais contribui para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018; KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019b; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
R3) Estratégia digital	R3.1) Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para avançar o desenvolvimento de tecnologias relevantes para as respostas resilientes.	SJÖDIN et al., 2018; VANBOSKIRK et al., 2017

O que significa controlados "quase completamente"? Me parece um pouco vago "quase completamente", um exemplo ou expressão que deixe mais claro. "controlados pela TI de forma efetiva"... Ou algo do tipo.  
5 de maio de 2022, 07:50

Responder

Ao final desta etapa de revisão, atualizamos a hierarquia do problema, reposicionando algumas assertivas e aprimorando sua redação. Diferentemente do que esperávamos, os revisores não propuseram a supressão de assertivas. Pelo contrário, sugeriram a divisão de algumas para torná-las mais objetivas e facilmente compreendidas pelos respondentes. Com isso, a hierarquia do problema, que subsidiou a posterior coleta de dados, passou a contar com 58 assertivas (3º nível) organizadas em 10 categorias (2º nível).

Em seguida, orientados pelas matrizes previamente elaboradas, organizamos um grupo focal para comparação par-a-par das categorias de análise (2º nível). Esta dinâmica foi realizada

em duas sessões online de aproximadamente três horas cada e dela participaram cinco profissionais que atuam nas empresas do setor de O&G envolvidas no estudo. Os trabalhos foram abertos por uma breve apresentação dos objetivos da pesquisa, dos resultados prévios alcançados, dos métodos empregados e dos resultados esperados pela aplicação da dinâmica.

Os participantes foram instruídos a refletirem e debaterem sobre a relevância de cada categoria frente ao desafio de tornar mais aderentes as iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional. Para tal, compararam cada categoria em relação às demais, atribuindo um valor de 1 a 9 de acordo com sua importância.

Adiante, apresentamos os resultados obtidos pela aplicação da técnica. Lembramos que a apresentação detalhada da AHP pode ser consultada na seção 4.2 desta tese.

Quadro 26: matriz principal da comparação par-a-par das categorias de análise (AHP)

<b>Matriz principal</b>	1. Automação digital	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	5. Forecasting tecnológico	6. Gestão de dados	7. Habilidades e competências	8. Parcerias para a digitalização	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
1. Automação digital	1,00	0,20	0,20	0,11	0,17	0,14	0,14	0,17	0,13	0,11
2. Cibersegurança	5,00	1,00	0,33	0,14	0,14	1,00	0,33	1,00	0,25	0,25
3. Desenvolvimento e design	5,00	3,00	1,00	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	0,14	0,14
4. Estratégia digital	9,00	7,00	5,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	0,50	0,50
5. Forecasting tecnológico	6,00	7,00	3,00	0,50	1,00	1,00	0,33	2,00	0,20	0,20
6. Gestão de dados	7,00	1,00	7,00	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	0,33	0,33
7. Habilidades e competências	7,00	3,00	5,00	0,33	3,00	2,00	1,00	2,00	0,50	0,50
8. Parcerias para a digitalização	6,00	1,00	3,00	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00	0,20	0,20
9. Saúde e segurança ocupacional	8,00	4,00	7,00	2,00	5,00	3,00	2,00	5,00	1,00	1,00
10. Segurança operacional	9,00	4,00	7,00	2,00	5,00	3,00	2,00	5,00	1,00	1,00
<b>Total</b>	<b>63,00</b>	<b>31,20</b>	<b>38,53</b>	<b>7,12</b>	<b>18,14</b>	<b>13,79</b>	<b>10,01</b>	<b>21,50</b>	<b>4,25</b>	<b>4,24</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 27: matriz normalizada da comparação par-a-par das categorias de análise (AHP)

<b>Matriz normalizada</b>	1. Automação digital	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	5. Forecasting tecnológico	6. Gestão de dados	7. Habilidades e competências	8. Parcerias para a digitalização	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
1. Automação digital	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
2. Cibersegurança	0,08	0,03	0,01	0,02	0,01	0,07	0,03	0,05	0,06	0,06
3. Desenvolvimento e design	0,08	0,10	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
4. Estratégia digital	0,14	0,22	0,13	0,14	0,11	0,15	0,30	0,14	0,12	0,12
5. Forecasting tecnológico	0,10	0,22	0,08	0,07	0,06	0,07	0,03	0,09	0,05	0,05
6. Gestão de dados	0,11	0,03	0,18	0,07	0,06	0,07	0,05	0,09	0,08	0,08
7. Habilidades e competências	0,11	0,10	0,13	0,05	0,17	0,15	0,10	0,09	0,12	0,12
8. Parcerias para a digitalização	0,10	0,03	0,08	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
9. Saúde e segurança ocupacional	0,13	0,13	0,18	0,28	0,28	0,22	0,20	0,23	0,24	0,24

10. Segurança operacional	0,14	0,13	0,18	0,28	0,28	0,22	0,20	0,23	0,24	0,24
Vetor de prioridade	<b>0,014</b>	<b>0,042</b>	<b>0,036</b>	<b>0,157</b>	<b>0,082</b>	<b>0,082</b>	<b>0,112</b>	<b>0,051</b>	<b>0,211</b>	<b>0,213</b>
Prioridade local	<b>1,4%</b>	<b>4,2%</b>	<b>3,6%</b>	<b>15,7%</b>	<b>8,2%</b>	<b>8,2%</b>	<b>11,2%</b>	<b>5,1%</b>	<b>21,1%</b>	<b>21,3%</b>

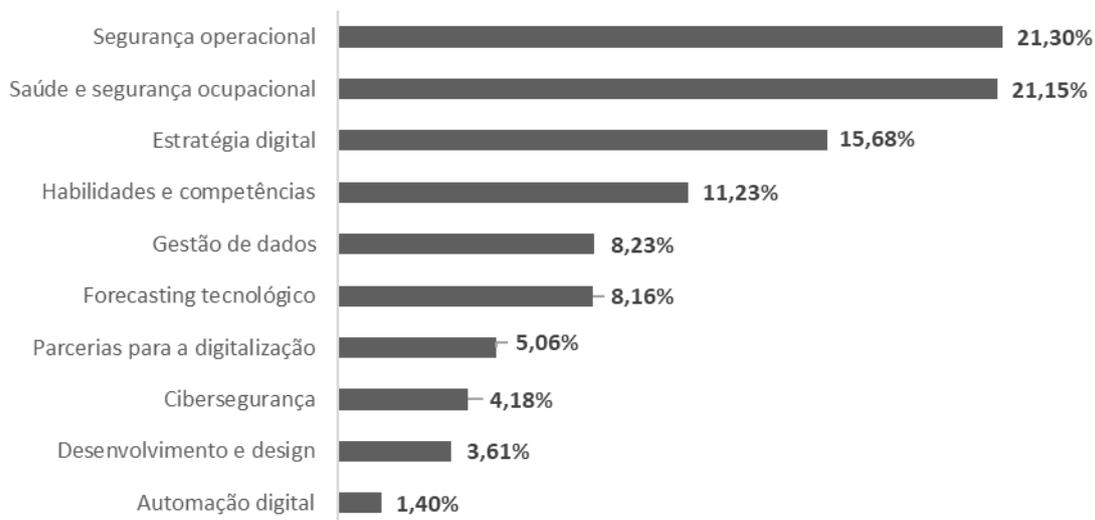
Fonte: elaborado pelo autor.

Durante os debates nos grupos focais, os participantes entenderam como mais relevantes frente às demais as categorias que dizem respeito à estratégia digital (4), à saúde e segurança ocupacional (9) e à segurança operacional (10). Na visão deles, as diretrizes determinadas por elas orientam e influenciam as demais. Por isso, merecem maior atenção. Tal entendimento fica explícito quando verificamos as notas atribuídas às referidas categorias, que se distanciam significativamente das demais.

A categoria que reúne as assertivas relacionadas à automação digital (1), em contrapartida, foi considerada a menos relevante pelos envolvidos. Eles observaram, em mais de um momento, que as iniciativas da organização que objetivam aprimorar e ampliar a automação digital são importantes. Contudo, entenderam que elas contribuem menos que as demais para o aumento do potencial de resiliência organizacional. Esta visão corrobora com afirmações no mesmo sentido tecidas por Leso et al. (2018) dando conta da necessidade de as organizações se anteverem a impactos negativos decorrentes da ampliação da automação digital. Eles mencionam o envolvimento coordenado dos trabalhadores em atividades mais criativas, interessantes e valorosas. Além disso, sugerem maior flexibilidade das rotinas de trabalho e desenvolvimento contínuo dos trabalhadores. São essas ações abordadas principalmente por outras categorias de análise consideradas mais relevantes pelos envolvidos, como estratégia digital (4) e habilidades e competências (7).

Ao aplicarmos a dinâmica, as análises apontaram para a seguinte distribuição de relevância:

Figura 18: distribuição de relevância das categorias de análise (nível 2)



Fonte: elaborada pelo autor.

Realizamos, então, a análise de consistência – essencial para garantir a acurácia dos dados e a consistência das decisões. Iniciamos pelo cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento.

Quadro 28: cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento das categorias de análise (AHP)

<b>Vetor de prioridade</b>	0,014	0,042	0,036	0,157	0,082	0,082	0,112	0,051	0,211	0,213
<b>Total (Soma)</b>	63,000	31,200	38,533	7,121	18,143	13,786	10,010	21,500	4,251	4,237
<b>Maior autovalor (<math>\lambda_{Max}</math>)</b>	$[(0,014 \times 63,000) + (0,042 \times 31,200) + (0,036 \times 38,533) + (0,157 \times 7,121) + (0,082 \times 18,143) + (0,082 \times 13,786) + (0,112 \times 10,010) + (0,051 \times 21,500) + (0,211 \times 4,251) + (0,213 \times 4,237)] = 11,325$									

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, calculamos o índice de consistência (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} = \frac{11,325 - 10}{10 - 1} = 0,147$$

Por fim, para análise de fato da consistência, calculamos a taxa de consistência (CR) determinada pela razão entre o índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatória (RI)<sup>14</sup>:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,147}{1,49} = 0,09881 = 9,88\%$$

Por alcançarmos uma taxa de consistência inferior a 10%, limiar proposto por Saaty (2008, 2004), não precisamos revisar as decisões tomadas durante o preenchimento da matriz e, por isso, as importâncias relativas das categorias foram consideradas nas etapas posteriores do estudo.

Para que pudéssemos analisar os resultados dos dados coletados à luz das capacidades de resiliência, de acordo com os pressupostos do RAG, calculamos a importância relativa das categorias no contexto de cada capacidade. Esta etapa foi necessária em razão de nem todas as categorias (2º nível) possuírem assertivas associadas às quatro capacidades de resiliência (1º nível). Automação digital, por exemplo, foi associada somente à capacidade de responder. Estratégia digital, por sua vez, aparece associada a todas as capacidades de resiliência. Para tal, atribuímos a cada categoria a mesma importância relativa definida anteriormente pelos profissionais do setor de O&G, normalizamos os valores e calculamos o vetor de prioridade e a prioridade local de cada categoria.

Adiante, apresentamos os resultados obtidos para cada capacidade de resiliência.

Quadro 29: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de responder

<b>Matriz principal</b>	<b>1. Automação digital</b>	<b>3. Desenvolvimento e design</b>	<b>4. Estratégia digital</b>	<b>7. Habilidades e competências</b>	<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>
<b>1. Automação digital</b>	1,00	0,20	0,11	0,14	0,13
<b>3. Desenvolvimento e design</b>	5,00	1,00	0,20	0,20	0,14
<b>4. Estratégia digital</b>	9,00	5,00	1,00	3,00	0,50
<b>7. Habilidades e competências</b>	7,00	5,00	0,33	1,00	0,50
<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>	8,00	7,00	2,00	2,00	1,00
<b>Total</b>	<b>30,000</b>	<b>18,200</b>	<b>3,644</b>	<b>6,343</b>	<b>2,268</b>

<sup>14</sup> Os valores propostos por Saaty (2004) para os índices de consistência aleatória, de acordo com o número de critérios de análise, são apresentados no Quadro 20 desta tese.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 30: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de responder

Matriz principal	1. Automação digital	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	7. Habilidades e competências	9. Saúde e segurança ocupacional
1. Automação digital	0,03	0,01	0,03	0,02	0,06
3. Desenvolvimento e design	0,17	0,05	0,05	0,03	0,06
4. Estratégia digital	0,30	0,27	0,27	0,47	0,22
7. Habilidades e competências	0,23	0,27	0,09	0,16	0,22
9. Saúde e segurança ocupacional	0,27	0,38	0,55	0,32	0,44
<b>Vetor de prioridade</b>	<b>0,030</b>	<b>0,074</b>	<b>0,309</b>	<b>0,196</b>	<b>0,391</b>
<b>Prioridade local</b>	<b>3,0%</b>	<b>7,4%</b>	<b>30,9%</b>	<b>19,6%</b>	<b>39,1%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 31: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de monitorar

Matriz principal	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	6. Gestão de dados	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
2. Cibersegurança	1,00	0,33	0,14	1,00	0,25	0,25
3. Desenvolvimento e design	3,00	1,00	0,20	0,14	0,14	0,14
4. Estratégia digital	7,00	5,00	1,00	2,00	0,50	0,50
6. Gestão de dados	1,00	7,00	0,50	1,00	0,33	0,33
9. Saúde e segurança ocupacional	4,00	7,00	2,00	3,00	1,00	1,00
10. Segurança operacional	4,00	7,00	2,00	3,00	1,00	1,00
<b>Total</b>	<b>20,000</b>	<b>27,333</b>	<b>5,843</b>	<b>10,143</b>	<b>3,226</b>	<b>3,226</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 32: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de monitorar

Matriz principal	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	6. Gestão de dados	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
2. Cibersegurança	0,05	0,01	0,02	0,10	0,08	0,08
3. Desenvolvimento e design	0,15	0,04	0,03	0,01	0,04	0,04
4. Estratégia digital	0,35	0,18	0,17	0,20	0,15	0,15
6. Gestão de dados	0,05	0,26	0,09	0,10	0,10	0,10
9. Saúde e segurança ocupacional	0,20	0,26	0,34	0,30	0,31	0,31
10. Segurança operacional	0,20	0,26	0,34	0,30	0,31	0,31

<b>Vetor de prioridade</b>	<b>0,057</b>	<b>0,054</b>	<b>0,202</b>	<b>0,116</b>	<b>0,286</b>	<b>0,286</b>
<b>Prioridade local</b>	<b>5,7%</b>	<b>5,4%</b>	<b>20,2%</b>	<b>11,6%</b>	<b>28,6%</b>	<b>28,6%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 33: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de antecipar

<b>Matriz principal</b>	<b>3. Desenvolvimento e design</b>	<b>4. Estratégia digital</b>	<b>5. Forecasting tecnológico</b>	<b>7. Habilidades e competências</b>	<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>
<b>3. Desenvolvimento e design</b>	1,00	0,20	0,33	0,20	0,14
<b>4. Estratégia digital</b>	5,00	1,00	2,00	3,00	0,50
<b>5. Forecasting tecnológico</b>	3,00	0,50	1,00	0,33	0,20
<b>7. Habilidades e competências</b>	5,00	0,33	3,00	1,00	0,50
<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>	7,00	2,00	5,00	2,00	1,00
<b>Total</b>	<b>21,000</b>	<b>4,033</b>	<b>11,333</b>	<b>6,533</b>	<b>2,343</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 34: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de antecipar

<b>Matriz principal</b>	<b>3. Desenvolvimento e design</b>	<b>4. Estratégia digital</b>	<b>5. Forecasting tecnológico</b>	<b>7. Habilidades e competências</b>	<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>
<b>3. Desenvolvimento e design</b>	0,05	0,05	0,03	0,03	0,06
<b>4. Estratégia digital</b>	0,24	0,25	0,18	0,46	0,21
<b>5. Forecasting tecnológico</b>	0,14	0,12	0,09	0,05	0,09
<b>7. Habilidades e competências</b>	0,24	0,08	0,26	0,15	0,21
<b>9. Saúde e segurança ocupacional</b>	0,33	0,50	0,44	0,31	0,43
<b>Vetor de prioridade</b>	<b>0,044</b>	<b>0,267</b>	<b>0,098</b>	<b>0,190</b>	<b>0,401</b>
<b>Prioridade local</b>	<b>4,4%</b>	<b>26,7%</b>	<b>9,8%</b>	<b>19,0%</b>	<b>40,1%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 35: matriz principal da comparação par-a-par – capacidade de aprender

<b>Matriz principal</b>	<b>2. Cibersegurança</b>	<b>3. Desenvolvimento e design</b>	<b>4. Estratégia digital</b>	<b>7. Habilidades e competências</b>	<b>8. Parcerias para a digitalização</b>
<b>2. Cibersegurança</b>	1,00	0,33	0,14	0,33	1,00
<b>3. Desenvolvimento e design</b>	3,00	1,00	0,20	0,20	0,33
<b>4. Estratégia digital</b>	7,00	5,00	1,00	3,00	3,00
<b>7. Habilidades e competências</b>	3,00	5,00	0,33	1,00	2,00
<b>8. Parcerias para a digitalização</b>	1,00	3,00	0,33	0,50	1,00
<b>Total</b>	<b>15,000</b>	<b>14,333</b>	<b>2,010</b>	<b>5,033</b>	<b>7,333</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 36: matriz normalizada da comparação par-a-par – capacidade de aprender

<b>Matriz principal</b>	<b>2. Cibersegurança</b>	<b>3. Desenvolvimento e design</b>	<b>4. Estratégia digital</b>	<b>7. Habilidades e competências</b>	<b>8. Parcerias para a digitalização</b>
<b>2. Cibersegurança</b>	0,07	0,02	0,07	0,07	0,14
<b>3. Desenvolvimento e design</b>	0,20	0,07	0,10	0,04	0,05
<b>4. Estratégia digital</b>	0,47	0,35	0,50	0,60	0,41
<b>7. Habilidades e competências</b>	0,20	0,35	0,17	0,20	0,27
<b>8. Parcerias para a digitalização</b>	0,07	0,21	0,17	0,10	0,14
<b>Vetor de prioridade</b>	<b>0,073</b>	<b>0,091</b>	<b>0,464</b>	<b>0,237</b>	<b>0,136</b>
<b>Prioridade local</b>	<b>7,3%</b>	<b>9,1%</b>	<b>46,4%</b>	<b>23,7%</b>	<b>13,6%</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Na seção 4.3.2.4 desta tese, explicamos que, assim como Patriarca et al. (2017), optamos por desenvolver comparações par-a-par somente no 2º nível da hierarquia (*i.e.*, categorias de análise). Entendemos que não haveria sentido comparar as importâncias relativas das capacidades de resiliência nem ganhos significativos decorrentes do exaustivo esforço de avaliar comparativamente as 58 assertivas. Assim, as 4 capacidades de resiliência (1º nível), bem como as 58 assertivas (3º nível), foram consideradas igualmente relevantes.

No Quadro 37, apresentamos um exemplo desta distribuição de pesos entre as assertivas. O quadro completo, sem qualquer distinção entre as capacidades de resiliência e onde constam os pesos relativos das 58 assertivas, pode ser consultado no Apêndice E deste trabalho. Nos Apêndices F, G, H e I, estão dispostos os quadros que apresentam os pesos relativos das assertivas de acordo com sua distribuição entre as capacidades de resiliência.

Quadro 37: exemplo da distribuição de pesos entre as assertivas (3º nível)

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da categoria de análise (A)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (B)</b>	<b>Peso da assertiva (A ÷ B)</b>
1. Automação digital	1.1. A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	0,0140	4	0,0035
3. Desenvolvimento e design	3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	0,0361	9	0,0040

Fonte: elaborado pelo autor.

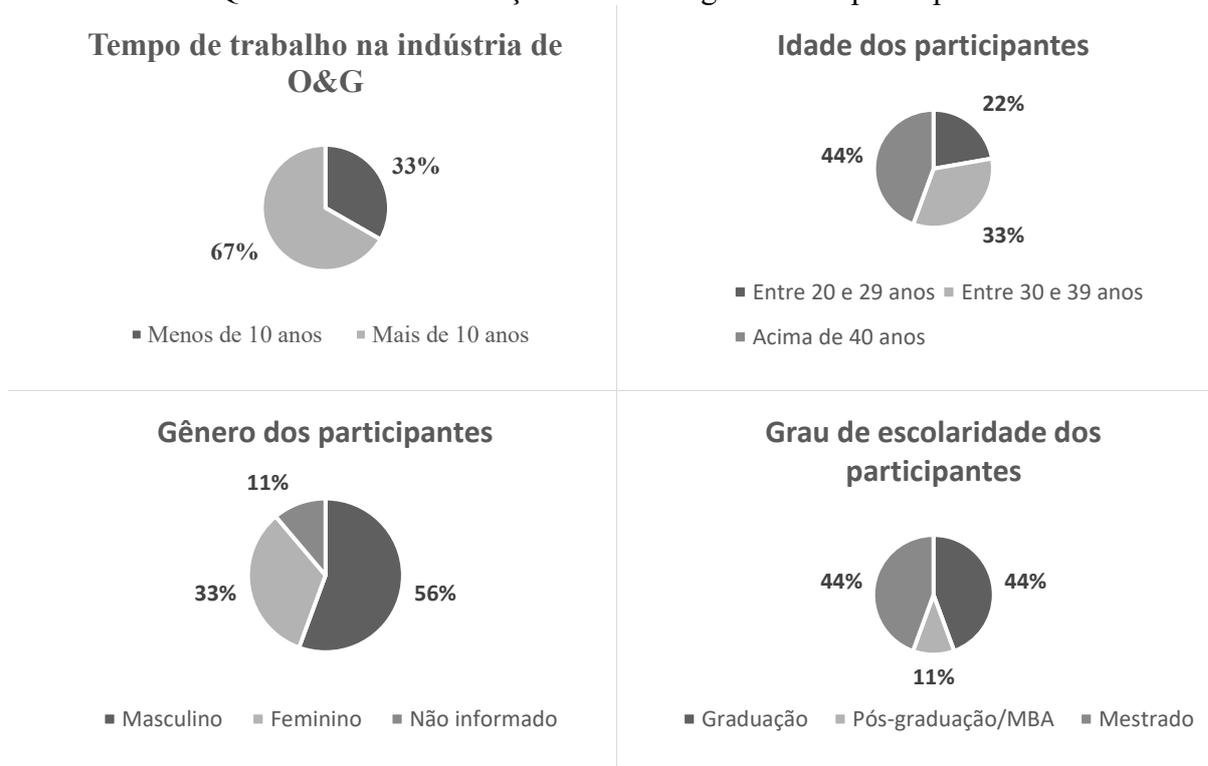
A determinação das importâncias relativas das categorias e, em seguida, das assertivas, nos permitiu iniciar a coleta de dados junto às empresas do setor de O&G que contribuíram com o estudo. Adiante, detalhamos como esta etapa foi realizada, apresentando resultados parciais que puderam ser analisados frente aos objetivos da pesquisa.

### 5.3 COLETA DE DADOS

Durante aproximadamente 15 dias, coletamos, por meio de um questionário anônimo, os dados necessários à experimentação do framework resultante desta tese. Responderam a este questionário 9 dos 25 trabalhadores que atuam na subdivisão AT que consideramos, para o estudo, como o domínio de análise. Esta amostra representa 36% da população pesquisada e foi selecionada aleatoriamente.

No Quadro 38, apresentamos os dados obtidos a partir das respostas dos participantes que nos permitem traçar sua caracterização sociodemográfica.

Quadro 38: caracterização sociodemográfica dos participantes



Fonte: elaborado pelo autor.

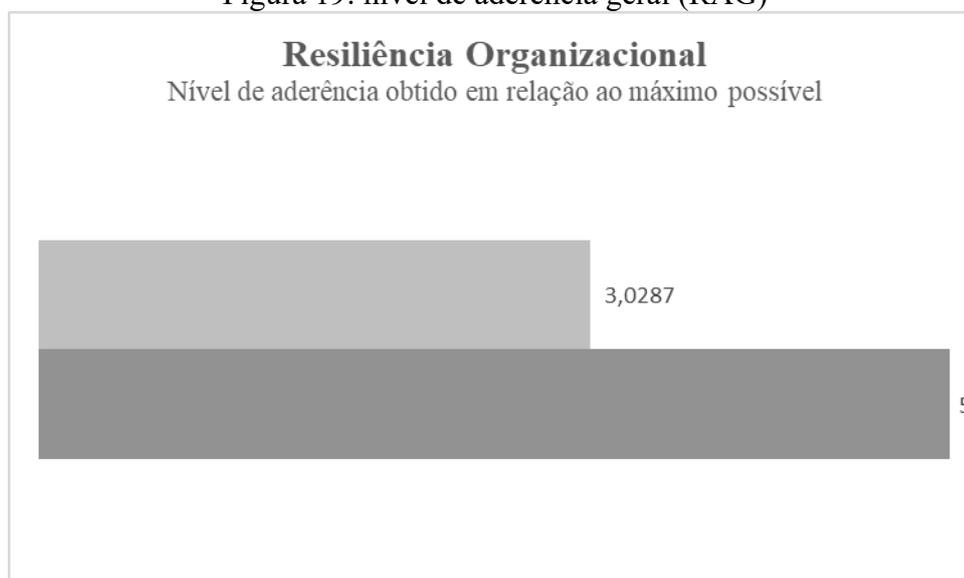
Pela análise dos gráficos, pode-se depreender que a maioria dos participantes trabalha há mais de 10 anos na indústria de O&G, possui mais de 40 anos de idade, identifica-se como pertencente ao gênero masculino e possui o título de mestre como titulação máxima.

#### 5.4 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA E VIABILIDADE DO FRAMEWORK

Após aplicação do questionário junto ao público-alvo, organizamos e consolidamos os dados para procedermos com sua análise. Lembramos que os resultados obtidos representam a realidade das empresas envolvidas no estudo, especialmente da subdivisão selecionada para responder à pesquisa, mas seu objetivo primário é o de experimentar o framework proposto por esta tese. Por isso, o leitor deve visualizar os próximos parágrafos desta seção como uma demonstração da aplicação do método e das análises possíveis a partir dos dados coletados para, se for o caso, adaptá-lo à realidade que pretende estudar.

O desempenho resiliente de uma organização pode ser avaliado a partir de suas capacidades de responder à variabilidade, monitorar o que acontece e reconhecer mudanças que possam afetar sua capacidade de realizar as operações atuais ou pretendidas, antecipar desenvolvimentos futuros que vão além de suas operações atuais e aprender com a experiência. Nesta pesquisa, nossa lente de análise esteve focada na aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e às capacidades da resiliência organizacional. Assim, a pontuação obtida por cada capacidade de resiliência reflete, em um intervalo de 1 a 5, o quão distante as referidas iniciativas estão do nível ideal de aderência. Ao consolidarmos os dados obtidos pelas respostas aos questionários, obtivemos uma nota geral de 3,0287 que corresponde ao nível de aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional percebido pelos respondentes.

Figura 19: nível de aderência geral (RAG)

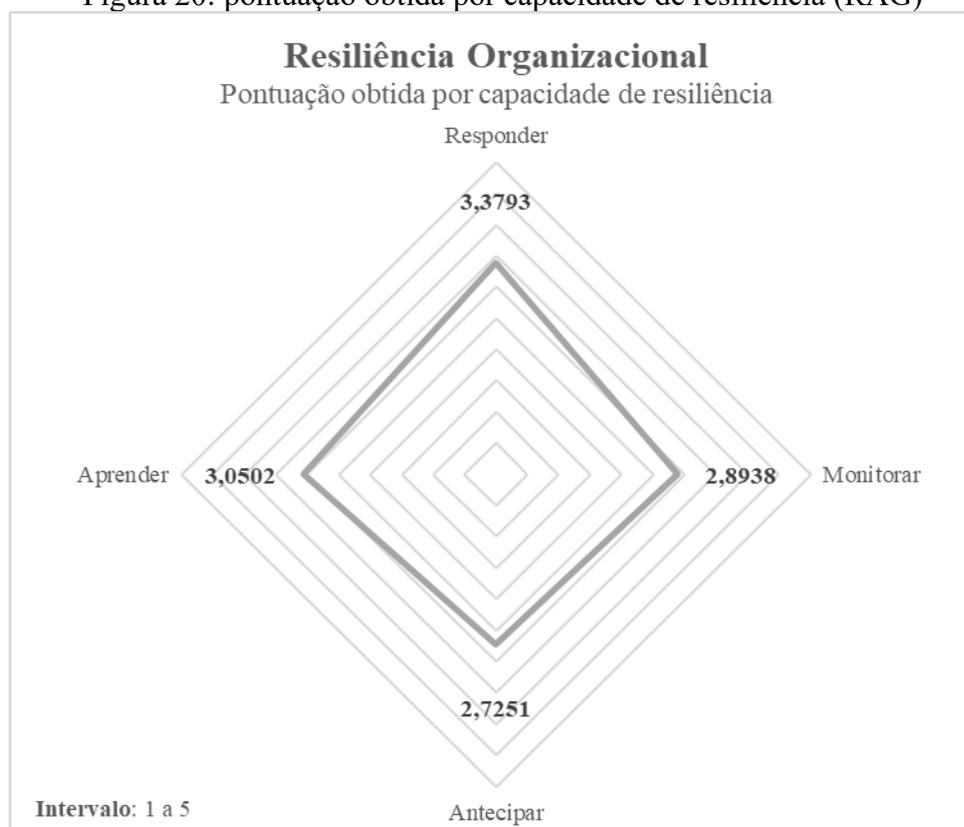


Fonte: elaborada pelo autor.

Na Figura 20, em um gráfico de radar, apresentamos as pontuações obtidas por cada capacidade de resiliência. Inexiste um parâmetro de desempenho que possamos tomar como referência, por isso não podemos inequivocadamente taxar a pontuação obtida como positiva ou negativa. Cabe a organização assumir que as capacidades de resiliência podem e devem sempre ser aprimoradas e, para avaliar a evolução ao longo do tempo, realizar pesquisas longitudinais que permitam comparar os desempenhos. Faz sentido, contudo, que as pontuações obtidas por cada capacidade em uma mesma pesquisa sejam comparadas entre si.

Desta forma, os resultados expõem a capacidade de responder (3,3793) como a mais evoluída na organização, ligeiramente à frente da capacidade de aprender (3,0502). As capacidades de monitorar (2,8938) e de antecipar, respectivamente, receberam as notas mais baixas dos respondentes. Isto quer dizer, possivelmente, que as iniciativas de TD e I4.0 já implementadas ou em implementação estão contribuindo mais com as respostas e com a aprendizagem da organização e menos com o monitoramento e a antecipação.

Figura 20: pontuação obtida por capacidade de resiliência (RAG)



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao examinarmos as pontuações obtidas por categoria de análise, sem estabelecer qualquer distinção de relevância entre elas, percebemos distâncias maiores entre as avaliações. ‘Automação digital’ (3,6111) e ‘Cibersegurança’ (3,5556) despontam como as categorias mais bem avaliadas enquanto ‘Desenvolvimento e design’ (2,5679) e ‘Habilidades e competências’ (2,6222) receberam as menores notas dos respondentes. Acreditamos que esta diferença se deva à dificuldade já exposta pela literatura, conforme adiantamos nas seções pregressas desta tese, de as organizações empresariais considerarem os princípios de FH em suas iniciativas de TD e I4.0. As categorias ‘Automação digital’ e ‘Cibersegurança’ são aquelas mais relacionadas ao incremento tecnológico, objetivo que orientou grande parte das iniciativas empreendidas nos últimos anos. ‘Desenvolvimento e design’ e ‘Habilidades e competências’, por sua vez, abordam essencialmente o trabalho humano, a organização do trabalho e a relação entre humanos e artefatos tecnológicos – justamente a lacuna apontada pelos teóricos de FH (NEUMANN; KOLUS; WELLS, 2016; PARROTT; WARSHAW, 2017; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020) acerca da TD e da I4.0.

Na Figura 21, apresentamos as pontuações obtidas por cada uma das 10 categorias de análise.

Figura 21: pontuação obtida por categoria (RAG)



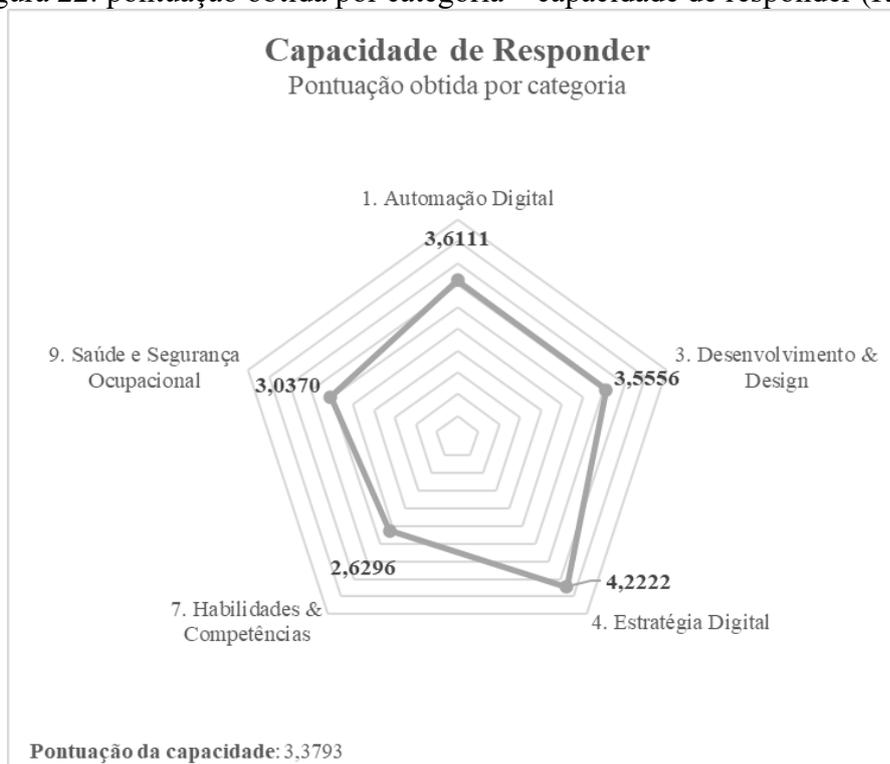
Fonte: elaborada pelo autor.

Uma análise alternativa pode também ser realizada pela avaliação das pontuações obtidas por categoria de acordo com cada capacidade de resiliência. Para tal, são calculadas as médias simples das notas atribuídas às assertivas, pois elas possuem todas os mesmos pesos.

Em relação à capacidade de responder (3,3793), os dados apontam maior aderência das variáveis relativas à ‘Estratégia digital’ (4,2222) enquanto ‘Habilidades e competências’ (2,6296) destacam-se pela baixa pontuação obtida em comparação com as demais categorias de análise. A partir desses dados, é possível inferir que a organização alvo da pesquisa enfrente dificuldades, no futuro, para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho (BERGHAUS; BACK, 2016; CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; LICHTBLAU et al., 2015) decorrentes de debilidades tecnológicas dos trabalhadores e das lideranças organizacionais. Como medida para atenuação deste problema, a literatura sugere investimentos na capacitação tecnológica dos trabalhadores e o estabelecimento de aptidões para o manuseio de tecnologias digitais como requisito nos processos de recrutamento e seleção (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).

Na Figura 22, apresentamos as pontuações atribuídas às demais categorias associadas a esta capacidade.

Figura 22: pontuação obtida por categoria – capacidade de responder (RAG)



Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à capacidade de monitorar (2,8938), destaca-se negativamente a categoria ‘Estratégia digital’ (2,4444). É curioso perceber que as assertivas relacionadas a esta categoria de análise associadas à capacidade de responder receberam notas significativamente mais altas, o que pode indicar um direcionamento da estratégia digital às respostas aos eventos críticos em detrimento do monitoramento do ambiente. Este é um tipo de análise comparativa que só pode ser feita quando as mesmas categorias são associadas a mais de uma capacidade. Neste sentido, procedemos de forma diferente de Patriarca et al. (2017) e acreditamos ser esta uma prática útil e que, por isso, merece ser recomendada.

Na Figura 23, apresentamos as pontuações obtidas para as categorias de análise associadas à capacidade de monitorar.

Figura 23: pontuação obtida por categoria – capacidade de monitorar (RAG)



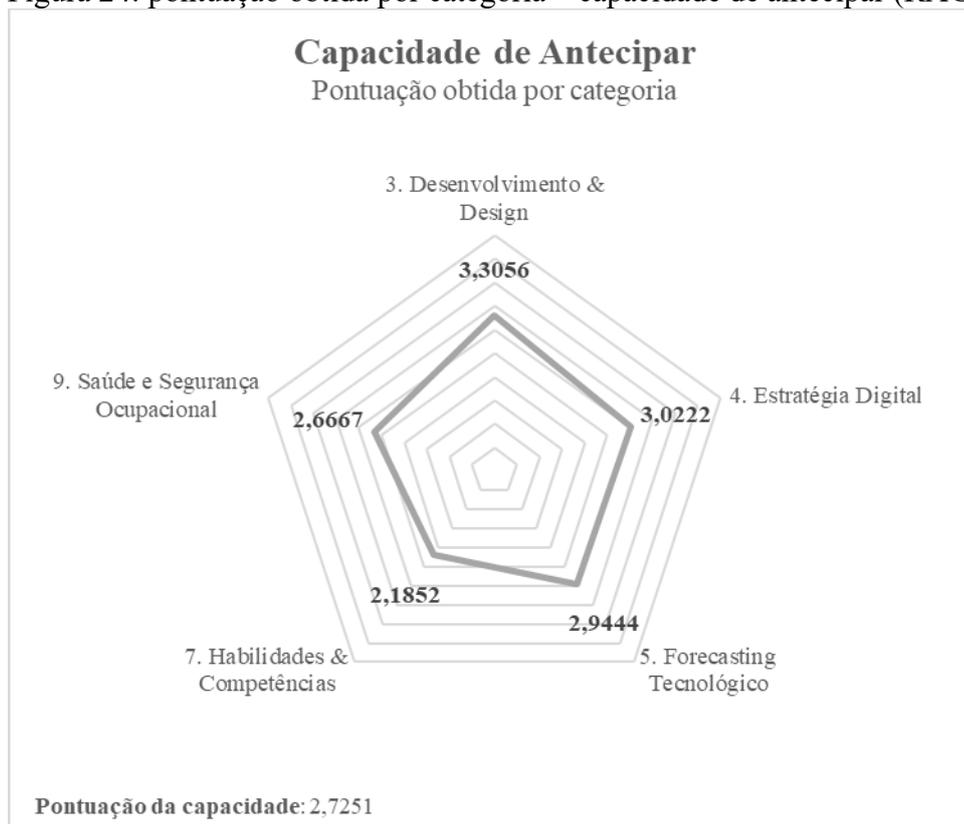
Fonte: elaborada pelo autor.

Para as assertivas associadas à capacidade de antecipar (2,7251), foram atribuídas as pontuações mais baixas em comparação com as das demais capacidades. A categoria ‘Habilidades e competências’ (2,1852) destaca-se negativamente, evidenciando possíveis

deficiências na capacidade que os próprios trabalhadores têm de agir para antecipar situações que possam comprometer a segurança deles próprios e da operação.

A Figura 24 apresenta-nos os resultados das demais categorias de análise associadas à capacidade de antecipar.

Figura 24: pontuação obtida por categoria – capacidade de antecipar (RAG)

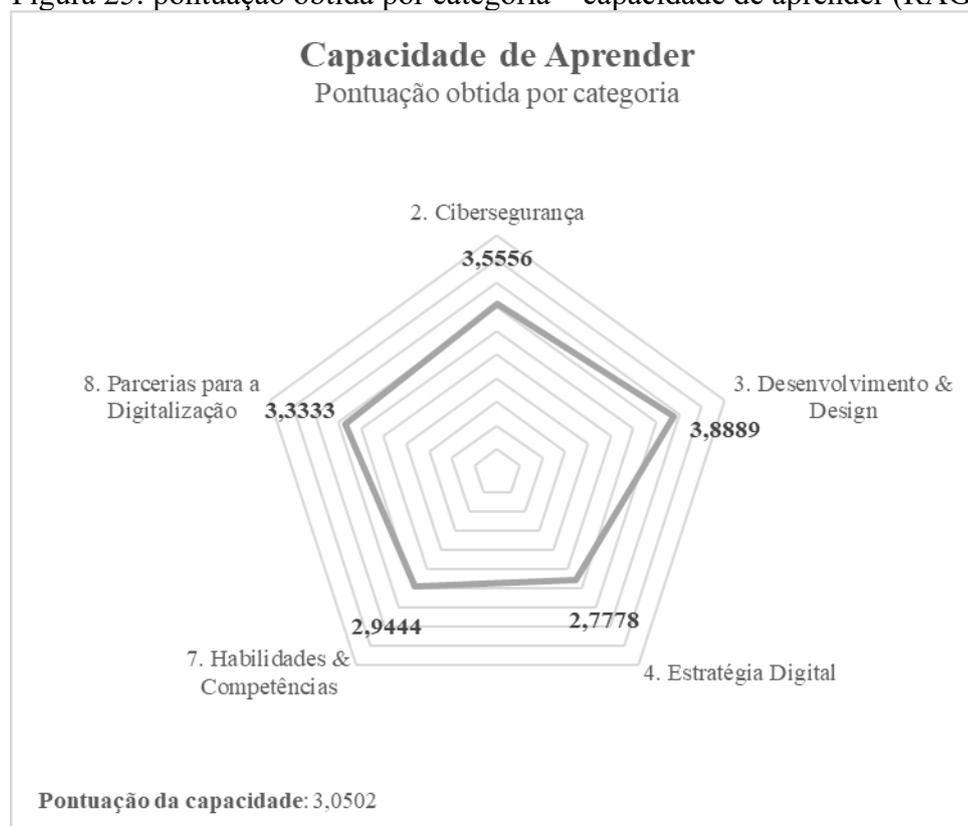


Fonte: elaborada pelo autor.

A capacidade de aprender também pode ser analisada a partir das pontuações obtidas por suas categorias. Neste grupo, as assertivas associadas à categoria ‘Desenvolvimento & Design’ (3,8889) receberam as notas mais elevadas enquanto ‘Estratégia Digital’ (2,7778), assim como em relação à capacidade de monitorar, foi aquela com a pior avaliação.

Na Figura 25, apresentamos as pontuações obtidas pelas demais categorias de análise desta capacidade.

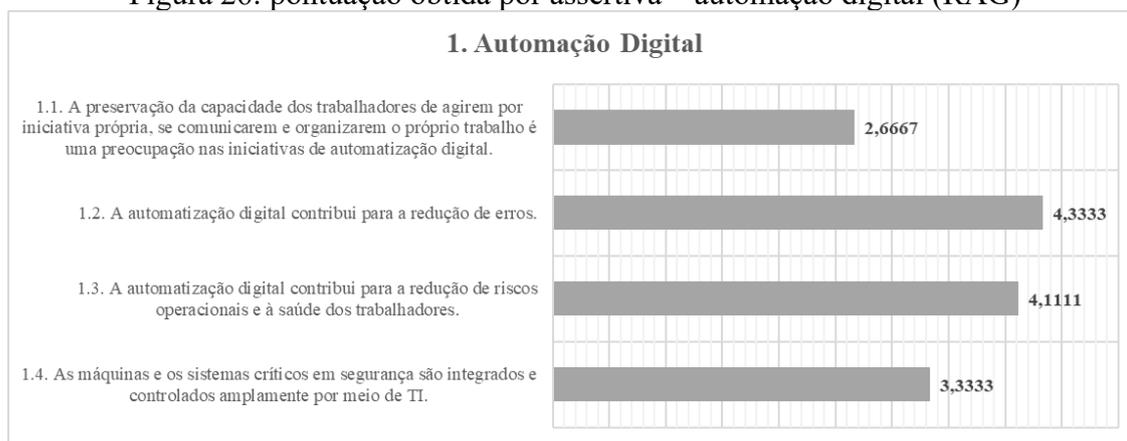
Figura 25: pontuação obtida por categoria – capacidade de aprender (RAG)



Fonte: elaborada pelo autor.

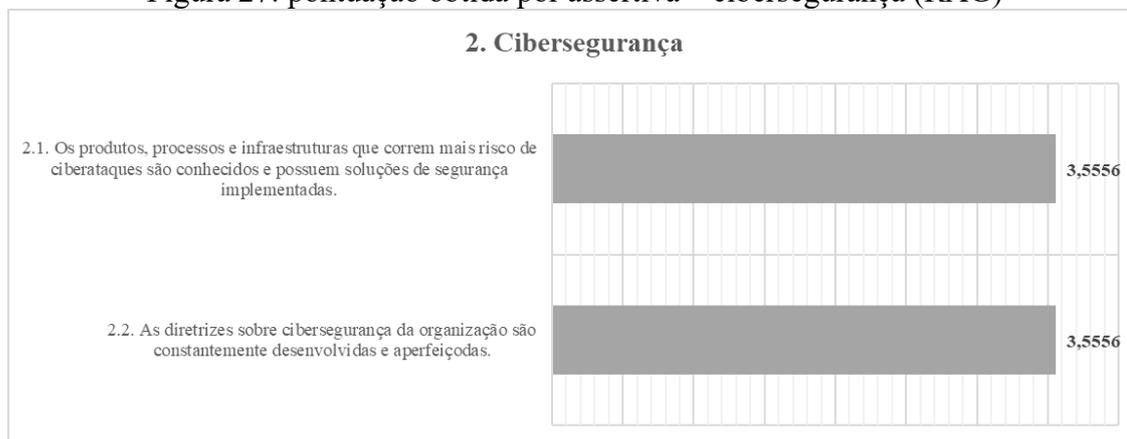
Uma alternativa para se compreender com ainda mais profundidade as notas atribuídas às assertivas e, conseqüentemente, obter um retrato da realidade da organização quanto à aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH, é realizar uma análise comparativa por categoria de análise. Adiante, demonstramos como fizemos isto em nossa experimentação. Lembramos novamente que uma boa prática decorrente desta técnica consiste na comparação longitudinal entre as pontuações obtidas por assertiva para mensurar a efetividade dos planos de ação que visem aumentar o potencial de resiliência das organizações pelo desenvolvimento e implantação de tecnologias digitais.

Figura 26: pontuação obtida por assertiva – automação digital (RAG)



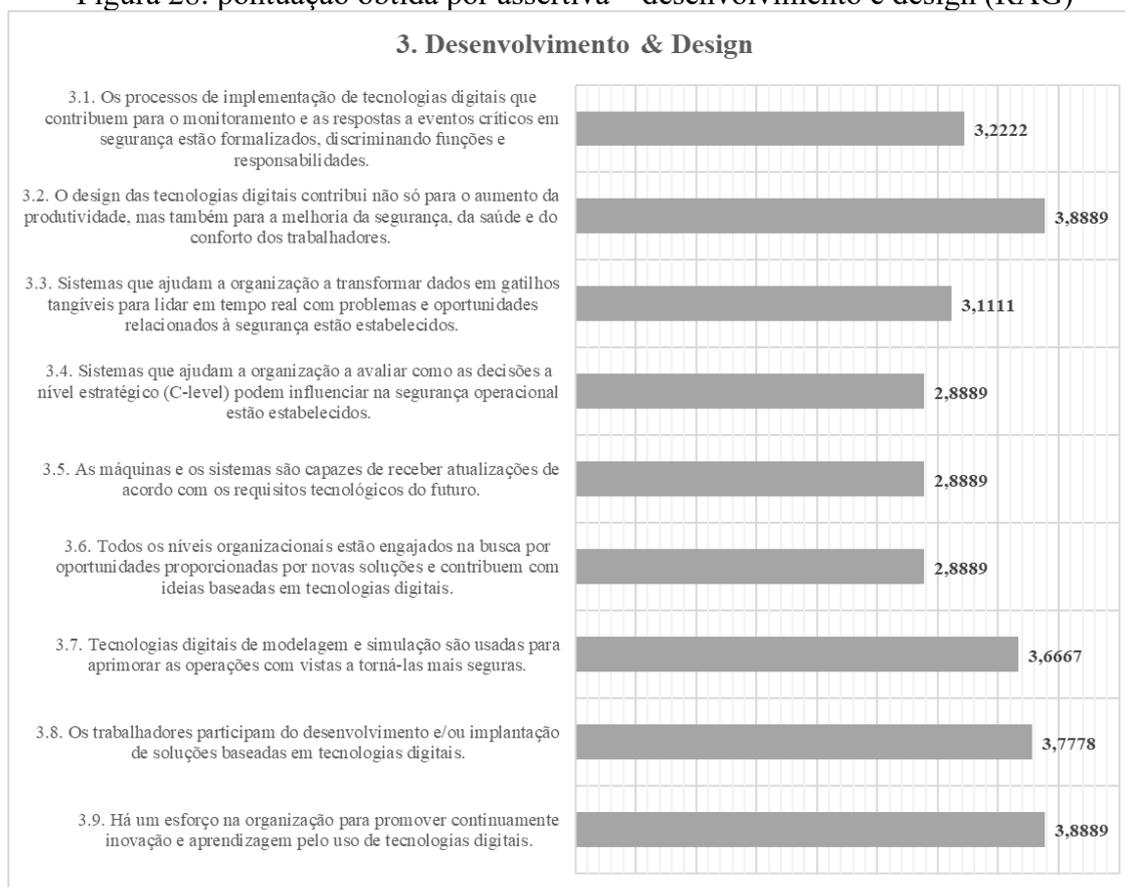
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 27: pontuação obtida por assertiva – cibersegurança (RAG)



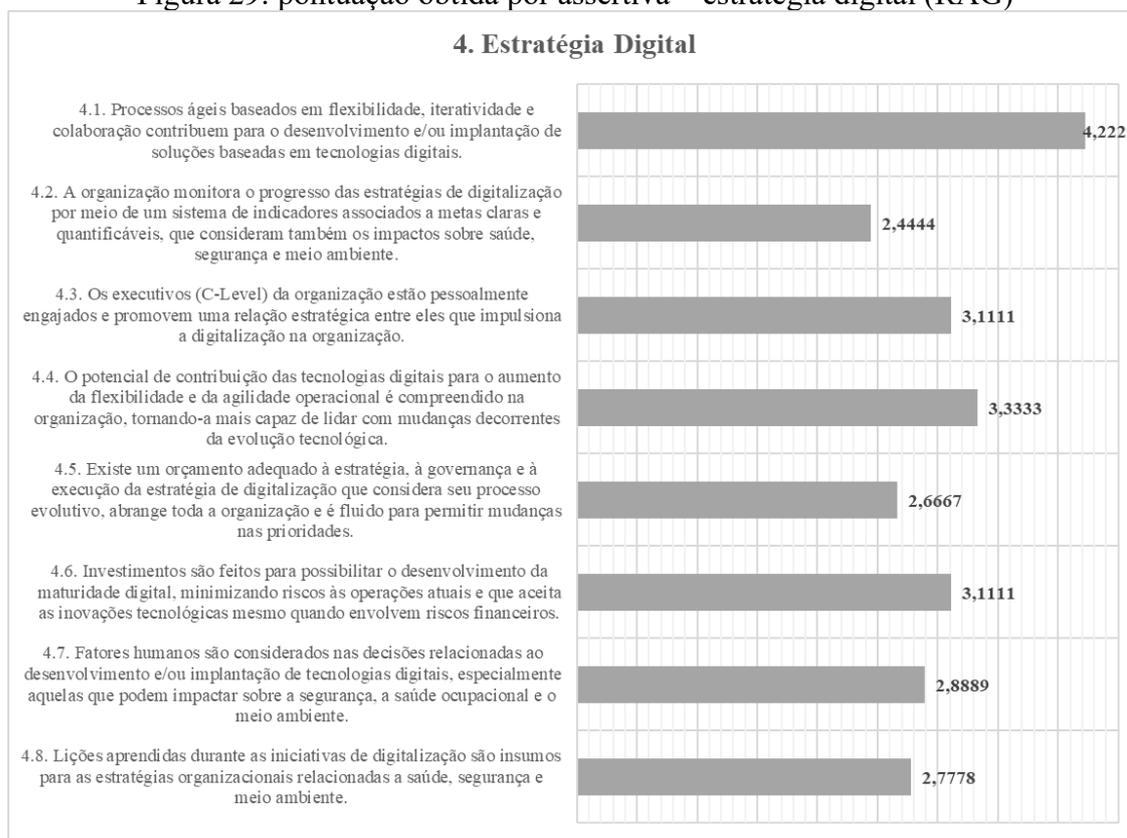
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 28: pontuação obtida por assertiva – desenvolvimento e design (RAG)



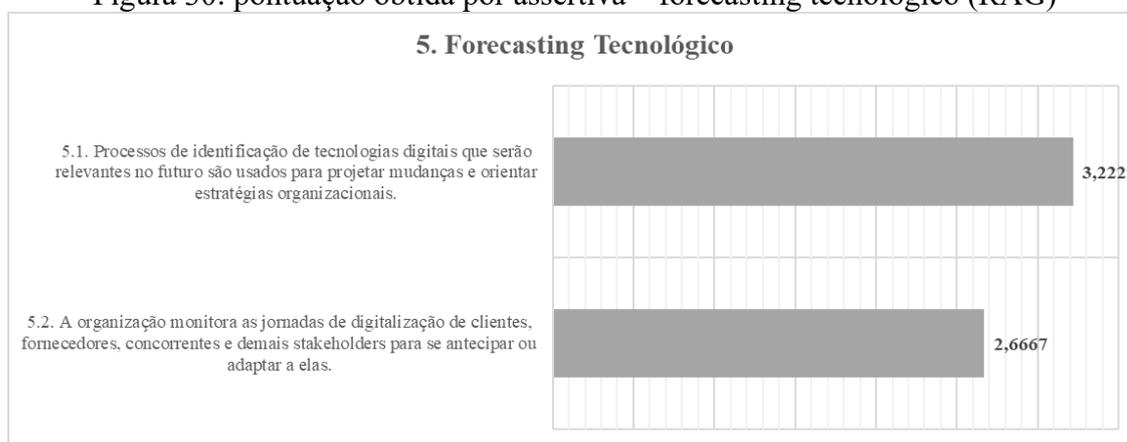
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 29: pontuação obtida por assertiva – estratégia digital (RAG)



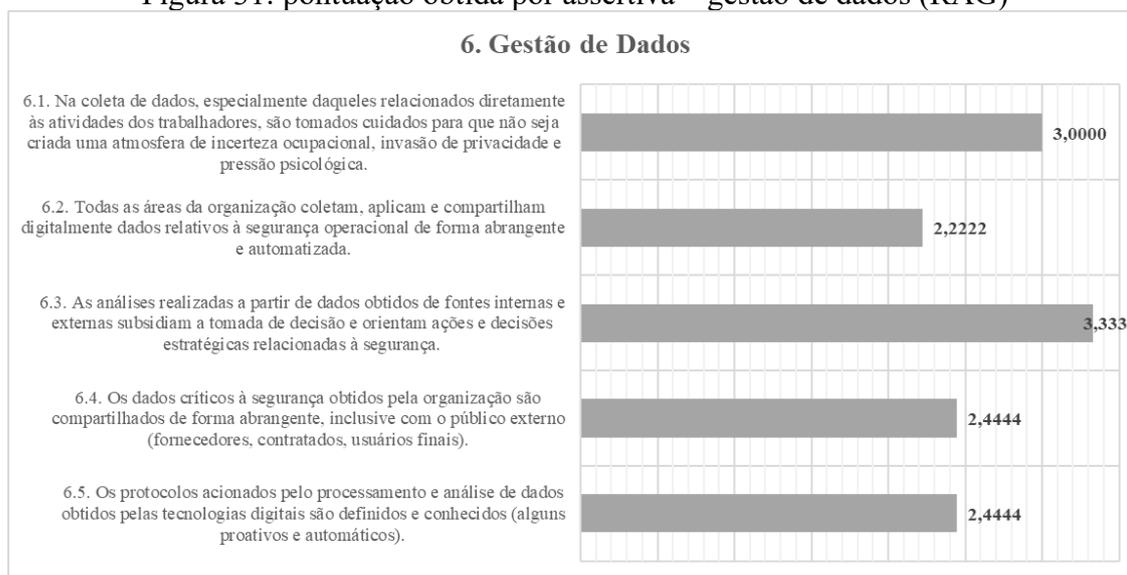
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 30: pontuação obtida por assertiva – forecasting tecnológico (RAG)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 31: pontuação obtida por assertiva – gestão de dados (RAG)



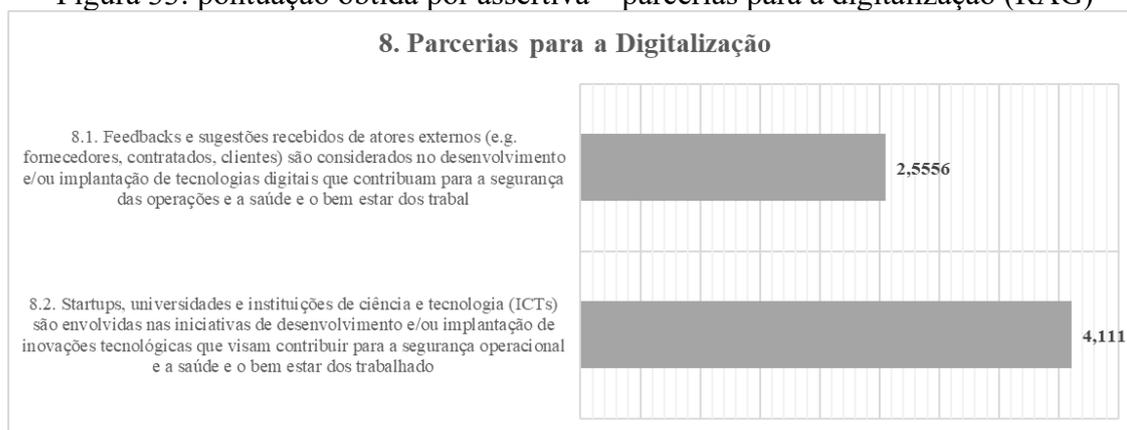
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 32: pontuação obtida por assertiva – habilidades e competências (RAG)



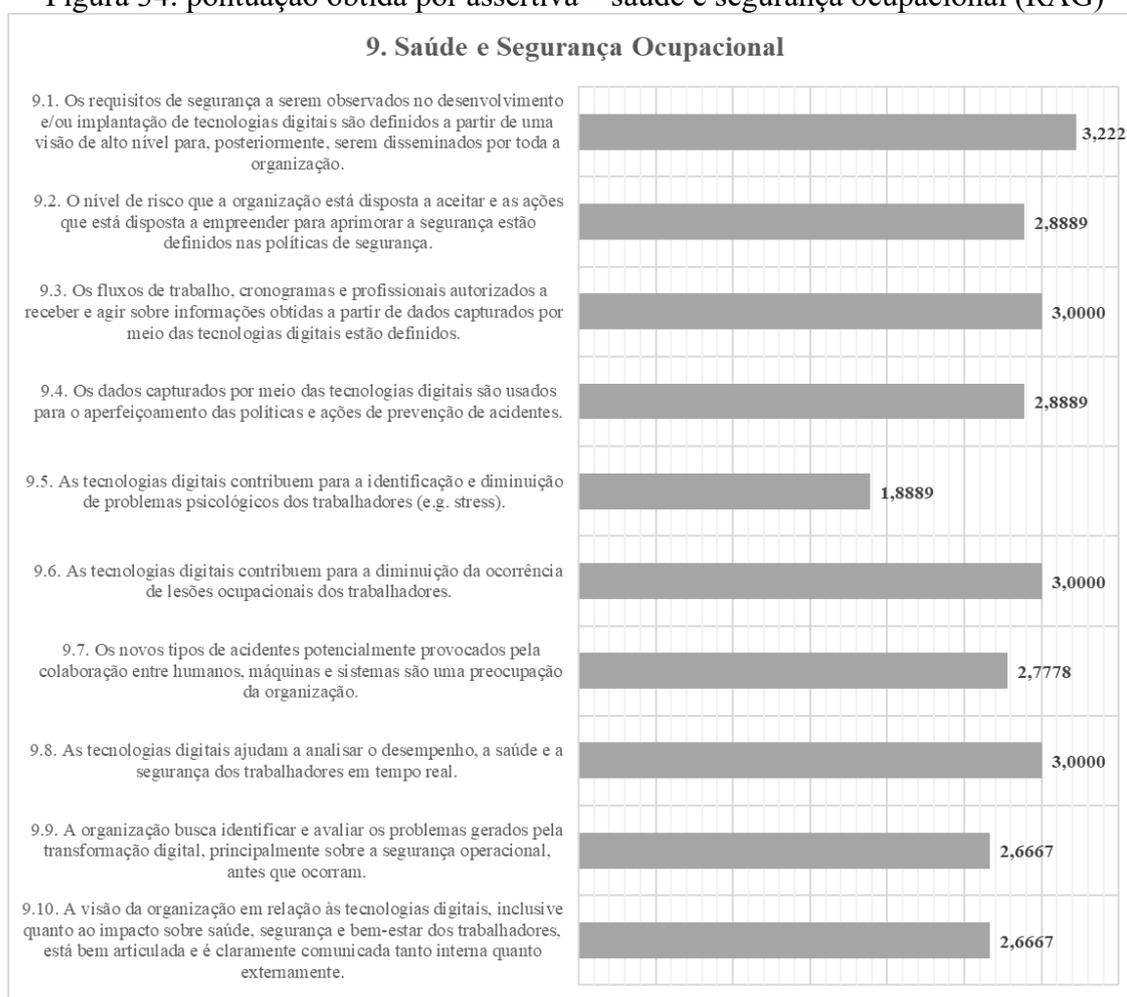
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 33: pontuação obtida por assertiva – parcerias para a digitalização (RAG)



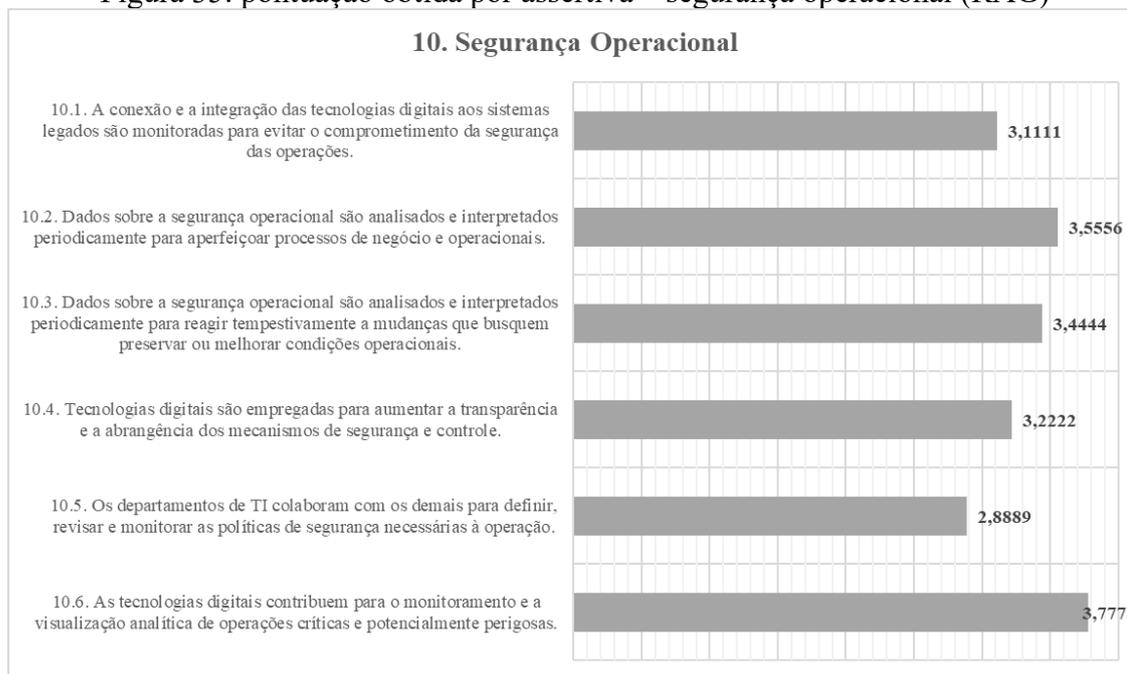
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 34: pontuação obtida por assertiva – saúde e segurança ocupacional (RAG)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 35: pontuação obtida por assertiva – segurança operacional (RAG)

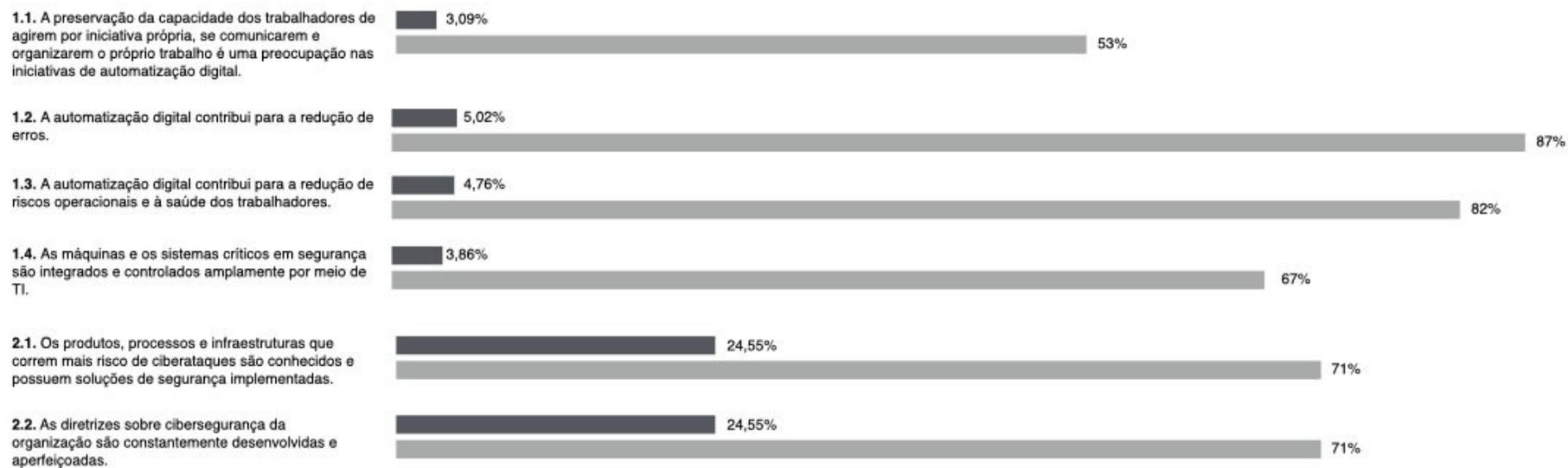


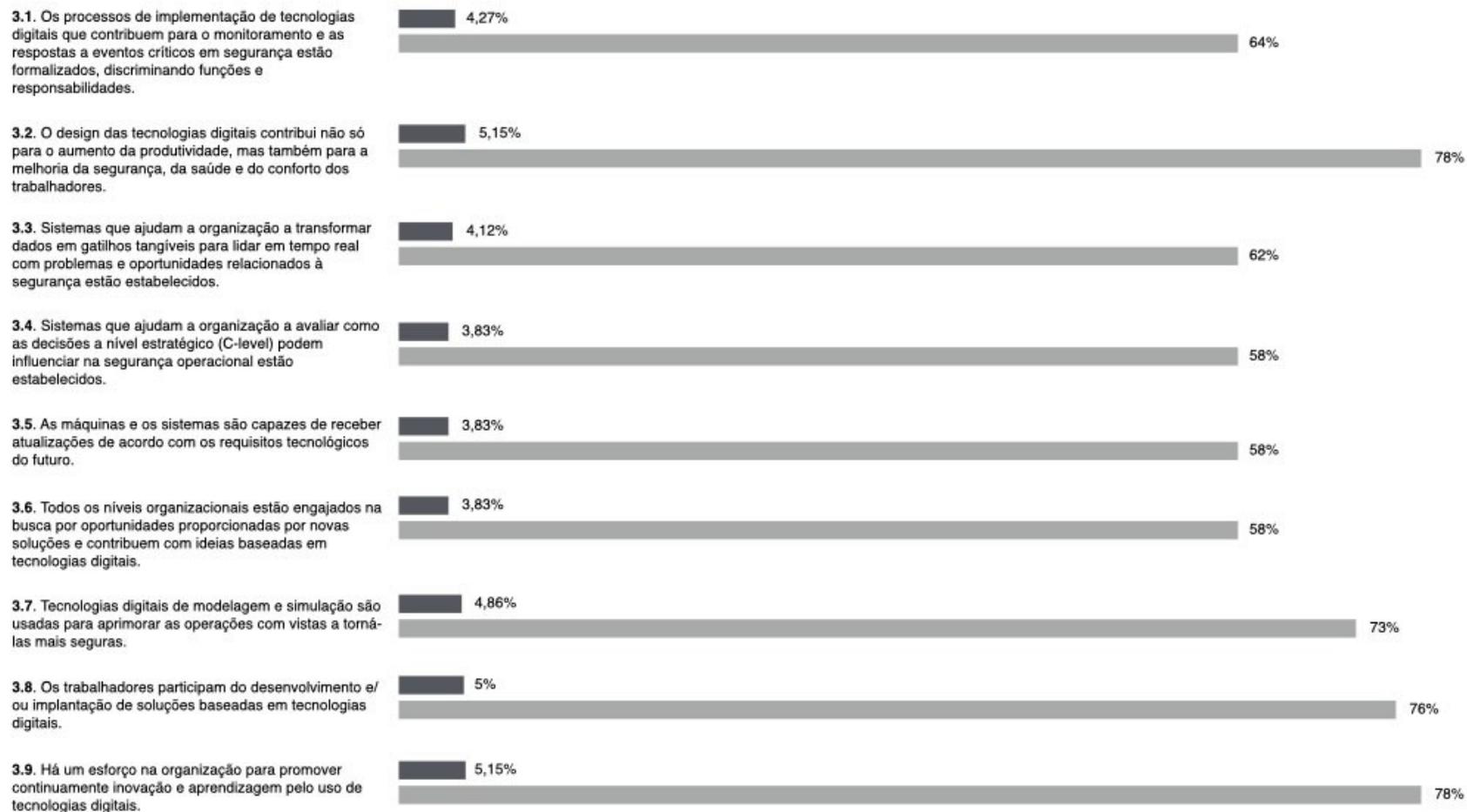
Fonte: elaborada pelo autor.

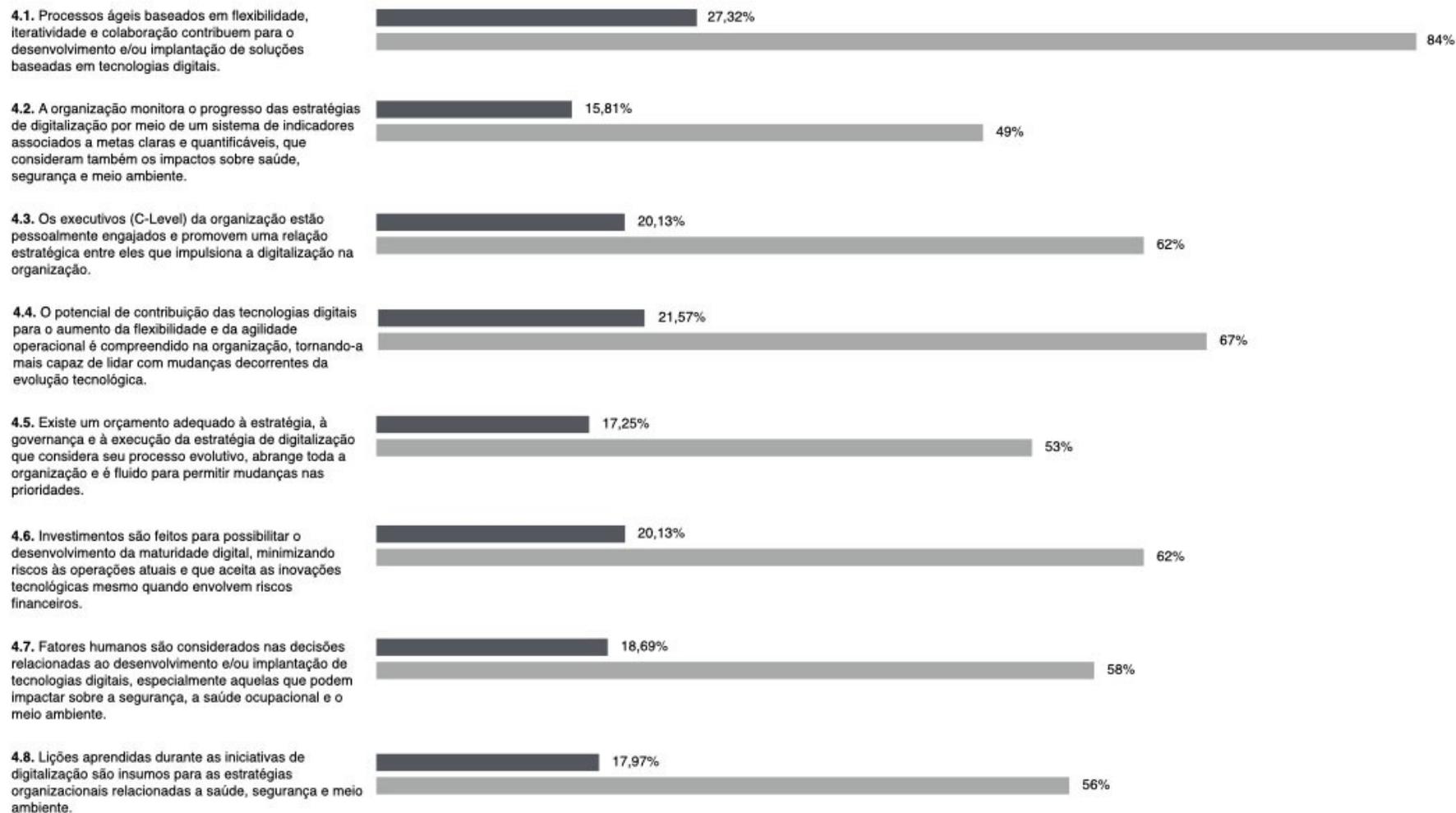
A combinação do RAG com a AHP proposta por Patriarca et al. (2017) tem como principal virtude permitir o aperfeiçoamento da identificação de fraquezas e forças do sistema pelo ranqueamento de fatores com base em sua relevância. Com isso, a projeção de ações que visem ao aumento do potencial de resiliência de uma organização pode ser aprimorada. Neste sentido, em nossa análise de dados, identificamos também a contribuição de cada assertiva para a pontuação geral obtida de acordo com sua relevância. Para isso, multiplicamos as notas médias atribuídas às assertivas pelo seu peso relativo.

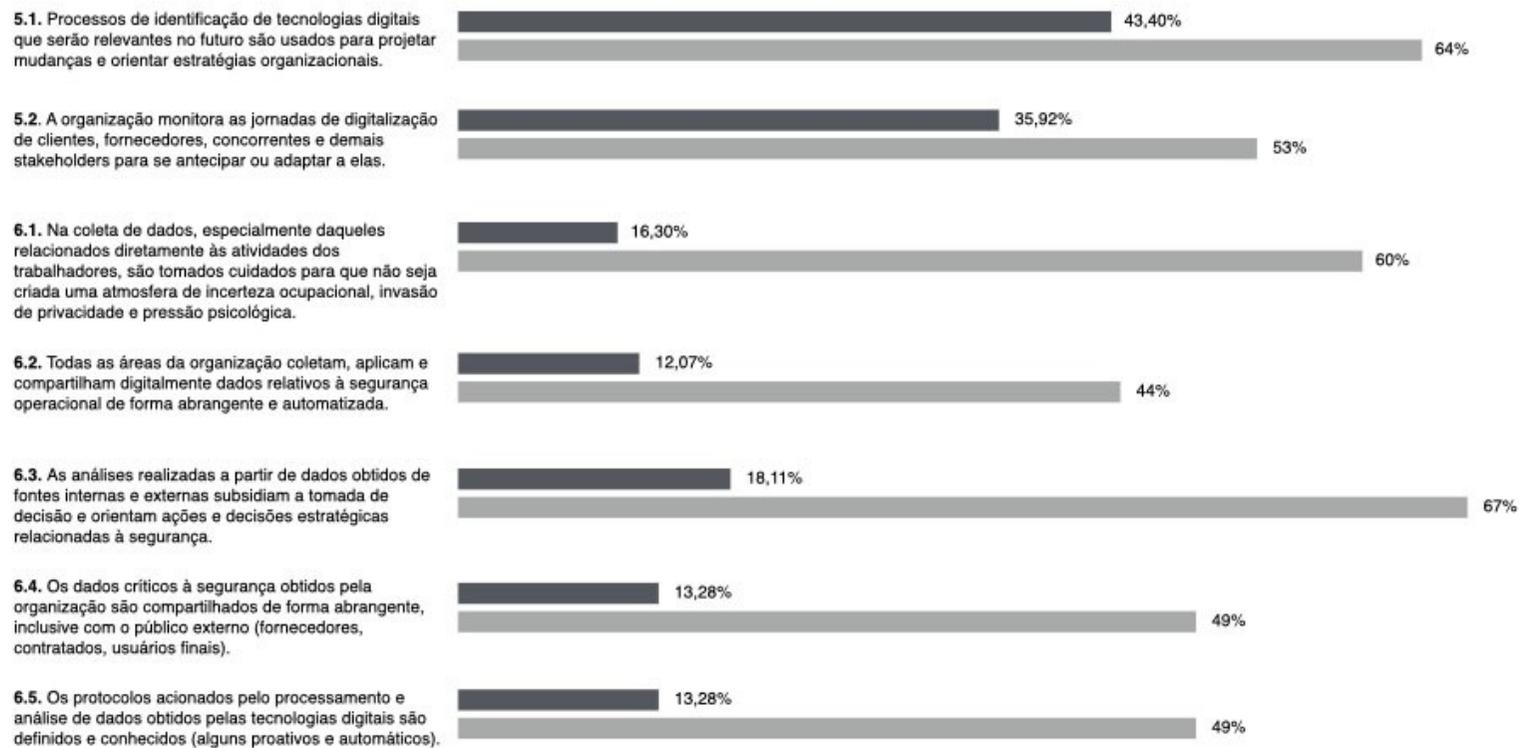
Na Figura 36, apresentamos o conjunto completo de assertivas que embasaram os instrumentos de coleta de dados propostos por esta tese acompanhadas das respectivas contribuições relativas à pontuação geral obtida e das notas médias atribuídas pelos respondentes convertidas em escala percentual.

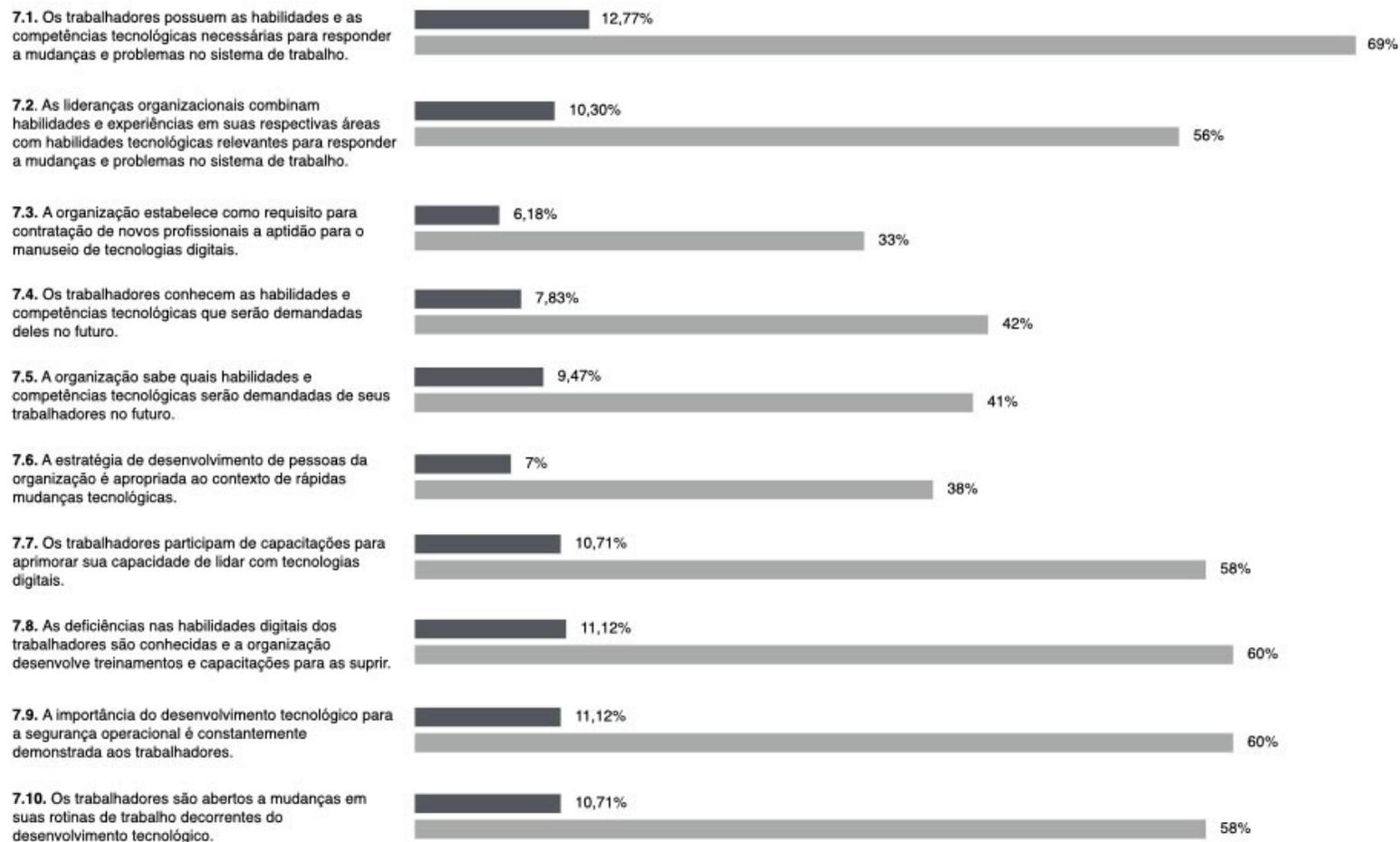
Figura 36: comparação entre as pontuações obtidas (coluna clara) e as contribuições relativas (coluna escura) de cada assertiva

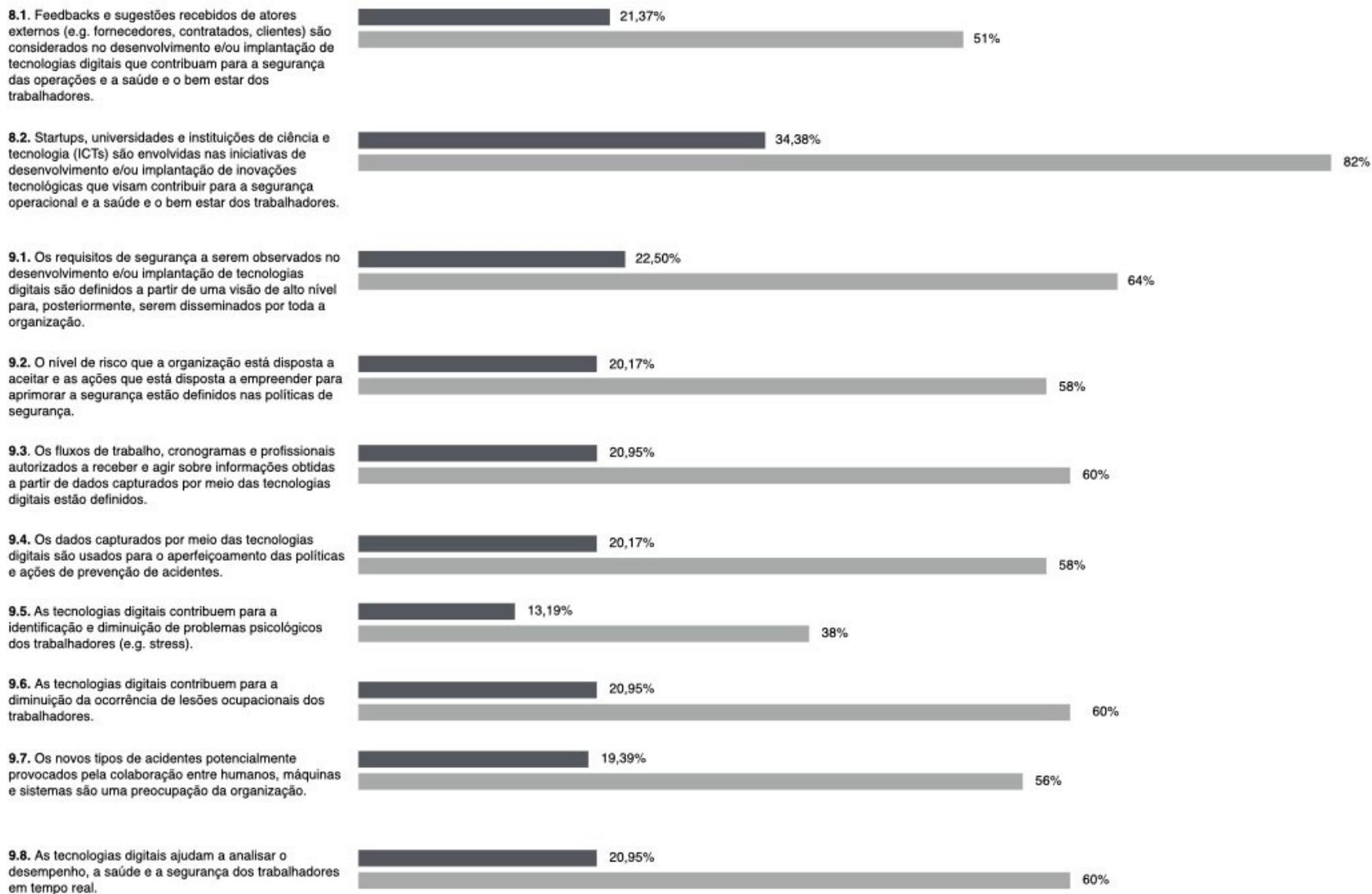


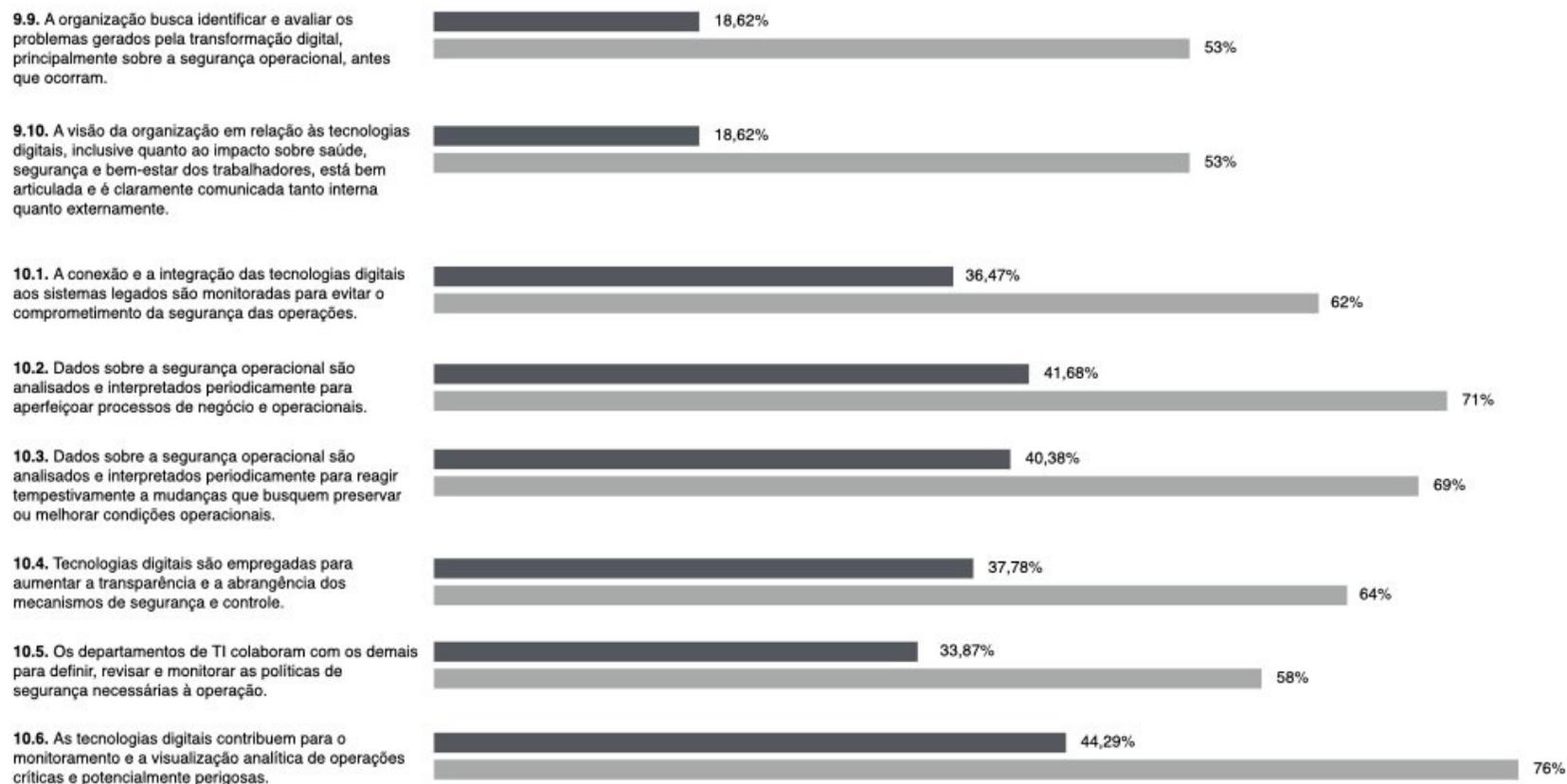












Pontuação final obtida: 3,0287

Categorias: 1 - Automação Digital; 2 - Cibersegurança; 3 - Desenvolvimento & Design; 4 - Estratégia Digital; 5 - Forecasting Tecnológico; 6 - Gestão de Dados; 7 - Habilidades & Competências; 8 - Parcerias para a Digitalização; 9 - Saúde e Segurança Ocupacional; 10 - Segurança Operacional

Fonte: elaborado pelo autor.

Pela análise gráfica orientada por comparações como as apresentadas acima, acreditamos que equívocos comuns podem ser evitados. O principal certamente é a supervalorização de um indicador decorrente da alta pontuação obtida por ele em um questionário baseado em escala Likert. Ao se definir previamente os pesos relativos de critérios ou variáveis (assertivas, no nosso caso), é possível visualizar a contribuição relativa dela para o alcance do objetivo proposto. Com isso, pode-se observar, em alguns casos, que critérios bem avaliados contribuem pouco para o alcance dos referidos objetivos em razão de sua baixa relevância.

Quando dedicamos alguma atenção aos gráficos expostos acima, percebemos ser este o caso, por exemplo, das assertivas expostas no Quadro 39:

Quadro 39: exemplo de assertivas com maior distância entre pontuação e contribuição relativa

Assertiva	Contribuição relativa		Pontuação média	
	%	Posição	Nota	Posição
1.2. A automatização digital contribui para a redução de erros.	5,02	48	4,3333	1
1.3. A automatização digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	4,76	51	4,1111	3
3.2. O design das tecnologias digitais contribui não só para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	5,15	46	3,8889	5
3.9. Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	5,15	47	3,8889	6
3.8. Os trabalhadores participam do desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	5,00	49	3,7778	8
3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	4,86	50	3,6667	9
1.4. As máquinas e os sistemas críticos em segurança são integrados e controlados amplamente por meio de TI.	3,86	54	3,3333	15
3.1. Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para o monitoramento e as respostas a eventos críticos em segurança estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	4,27	52	3,2222	18
3.3. Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar em tempo real com problemas e oportunidades relacionados à segurança estão estabelecidos.	4,12	53	3,1111	22

Fonte: elaborado pelo autor.

Por isso, acreditamos ser fundamental conceber uma forma de visualização alternativa dos resultados obtidos pela aplicação das técnicas propostas. Para tal, partimos do pressuposto de que, na gestão organizacional, o diagnóstico da realidade atual tem sempre o objetivo de contribuir com o seu aprimoramento e isto se faz normalmente pela concepção de ações e intervenções.

Além disso, consideramos que um instrumento que se propõe a ser útil também à prática e não somente à teoria precisa ser projetado para atender a gestores, que têm rotinas de trabalho atribuladas, com demandas concorrentes e que, por isso, precisam ter à sua disposição instrumentos que lhes permitam analisar cenários de forma clara e objetiva.

Com isto em mente, propomos uma forma complementar às já apresentadas de visualização dos resultados por meio de gráficos de dispersão. Eles, de forma muito intuitiva, permitem a visualização da posição dos indicadores em relação aos demais considerando tanto o nível de aderência, no eixo horizontal, quanto a relevância, no eixo vertical.

Entendemos que as relevâncias dos critérios adotados para avaliar o nível de aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e às capacidades de resiliência são dinâmicas e, por isso, podem mudar ao longo do tempo. Contudo, ainda que sofram alguma influência, elas não são altamente sensíveis a ações promovidas pela própria organização. Os níveis de relevância tendem a ser mais impactados por fatores externos, como a evolução tecnológica, o ambiente de negócios e o arcabouço legal e regulatório. Com isto, queremos dizer que o objetivo primordial dos planos de ação e intervenção que se espera serem concebidos a partir de análises como as que propomos, visem ao aumento do nível de aderência das iniciativas de TD e I4.0 e não ao incremento de sua relevância.

Diante disso, ao analisarmos um gráfico como o da Figura 37, sugerimos que pesquisadores e gestores organizacionais considerem todos os pontos, mas dediquem especial atenção àqueles posicionados no limiar superior de relevância e planejem intervenções sobre aqueles que, deste grupo, tenham pontuações relativas ao nível de aderência inferiores aos demais. Este é o caso, por exemplo, da assertiva 5.2<sup>15</sup> do referido gráfico. Sua relevância é a mais alta dentre todas as assertivas, contudo, a pontuação atribuída à sua aderência é relativamente baixa. Intervenções sobre ela, se bem-sucedidas, tendem a produzir efeitos altamente positivos sobre FH e resiliência organizacional.

Uma análise diametralmente oposta também pode ser feita pela análise deste gráfico. Ao constatar a pontuação baixa obtida por uma assertiva em relação às demais, um gestor pode se sentir intuitivamente instigado a propor ações que visem à sua melhoria. Contudo, se a relevância de tal assertiva for também baixa em relação às demais, as intervenções podem ter

---

<sup>15</sup> 5.2. A organização monitora as jornadas de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders para se antecipar ou adaptar a elas.

pouco ou nenhum efeito sobre FH e resiliência organizacional. Este é o caso das assertivas 7.3<sup>16</sup>, 7.4<sup>17</sup> e 7.6<sup>18</sup> dispostas no gráfico.

---

<sup>16</sup> 7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais.

<sup>17</sup> 7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.

<sup>18</sup> 7.5. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.



Acreditamos que, em alguns cenários, baseado em análises pregressas, possa ser mais interessante analisar comparativamente os resultados obtidos a partir das capacidades de resiliência. Estamos falando das capacidades de responder, monitorar, antecipar e aprender. Dessa forma, o volume de assertivas a serem analisadas tende a ser menor, proporcionando maior clareza e objetividade. A concepção e execução de planos de ação e intervenção orientados pelas capacidades de resiliência também podem compor uma estratégia valiosa para a organização.

Na Figura 38, apresentamos a distribuição de assertivas por relevância e nível de aderência associadas à capacidade de responder. Tal qual na visão anterior, que reúne todas as assertivas sem distinção por capacidade de resiliência, percebemos de imediato a assertiva 4.1<sup>19</sup> como aquela que, ao mesmo tempo, reúne a maior relevância e o maior nível de aderência aos princípios de FH e à resiliência organizacional. Trata-se, portanto, de uma característica ou prática organizacional que deve ser preservada para que, em levantamentos posteriores, não seja considerada menos aderente.

Em sentido oposto, as assertivas 9.1<sup>20</sup>, 9.2<sup>21</sup> e 9.3<sup>22</sup>, consideradas ligeiramente mais relevantes que as demais, receberam notas baixas relativas à aderência. Elas, portanto, são as assertivas às quais um gestor deveria prestar especial atenção, pois ações que visem ao aumento de sua aderência tendem a produzir efeitos mais positivos sobre a capacidade de responder da organização.

Pela análise gráfica, podemos inferir ainda que tende a ser pouco efetivo investir tempo e recursos para aumentar o nível de aderência das assertivas 1.2<sup>23</sup> e 1.3<sup>24</sup> por elas terem sido muito bem avaliadas e possuírem baixa relevância. Não se pretende, evidentemente, que se diminua deliberadamente a aderência ao longo do tempo. Contudo, sabemos que as organizações sempre lidam com recursos escassos e metas concorrentes e, por isso, devem avaliar bem sua destinação. É isto que uma análise como esta também ajuda a fazer.

---

<sup>19</sup> 4.1. Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.

<sup>20</sup> 9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.

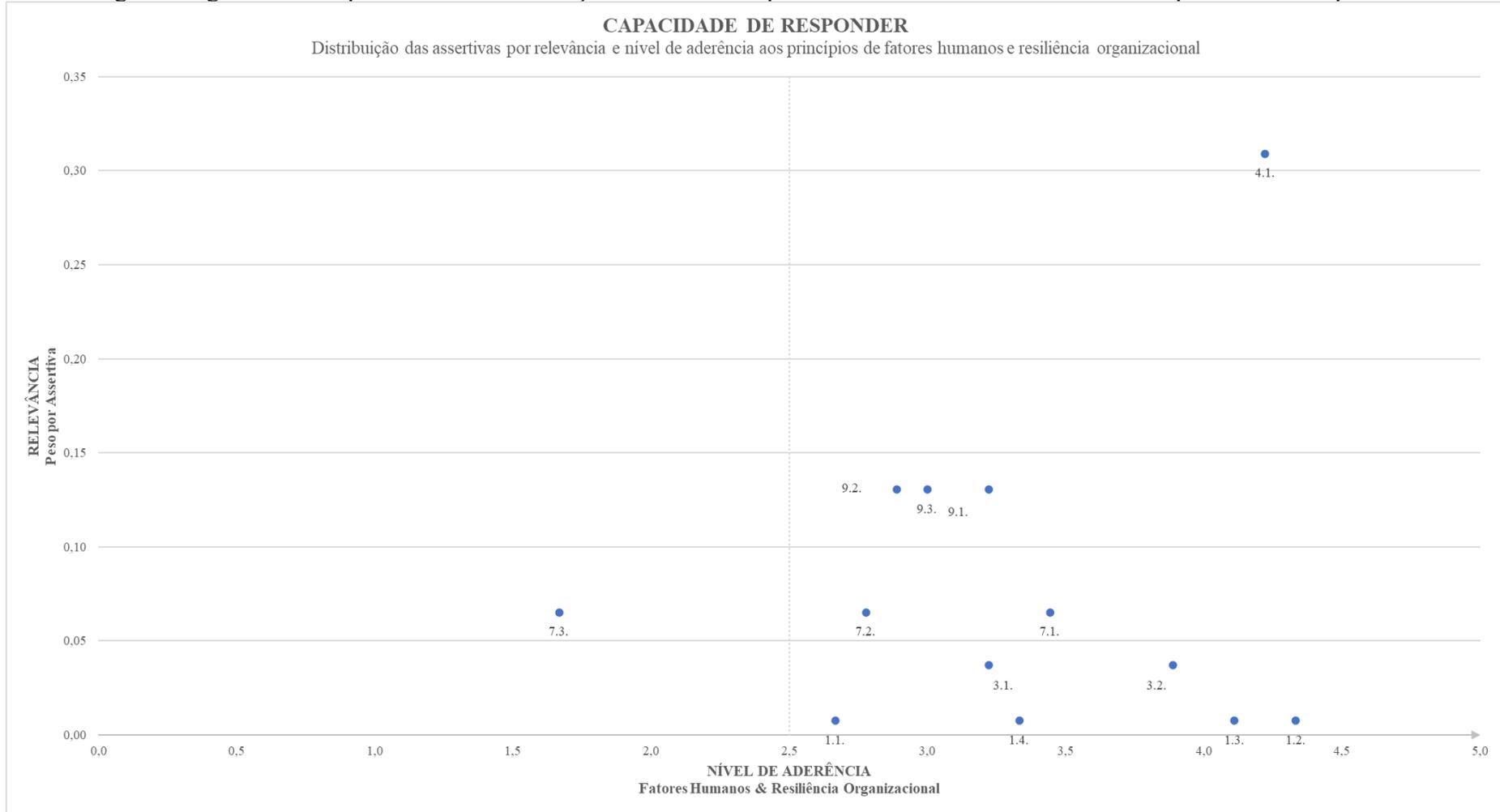
<sup>21</sup> 9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.

<sup>22</sup> 9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.

<sup>23</sup> 1.2. A automatização digital contribui para a redução de erros.

<sup>24</sup> 1.3. A automatização digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.

Figura 38: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de responder



Categorias: 1 - Automação Digital; 3 - Desenvolvimento & Design; 4 - Estratégia Digital; 7- Habilidades & Competências; 9 - Saúde e Segurança Ocupacional

Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à capacidade de monitorar, conforme atesta a Figura 39, a assertiva 4.2<sup>25</sup> é aquela que merece maior atenção, pois significativamente mais relevante que as demais e considerada pouco aderente aos princípios de FH e à resiliência organizacional. A assertiva 9.5<sup>26</sup>, ainda que menos relevante que a mencionada anteriormente, também mereceria atenção, pois a nota que lhe foi atribuída relativa à aderência é baixa em comparação com as demais. As assertivas 9.4<sup>27</sup>, 9.6<sup>28</sup>, 9.7<sup>29</sup>, 9.9<sup>30</sup> e 10.5<sup>31</sup> seriam aquelas que, depois das já referidas, também receberiam atenção com vistas ao aumento de sua aderência.

Em relação às capacidades de antecipar e de aprender, ao analisarmos os gráficos representados nas figuras Figura 40 e Figura 41, identificamos tendência semelhante. As assertivas 9.10, associada à capacidade de antecipar, e 4.8, à capacidade de aprender, despontam como significativamente mais relevantes e com pontuações que evidenciam seu baixo nível de aderência. Por isso, mereceriam maior atenção e prioridade de gestores organizacionais. As assertivas 7.6 e 7.4, relacionadas à capacidade de antecipar, e 8.1, 7.7 e 7.10, à capacidade de aprender, seriam aquelas que provavelmente seriam consideradas juntamente com as mencionadas acima.

---

<sup>25</sup> 4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.

<sup>26</sup> 9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).

<sup>27</sup> 9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.

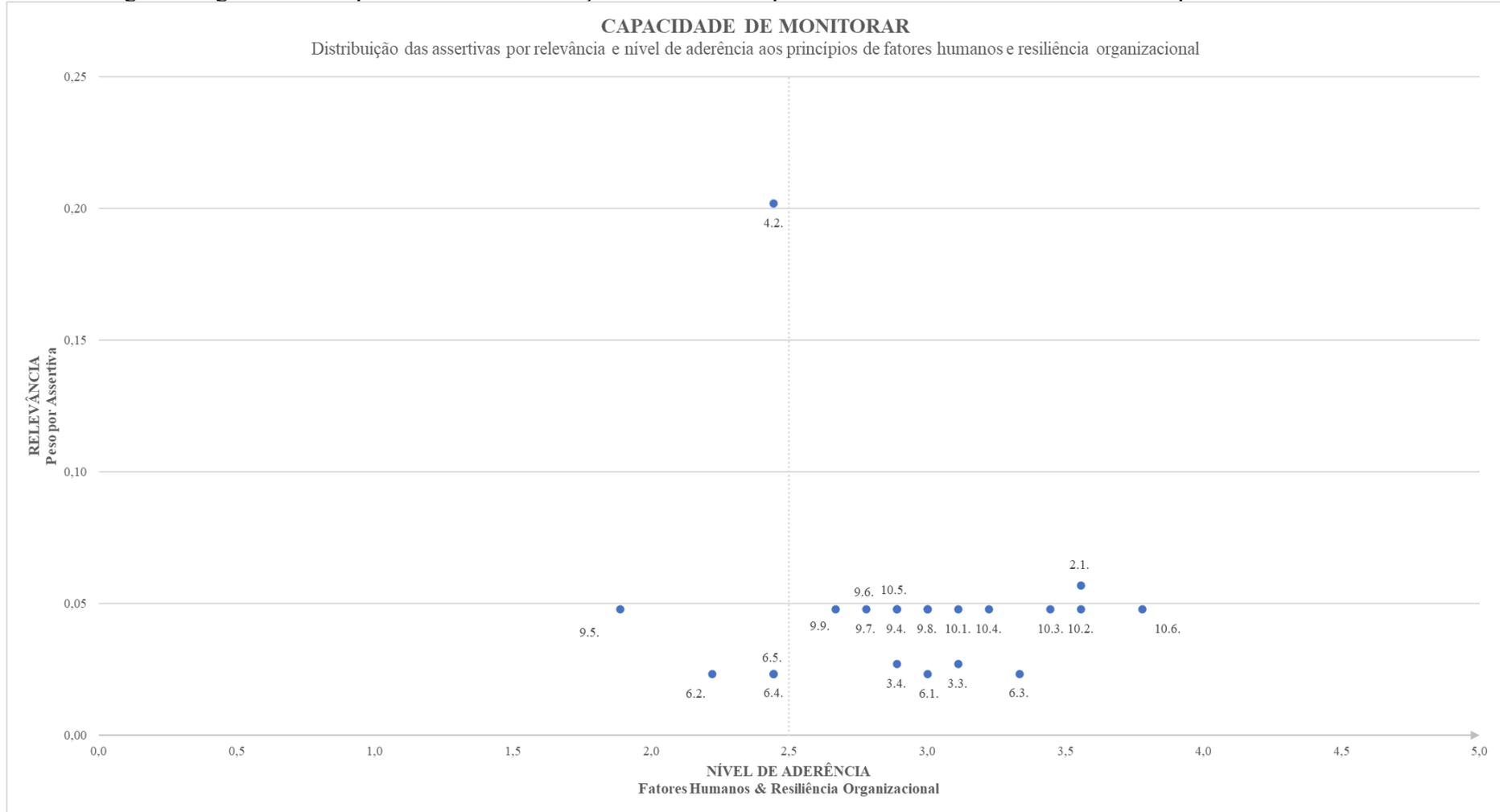
<sup>28</sup> 9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.

<sup>29</sup> 9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.

<sup>30</sup> 9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela transformação digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.

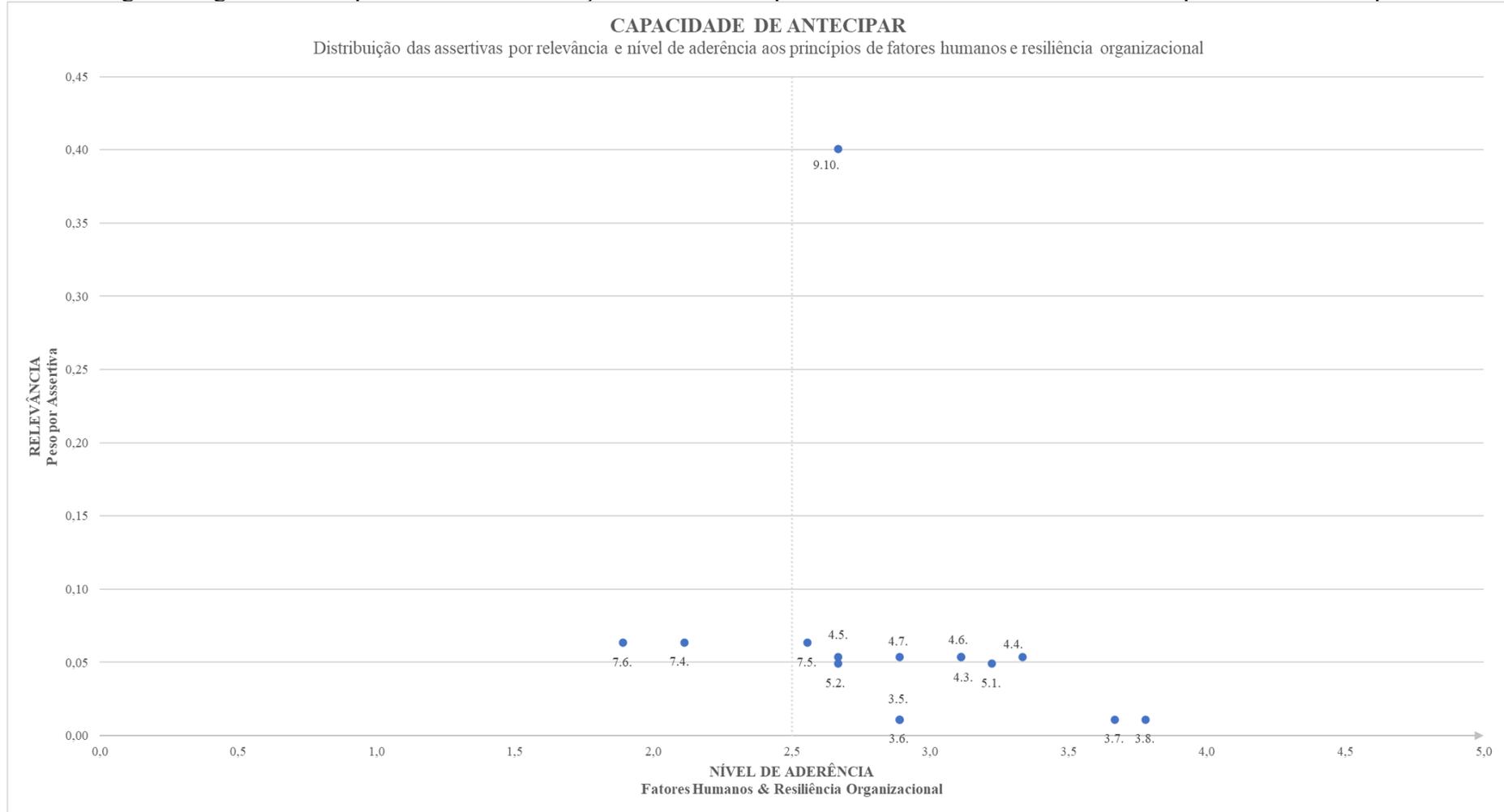
<sup>31</sup> 10.5. Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as políticas de segurança necessárias à operação.

Figura 39: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de monitorar



Fonte: elaborada pelo autor.

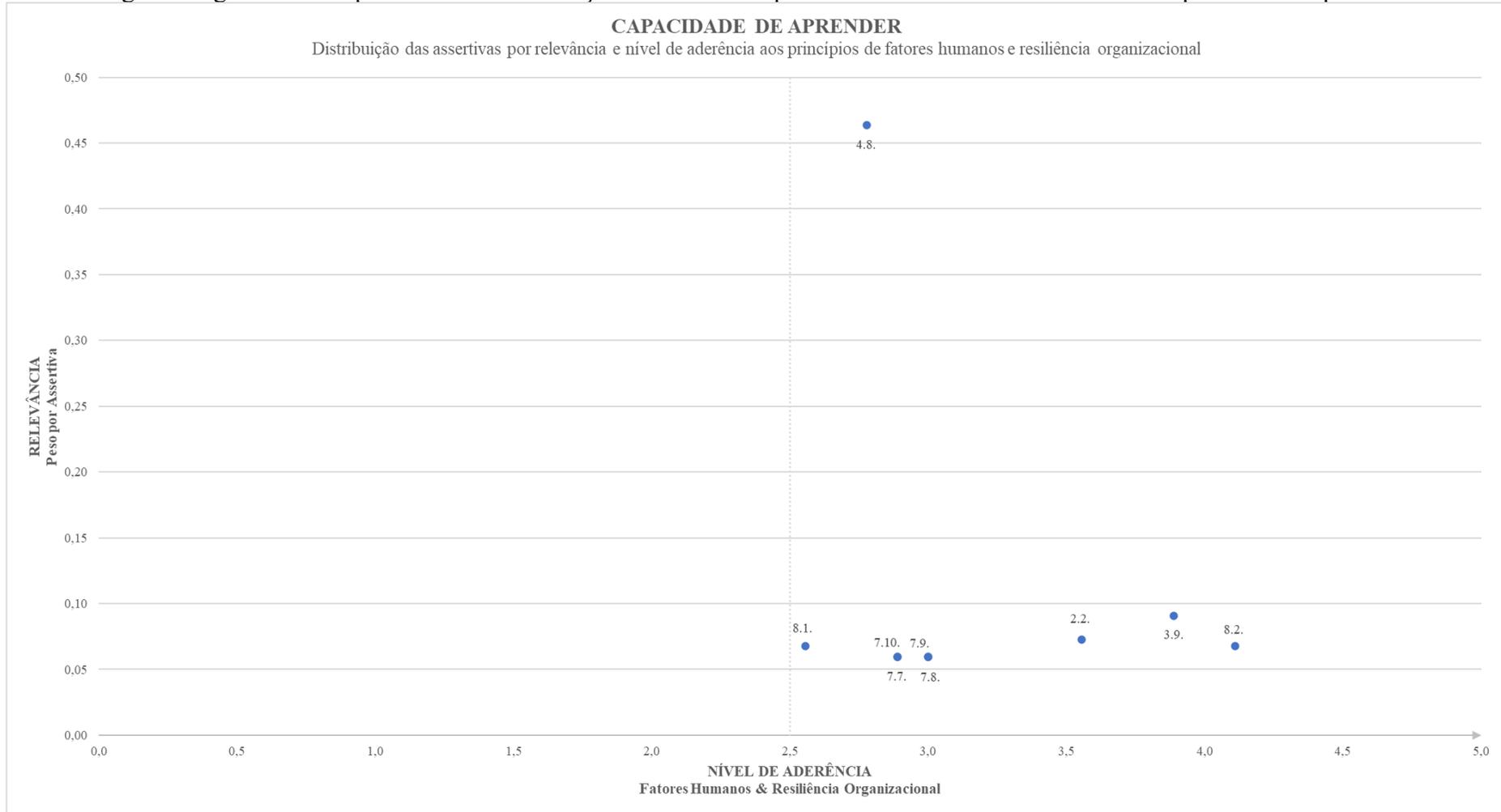
Figura 40: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de antecipar



Categorias: 3 - Desenvolvimento & Design; 4 - Estratégia Digital; 5 - Forecasting Tecnológico; 7- Habilidades & Competências; 9 - Saúde e Segurança Ocupacional

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 41: gráfico de dispersão com a distribuição das assertivas por relevância e nível de aderência – capacidade de aprender



Categorias: 2 - Cibersegurança; 4 - Estratégia Digital; 7- Habilidades & Competências; 8 - Parcerias para a Digitalização

Fonte: elaborada pelo autor.

Acreditamos que os gráficos de dispersão, que apresentam a posição das assertivas na relação entre relevância e nível de aderência, beneficiam-se quando acompanhados de um quadro síntese orientado a gestores organizacionais.

No Quadro 40, reunimos as análises realizadas previamente, apontando as assertivas consideradas de alta e média prioridade para um possível plano de ação que vise ao aprimoramento das iniciativas de TD e I4.0 com vistas à preservação ou ao aumento do potencial de resiliência organizacional. Observamos, contudo, que tal definição não é determinística nem substitui o olhar dos profissionais experimentados. As análises organizacionais baseadas em modelagem, como a que propomos, são sempre reducionistas e nunca representam a realidade completa de sistemas complexos, especialmente os sociotécnicos, caracterizados pela volatilidade e dinamicidade. Variáveis normalmente são ignoradas ou preteridas por outras e há que se ter isso em mente quando analistas e gestores adotam instrumentos de diagnóstico e avaliação para subsidiar planos de ação.

O que estamos querendo dizer, no fim das contas, é que indicadores gerados por instrumentos como o que propomos não substituem o trabalho reflexivo e analítico de gestores organizacionais. Eles, sim, apoiam a tomada de decisão e devem ser tomados como tal.

**Quadro 40: síntese das prioridades para orientar planos de ação**

<b>Prioridade</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Relevância (Peso)</b>	<b>Nível de aderência</b>
Alta	Responder	9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.	0,130	3,222
		9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	0,130	2,889
		9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.	0,130	3,000
	Monitorar	4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	0,202	2,444
		9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).	0,048	1,889
	Antecipar	9.10. A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.	0,401	2,667
	Aprender	4.8. Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	0,464	2,778
Média	Responder	7.2. As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	0,065	2,778

		7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais.	0,065	1,667
Monitorar		9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.	0,048	2,889
		9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	0,048	3,000
		9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.	0,048	2,778
		9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela transformação digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.	0,048	2,667
		10.5. Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as políticas de segurança necessárias à operação.	0,048	2,889
	Antecipar		7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	0,063
		7.6. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	0,063	1,889
Aprender		8.1. Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a segurança das operações e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	0,068	2,556
		7.7. Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	0,059	2,889
		7.10. Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	0,059	2,889

Fonte: elaborada pelo autor.

Acreditamos que, pela aplicação dos procedimentos metodológicos e posterior levantamento, consolidação, análise e apresentação dos dados, fomos bem-sucedidos no alcance dos objetivos geral e específicos previstos para esta tese. Por isso, no próximo capítulo, apresentamos nossas considerações finais.

## 6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, sintetizamos como, em um encadeamento lógico, as lacunas de pesquisa identificadas pela revisão da literatura orientaram o delineamento da abordagem metodológica que, por sua vez, determinaram a forma pela qual dados foram coletados e análises realizadas com vistas ao alcance dos objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

Iniciamos pela exposição de implicações teóricas para, em seguida, nos atermos às implicações práticas e, ao final, às limitações e recomendações para estudos futuros.

### 6.1 IMPLICAÇÕES TEÓRICAS

Quando nos demos conta de que as revoluções industriais anteriores foram identificadas e examinadas *a posteriori*, ao passo que a I4.0 está apenas começando em uma estratégia deliberada de industrialização, motivamo-nos pelo extenso e instigante caminho que vislumbramos em nossa frente. A literatura científica já apontou algumas direções e uma das principais envolve os impactos dessa transformação baseada em tecnologias digitais sobre os trabalhadores e a organização do trabalho.

Neste ínterim, a tecnologia é impulsionadora da transformação, mas as possíveis implicações tendem a ser mais profundas, principalmente se não forem concebidas mudanças correspondentes na cultura e na gestão. Em alguns casos, sabemos que as tecnologias podem até causar mais problemas que resolver (LIU et al., 2020) e causar reflexos evidentes sobre o design do trabalho (PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020; STERN; BECKER, 2017; SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA et al., 2020).

Ao lidar com esta realidade, Reiman et al. (2021) sugerem que se busque compreender a complexidade dos sistemas sociotécnicos pela combinação de perspectivas organizacionais, tecnológicas e humanas. Ao acatar sua sugestão, devemos ter em conta que as principais pesquisas e implementações baseadas na I4.0, fabricação inteligente ou manufatura avançada são deficientes neste aspecto, pois motivadas até então quase que exclusivamente pela obtenção de ganhos de eficiência em termos de tempo, custos e níveis de produção. É compreensível que tenha sido assim, mas, com a experiência e o conhecimento que temos hoje, não faz mais sentido que persigamos os mesmos objetivos. Neumann et al. (2021), por exemplo, nos demonstraram muito claramente, com repercussões inclusive sobre a vantagem competitivas das organizações, a relação estreita dos FH com os sistemas de produção, principalmente na I4.0, onde se persegue maior cooperação e colaboração entre humanos e máquinas.

Ao reconhecer a relevância desta lacuna, que interessa tanto à academia quanto às organizações empresariais, traçamos como principal objetivo da pesquisa o desenvolvimento de um framework para análise de aderência das iniciativas de TD, especialmente na I4.0, aos princípios de FH e às capacidades de resiliência. Com isso, entendemos contribuir fortemente com a integração dos estudos sobre TD e I4.0 com aqueles baseados em FH e segurança orientada à resiliência organizacional. Desta forma, avançamos algumas jardas em direção às fronteiras do conhecimento científico no que diz respeito à análise, compreensão e projeção do trabalho na I4.0. Kadir et al. (2019a) e Romero et al. (2016) já afirmaram, inclusive, que uma abordagem como esta pode até contribuir para o aumento das capacidades físicas, sensoriais e cognitivas das pessoas.

Em nosso trabalho, a pesquisa bibliográfica baseada na integração entre campos de pesquisa diversos, mas afins, culminou com a identificação de variáveis que denotam práticas e características desejáveis de iniciativas de TD para que sejam aderentes a princípios de FH e às capacidades de resiliência. Por terem sido obtidas por meio de um extenso trabalho de análise da literatura e posterior lapidação e classificação, tais variáveis são também uma importante contribuição desta pesquisa ao campo teórico. A partir delas, pesquisadores interessados em problemáticas que envolvam, principalmente, a relação entre TD, I4.0, FH, resiliência organizacional, saúde ocupacional e segurança operacional podem ampliar e aprofundar suas investigações.

Neste sentido, acreditamos contribuir ainda com evidências empíricas que vão além das tão comuns prescrições e recomendações pouco testadas e de aplicação prática duvidosa. Quando identificamos e classificamos um extenso conjunto de variáveis, oferecemos um instrumento que permite compreender objetivamente como, na prática, por meio de diretrizes e ações, se materializa a relação entre FH, TD e I4.0. Quando estruturamos essas variáveis em um framework baseado na combinação entre RAG e AHP, demonstramos uma forma de aplicar concretamente FH a projetos de TD e I4.0, especialmente quando objetivam contribuir com o potencial de resiliência organizacional.

Diversos autores (CHEN; KHOO; CHEN, 2015; KINZEL, 2016; PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2020; SGARBOSSA et al., 2020) defendem, ainda, a necessidade de novos modelos de referência para o design de organizações inteligentes baseados na centralidade das pessoas e na avaliação de ações, comportamentos, conforto e qualidade do trabalho. Ainda que não tenha sido este o nosso principal propósito, acreditamos que grande parte das variáveis que identificamos possa contribuir com a concepção de tal modelo de

referência. Afinal, elas se relacionam fortemente com aspectos atinentes ao trabalhador e sua relação com a organização, o ambiente, os artefatos tecnológicos e o próprio design do trabalho.

Por fim, contribuímos parcialmente com a elucidação das formas pelas quais a TD e a I4.0 podem melhorar a gestão da segurança. Ao direcionar o framework proposto à resiliência organizacional nos aspectos que envolvem principalmente a segurança operacional e a saúde ocupacional, oferecemos um instrumento propício à análise de organizações sociotécnicas complexas, principalmente aquelas críticas em segurança.

## 6.2 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Pesquisas baseadas na ciência do design, como esta, objetivam não só obter contribuições teóricas, mas também práticas. Nos estudos organizacionais, este é praticamente um mantra. Em nosso trabalho, não nos esvaímos deste requisito. Ao contrário, desde o início das investigações, buscamos identificar domínios com os quais poderíamos contribuir em termos práticos.

Acompanhamos nas últimas décadas uma mudança radical da natureza do trabalho. Antes predominavam o controle e a regulação manual. Agora, recaem sobre os trabalhadores tarefas principalmente de monitoramento e supervisão apoiadas fortemente pela automação. Não existem evidências que nos levem a crer que o ritmo das mudanças diminuirá. Na realidade, é provável que ocorra o inverso com o desenvolvimento tecnológico acelerando as mudanças no design do trabalho.

Dekker (2015) nos explica que a introdução de novas tecnologias nos ambientes de trabalho criam reverberações típicas da complexidade, pois as pessoas assumem papéis que lhes demandam novas habilidades e transformam suas relações com os artefatos de trabalho. Essas transformações, que repercutem sobre aspectos tão relevantes do trabalho, merecem ser mais bem compreendidas por gestores para que suas organizações possam se beneficiar delas sem comprometer a saúde e o bem-estar dos trabalhadores. Isto nos motivou a trabalhar para a obtenção de contribuições não só teóricas, mas também práticas pela concepção e o desenvolvimento de instrumentos úteis ao cotidiano das organizações.

Após identificarmos, pela pesquisa bibliográfica, as variáveis que qualificam a relação entre FH e resiliência organizacional em iniciativas de TD e I4.0, buscamos instrumentos já propostos e validados pela literatura que pudessem nos ajudar a instrumentá-las. A combinação do RAG com a AHP proposta por Patriarca et al. (2017) mostrou-se uma ferramenta promissora e decidimos experimentá-la. Encontramos no setor de O&G um domínio propício para tal, pois

composto por empresas com perfil aderente aos nossos propósitos, especialmente no que diz respeito à sua caracterização como sistemas sociotécnicos complexos, organizações críticas em segurança, além de reunirem significativa experiência em iniciativas de TD e I4.0.

Ao experimentarmos empiricamente o framework que concebemos pela aplicação dos procedimentos metodológicos, validamos sua pertinência e aplicabilidade. Quando demonstramos os resultados alcançados e seu potencial para a análise de aderência de iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional, contribuímos com meios para que gestores organizacionais compreendam a prática humana e sua evolução no contexto do trabalho ao invés de olharem exclusivamente para o incremento tecnológico.

À prática organizacional, contribuímos ainda quando evidenciamos a importância e os meios para analisar a saúde ocupacional e a segurança operacional em estreita relação com as iniciativas de digitalização. Dessa forma, é possível que gestores se apropriem de nosso framework para identificar riscos associados às tecnologias e promover estratégias adequadas à proteção da saúde e segurança dos trabalhadores.

Por fim, tal qual evidenciado por Badri et al. (2018), entendemos que o framework para análise de aderência pode contribuir com a gestão da mudança que vise a uma transição gradual e segura em direção a um novo paradigma das organizações e do trabalho.

### 6.3 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Nesta seção derradeira, descrevemos limitações que nós mesmos identificamos ao realizar os estudos e avaliar seus resultados. Elas decorrem de limitações naturais de recursos e tempo. Na medida em que as apresentamos, sugerimos alternativas de estudos futuros que suprimiriam essas lacunas e complementaríamos os resultados que nós obtivemos.

A primeira limitação diz respeito às variáveis identificadas que, posteriormente, foram reescritas na forma de assertivas. Elas são a base fundamental do framework que propomos para análise de aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional e uma importante contribuição científica desta tese. Contudo, elas são datadas, pois extraídas da literatura disponível até certa etapa da pesquisa. Isto faz com que seja importante sua atualização à luz das novas publicações de autores que se debruçaram sobre temas análogos. Além disso, em nossos estudos, não avaliamos criticamente as variáveis pelo olhar de outros pesquisadores além de nós. Acreditamos que seria importante, num futuro próximo, conjugar a complementação das variáveis pela literatura recente com a análise crítica por um grupo selecionado de especialistas.

A segunda limitação relaciona-se à ferramenta selecionada para instrumentalizar a análise de aderência a partir das variáveis identificadas pela revisão bibliográfica. Entendemos ter logrado êxito em nossos objetivos ao tomar esta decisão, o que não compromete o mérito de nossa pesquisa. Contudo, consideramos igualmente importante experimentar empiricamente a análise de aderência, preservando o conjunto de variáveis, por meio de outros métodos. Isto permitirá, inclusive, que os resultados sejam comparados, evidenciando pontos fortes e fracos de ambas as abordagens.

Em nossa experimentação, como já dissemos, estabelecemos como domínio de análise uma subdivisão de um consórcio de empresas que atua no setor de O&G. Por isso, os resultados apresentados e as análises realizadas retratam a realidade única e exclusiva desta subdivisão. Não é possível tecer generalizações a respeito de outras empresas do setor de O&G, tampouco de organizações críticas em segurança que atuam em outros setores. Isto, contudo, foi previsto desde o início dos trabalhos. O fio condutor da pesquisa previa a proposição de um instrumento prático, o que se materializou em um framework, e a aplicação serviu ao propósito de validá-lo quanto à pertinência e aplicabilidade. Acreditamos, contudo, que pesquisas mais amplas podem ser realizadas, inclusive baseadas nos instrumentos que propomos, para diagnosticar e analisar estatisticamente a realidade, por exemplo, de um setor econômico, como o de O&G, ou até de iniciativas mais contemporâneas baseadas na Indústria 5.0. Além disso, seria desejável a análise crítica dos resultados obtidos pela experimentação do framework por especialistas de domínio e trabalhadores das empresas envolvidas.

Por fim, lembramos que, em nossa pesquisa, realizamos um único ciclo de coleta de dados e isto pode representar uma limitação. As instruções para aplicação do próprio framework proposto, por basear-se, em parte, no RAG (HOLLNAGEL, 2015), sugerem que sua efetividade prática fundamenta-se na análise comparativa entre ciclos de coleta de dados. Por isso, é desejável que novas aplicações sejam conduzidas até junto à subdivisão selecionada como nosso domínio de aplicação, pois ricas análises comparativas serão possíveis se os dados aqui expostos subsidiarem planos de ação e intervenção com vistas ao aumento da aderência das iniciativas de TD e I4.0 aos princípios de FH e à resiliência organizacional.

## REFERÊNCIAS

- ACCENTURE RESEARCH. **European Financial Services Digital Readiness Report**. [s.l.] Accenture Research, 2016. Disponível em: <[https://www.accenture.com/t20160504T135912\\_\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/PDF-16/Accenture-European-Financial-Services-Digital-Readiness-Report.pdf](https://www.accenture.com/t20160504T135912__w_/us-en/_acnmedia/PDF-16/Accenture-European-Financial-Services-Digital-Readiness-Report.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- AIRES, R. **Desenvolvimento de competências gerais para a sociedade em transformação digital: uma trilha de aprendizagem para profissionais do setor industrial**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.
- AMALBERTI, R. Optimum System Safety and Optimum System Resilience: Agonistic or Antagonistic Concept? Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England; Burlington, VT: Ashgate, 2006.
- ANDERSON, J. E. et al. Defining adaptive capacity in healthcare: A new framework for researching resilient performance. **Applied Ergonomics**, v. 87, p. 103111, set. 2020.
- ANDERSON, J.; ROSS, A.; JAYE, P. **Resilience engineering in healthcare: moving from epistemology to theory and practice**. Proceedings of the fifth resilience engineering symposium. **Anais...** Em: FIFTH RESILIENCE ENGINEERING SYMPOSIUM. Soesterberg, NE: 2013.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Regulamento Técnico ANP nº 3/2015**. , 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao/investimentos-em-pd-i/rt-03-2015.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2022
- AREZES, P. M. et al. (EDS.). **Occupational and Environmental Safety and Health**. Cham: Springer International Publishing, 2019. v. 202
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, out. 2010.
- AYYUB, B. Practical Resilience Metrics for Planning, Design, and Decision Making. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering**, v. 1, p. 04015008, 15 maio 2015.
- BADRI, A.; BOUDREAU-TRUDEL, B.; SOUISSI, A. S. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? **Safety Science**, v. 109, p. 403–411, nov. 2018.
- BELLATO, R. **Percepções sobre as competências digitais para os profissionais da área de contabilidade: um estudo de caso**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.
- BENTO, F.; GAROTTI, L.; MERCADO, M. P. Organizational resilience in the oil and gas industry: A scoping review. **Safety Science**, v. 133, p. 105036, jan. 2021.

BERGERØD, I. J.; BRAUT, G. S.; WIIG, S. Resilience From a Stakeholder Perspective: The Role of Next of Kin in Cancer Care. **Journal of Patient Safety**, v. 16, n. 3, p. e205, set. 2020.

BERGHAUS, S.; BACK, A. **Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study**. MCIS 2016 Proceedings. **Anais...** Em: MEDITERRANEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS (MCIS). Paphos, Cyprus: Association for Information Systems AIS Electronic Library (AISeL), 2016.

BERGSTRÖM, J.; VAN WINSEN, R.; HENRIQSON, E. On the rationale of resilience in the domain of safety: A literature review. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 131–141, set. 2015.

BHARADWAJ, A. et al. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. **MIS Quarterly**, v. 37, n. 2, p. 471–482, 2 fev. 2013.

BLOCHING, B. et al. **The Digital Transformation of Industry: How important is it? Who are the winners? What must be done now?** [s.l.] Roland Berger Strategy Consultants, 2015.

BOIN, A.; LAGADEC, P. Preparing for the Future: Critical Challenges in Crisis Management. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, v. 8, n. 4, p. 185–191, dez. 2000.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. DE A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121, 2 dez. 2011.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative Research in Psychology**, v. 3, n. 2, p. 77–101, jan. 2006.

BRESOLIN, G. G. **Modelo andragógico de plano de aula à luz das teorias da aprendizagem experiencial e expansiva**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **Information and Communication Engineering**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2014.

BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 18 abr. 2018.

CAIB. **Report of Columbia Accident Investigation Board**. Washington, D.C: National Aeronautics and Space Administration - NASA, 2003. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/akamai.netstorage/anon.nasa-global/CAIB/CAIB\\_lowres\\_full.pdf](http://s3.amazonaws.com/akamai.netstorage/anon.nasa-global/CAIB/CAIB_lowres_full.pdf)>. Acesso em: 2 jan. 2022.

CATLIN, T.; SCANLAN, J.; WILLMOTT, P. Raising your Digital Quotient. **Bloching**, p. 13, 2015.

CHEN, C.; KHOO, L.; CHEN, N. Consumer Goods. Em: STJEPANDIĆ, J.; WOGNUM, N.; VERHAGEN, W. (Eds.). **Concurrent Engineering in the 21st Century**. [s.l.: s.n.]. p. 701–733.

CHRISTENSEN, C. M.; BEVER, D. VAN. The Capitalist's Dilemma. **Harvard Business Review**, 1 jun. 2014.

CROTTY, M. **The Foundations of Social Research**. 1. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications Ltd, 1998.

DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383–394, out. 2018.

DE CAROLIS, A. et al. A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies. Em: LÖDDING, H. et al. (Eds.). **Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing**. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 513p. 13–20.

DEKKER, S. Resilience Engineering: Chronicling the Emergence of Confused Consensus. Em: **Resilience Engineering: Concepts and Precepts**. Ashgate, UK: CRC Press, 2006. p. 77–97.

DEKKER, S. et al. Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems. p. 67, 2008.

DEKKER, S. **Safety Differently: Human Factors for a New Era, Second Edition**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.

DEKKER, S. W. A.; WOODS, D. D. The High Reliability Organization Perspective. Em: **Human Factors in Aviation**. [s.l.] Elsevier, 2010. p. 123–143.

DI GRAVIO, G. et al. Overall safety performance of the Air Traffic Management system: The Italian ANSP's experience on APF. **Research in Transportation Business & Management**, v. 20, p. 3–12, set. 2016.

DIJKSTRA, J. H. F.; WORP, K. A. The administrative position of Omboi and Syene in Late Antiquity. **Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik**, v. 155, p. 183–187, 2006.

DONALDSON, L. The Weick Stuff: Managing Beyond Games. **Organization Science**, v. 3, n. 4, p. 461–466, 1 nov. 1992.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

EUROPEAN COMMISSION. **Factories of the future: multi annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020**. Brussels: European Commission, 2013. Disponível em: <<https://data.europa.eu/doi/10.2777/29815>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

FAIRBANKS, R. et al. Resilience and Resilience Engineering in Health Care. **Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety**, v. 40, 1 ago. 2014.

FAUST, R. **Exploração do espaço de design das interações humano-computador: uma abordagem da gestão do conhecimento ergonômico**. Tese de doutorado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FLORES, F. et al. Computer systems and the design of organizational interaction. **ACM Transactions on Information Systems**, v. 6, n. 2, p. 153–172, 1 abr. 1988.

FRAGA, B. D. **Framework de análise de conhecimentos críticos às capacidades de resiliência organizacional**. Tese de doutorado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

FRIEDRICH, R. et al. **Measuring industry digitization: leaders and laggards in the digital economy**. [s.l.] PWC, 2011. Disponível em: <<https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2011-2014/measuring-industry-digitization-leaders-laggards.html>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 5, p. 1119, 20 dez. 2016.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: building the digital enterprise**. [s.l.] PwC, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P. E. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. Em: MAS, A. et al. (Eds.). **Software Process Improvement and Capability Determination**. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 770p. 128–142.

GRECCO, C. H. et al. Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation. **Progress in Nuclear Energy**, v. 70, p. 71–83, jan. 2014.

GRØTAN, T. O.; VAN DER VORM, J. **Training for operational resilience capabilities**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.resilience-engineering-association.org/download/resources/symposium/symposium\\_2015/Grotan\\_T.-van-der-Vorm\\_J.-Training-for-Operational-Resilience-Capabilities-Paper.pdf](https://www.resilience-engineering-association.org/download/resources/symposium/symposium_2015/Grotan_T.-van-der-Vorm_J.-Training-for-Operational-Resilience-Capabilities-Paper.pdf)>.

GROTBERG, E. H. **The International Resilience Project Findings from the Research and the Effectiveness of Interventions**. Proceedings of the 54th Annual Convention of the International Council of Psychologists. **Anais...** Em: 54TH ANNUAL CONVENTION OF THE INTERNATIONAL COUNCIL OF PSYCHOLOGISTS. Banff, Canadá: 1997.

HAIR, JR. J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Tradução: A. Sant'Anna. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

HALE, A.; HEIJER, T. Is Resilience Really Necessary? The Case of Railways. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience Engineering: Concepts and Precepts**. [s.l.] CRC Press, 2006.

HAMER, R.; WATERSON, P.; JUN, G. T. Human factors and nuclear safety since 1970 – A critical review of the past, present and future. **Safety Science**, v. 133, p. 105021, jan. 2021.

HANDSCOMB, C.; SHARABURA, S.; WOXHOLTH, J. **The oil and gas organization of the future**. [s.l.] McKinsey & Company, 2016. Disponível em:

- <<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-oil-and-gas-organization-of-the-future>>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- HEGGELUND, C.; WIIG, S. Promoting resilience in the maternity services. Em: **Delivering Resilient Health Care**. [s.l.] Routledge, 2018.
- HEINRICH, H. W. **Industrial accident prevention**. New York: McGraw- Hill, 1931.
- HERRERA, I. A. et al. The SCALES Framework for Identifying and Extracting Resilience Related Indicators: Preliminary Findings of a Go-around Case Study. p. 8, 2014.
- HEVNER, A. R. et al. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 32, 2004.
- HOLLING, C. S. Resilience and Stability of Ecological Systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, n. 1, p. 1–23, nov. 1973.
- HOLLNAGEL, E. Resilience: The Challenge of the Unstable. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006.
- HOLLNAGEL, E. **How Resilient Is Your Organisation? An Introduction to the Resilience Analysis Grid (RAG)**. , 2010. Disponível em: <[http://www.ipac.ca/documents/RAG%20discussion\\_APR05.pdf](http://www.ipac.ca/documents/RAG%20discussion_APR05.pdf)>. Acesso em: 6 mar. 2021
- HOLLNAGEL, E. Human factors/ergonomics as a systems discipline? “The human use of human beings” revisited. **Applied Ergonomics**, Systems Ergonomics/Human Factors. v. 45, n. 1, p. 40–44, 1 jan. 2014.
- HOLLNAGEL, E. **Introduction to the Resilience Analysis Grid (RAG)**. [s.l: s.n.].
- HOLLNAGEL, E. **Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials**. 1. ed. [s.l.] Routledge, 2017.
- HOLLNAGEL, E.; NEMETH, C. P. **Resilience Engineering Perspectives: Preparation and Restoration**. 1. ed. London: CRC Press, 2009. v. 2
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. Epilogue: resilience engineering precepts. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot: Ashgate Publishing, 2006. p. 347–358.
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (EDS.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006.
- HOPKINS, A. Reply to comments. **Safety Science**, Process Safety Indicators / SRAE 2006. v. 47, n. 4, p. 508–510, 1 abr. 2009.
- HUBER, S. et al. Learning from organizational incidents: Resilience engineering for high-risk process environments. **Process Safety Progress**, v. 28, n. 1, p. 90–95, mar. 2009.
- Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies**. . Munich, Germany: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2020.

JABBOUR, A. B. L. et al. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18–25, jul. 2018.

KADIR, B. A.; BROBERG, O.; CONCEIÇÃO, C. S. DA. Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. **Computers & Industrial Engineering**, v. 137, p. 106004, nov. 2019a.

KADIR, B. A.; BROBERG, O.; CONCEIÇÃO, C. S. DA. Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. **Computers & Industrial Engineering**, v. 137, p. 106004, nov. 2019b.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. [s.l.] National Academy of Science and Engineering, abr. 2013.

KARIMI, J.; WALTER, Z. The Role of Dynamic Capabilities in Responding to Digital Disruption: A Factor-Based Study of the Newspaper Industry. **Journal of Management Information Systems**, v. 32, n. 1, p. 39–81, 2 jan. 2015.

KINZEL, H. **Industry 4.0 – Where Does This Leave the Human Factor?** . Em: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF HUMAN DIGNITY AND HUMILIATION STUDIES. Dubrovnik, Croatia: 2016.

KLOPPER, R.; LUBBE, S.; RUGBEER, H. The Matrix Method of Literature Review. **Alternation**, v. 14, n. 1, p. 262–276, 1 jan. 2007.

KONG, X. et al. Industrial wearable system: the human-centric empowering technology in Industry 4.0. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, p. 1–17, 1 dez. 2019.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, ago. 2014.

LAY, E.; BRANLAT, M.; WOODS, Z. A practitioner's experiences operationalizing Resilience Engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 63–73, set. 2015.

LE COZE, J.-C. New models for new times. An anti-dualist move. **Safety Science**, v. 59, p. 200–218, nov. 2013.

LEE, J.; KAO, H.-A.; YANG, S. Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

LESO, V.; FONTANA, L.; IAVICOLI, I. The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. **La Medicina del Lavoro**, v. 110, n. 5, p. 327–338, 29 out. 2018.

LEVESON, N. et al. Engineering Resilience into Safety-Critical Systems. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006.

LEYH, C. et al. **SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0**. 2016 Federated Conference on Computer

Science and Information Systems (FedCSIS). **Anais...** Em: 2016 FEDERATED CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS (FEDCSIS). set. 2016.

LICHTBLAU, K. et al. **Industrie 4.0 Readiness**. Aachen, Germany: VDMA's IMPULS-Stiftung, 2015.

LIRA, W. J. **Mapeamento situacional de uma iminente colisão entre aeronaves na percepção do controlador de tráfego aéreo: um estudo de caso**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LIU, Z. et al. A paradigm of safety management in Industry 4.0. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, p. 632–645, jul. 2020.

LONGO, F. et al. Human factors, ergonomics and Industry 4.0 in the Oil&Gas industry: a bibliometric analysis. **Procedia Computer Science**, v. 180, p. 1049–1058, 2021.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Modeling workers' behavior: A human factors taxonomy and a fuzzy analysis in the case of industrial accidents. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 69, p. 29–47, jan. 2019.

LU, H. et al. Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook. **Computers in Industry**, v. 111, p. 68–90, out. 2019.

LUNDBERG, J.; JOHANSSON, B. J. Systemic resilience model. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 22–32, set. 2015a.

LUNDBERG, J.; JOHANSSON, B. J. Systemic resilience model. **Reliability Engineering & System Safety**, Special Issue on Resilience Engineering. v. 141, p. 22–32, 1 set. 2015b.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.

MCCRAY, W. P. **The Visioneers: How a Group of Elite Scientists Pursued Space Colonies, Nanotechnologies, and a Limitless Future**. Reprint edição ed. Princeton Oxford: Princeton University Press, 2017.

MCDONALD, N. Organisational Resilience and Industrial Risk. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006. p. 155–180.

MCMANUS, S. et al. **Resilience Management: A Framework for Assessing and Improving the Resilience of Organisations**. [s.l: s.n.].

MCMANUS, S. **Organisational Resilience in New Zealand**. Doctor of Philosophy in Civil Engineering—Canterbury: University of Canterbury, 2008.

MEDRADO, M. A. **Gestão do conhecimento e ergonomia: fatores biomecânicos na atividade de soldagem de peças**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MENDONÇA, D.; WALLACE, W. A. Factors underlying organizational resilience: The case of electric power restoration in New York City after 11 September 2001. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 83–91, set. 2015.

MOEUF, A. et al. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 1 fev. 2018.

MORAIS, J. M. DE. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea, 2013.

MUKHOPADHYAY, S. C. Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 3, p. 1321–1330, mar. 2015.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K.-I. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 2–17, jul. 2018.

MÜLLER, J. M.; KIEL, D.; VOIGT, K.-I. What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 247, 18 jan. 2018.

NEMETH, C. P.; HERRERA, I. Building change: Resilience Engineering after ten years. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 1–4, set. 2015.

NEUMANN, W. P. et al. Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development. **International Journal of Production Economics**, v. 233, p. 107992, mar. 2021a.

NEUMANN, W. P. et al. Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development. **International Journal of Production Economics**, v. 233, p. 107992, mar. 2021b.

NEUMANN, W. P.; KOLUS, A.; WELLS, R. W. Human Factors in Production System Design and Quality Performance – A Systematic Review. **IFAC-PapersOnLine**, 8th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2016. v. 49, n. 12, p. 1721–1724, 1 jan. 2016.

OEDEWALD, P.; REIMAN. **Special characteristics of safety critical organizations. Work psychological perspective. Espoo 2007**. Finland: VTT Publications 633, 2007.

OPITZ, M. et al. **Digital Transformation: How to Become Digital Leader**. Munich, Germany: Arthur D. Little, 2015.

OSTROM, E. Coping with Tragedies of the Commons. **Annual Review of Political Science**, v. 2, n. 1, p. 493–535, 1999.

PACHECO, R. C. S. Coprodução em Ciência, Tecnologia e Inovação: fundamentos e visões. Em: **Interdisciplinaridade: universidade e inovação social e tecnológica**. Curitiba: CRV, 2016. p. 48.

PANAGO, S.; FRUGGIERO, F.; LAMBIASE, A. The Sustainable Role of Human Factor in I4.0 scenarios. **Procedia Computer Science**, v. 180, p. 1013–1023, 2021.

PARANHOS, W. R. **Modelo conceitual para o desenvolvimento de organizações saudáveis**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

PARIÈS, J. Complexity, Emergente, Resilience... Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England; Burlington, VT: Ashgate, 2006.

PARROTT, A.; WARSHAW, L. **Industry 4.0 and the digital twin**. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/www/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

PATRIARCA, R. et al. An Analytic Framework to Assess Organizational Resilience. **Safety and Health at Work**, v. 9, n. 3, p. 265–276, 2017.

PATRIARCA, R. et al. Resilience engineering: Current status of the research and future challenges. **Safety Science**, v. 102, p. 79–100, fev. 2018.

PERUZZINI, M.; GRANDI, F.; PELLICCIARI, M. Benchmarking of Tools for User Experience Analysis in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 806–813, 2017.

PERUZZINI, M.; GRANDI, F.; PELLICCIARI, M. Exploring the potential of Operator 4.0 interface and monitoring. **Computers & Industrial Engineering**, v. 139, p. 105600, jan. 2020.

PERUZZINI, M.; PELLICCIARI, M. A framework to design a human-centred adaptive manufacturing system for aging workers. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 330–349, ago. 2017.

PFEIFFER, S. The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded. **NanoEthics**, v. 11, n. 1, p. 107–121, abr. 2017.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. **Harvard Business Review**, nov. 2014.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. **Harvard Business Review**, p. 26, 2015.

POTRICH, L. N. **Riscos da perda de conhecimento vinculado a fatores humanos em empresas intensivas em conhecimento**. Dissertação de mestrado—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. 1997a.

RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2, p. 183–213, 1 nov. 1997b.

REASON, J. The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 327, n. 1241, p. 475–484, 1990a.

REASON, J. **The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries**. London: CRC Press, 2017.

REASON, J. T. **Human error**. Cambridge [England] ; New York: Cambridge University Press, 1990b.

REASON, J. T. **Managing the risks of organizational accidents**. Aldershot, Hants, England ; Brookfield, Vt., USA: Ashgate, 1997.

REIMAN, A. et al. Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review. **Technology in Society**, v. 65, p. 101572, maio 2021.

REIMAN, T. et al. Principles of adaptive management in complex safety–critical organizations. **Safety Science**, v. 71, p. 80–92, jan. 2015.

RIBEIRO, M. C. DE C. R.; ALVES, A. DA S. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270–281, 3 nov. 2016.

RICHARDSON, R. J.; PERES, J. A. DE S. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. rev e ampl ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RIGHI, A. W.; SAURIN, T. A.; WACHS, P. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 142–152, set. 2015.

ROBBINS, J. et al. Resilience engineering: learning to embrace failure. **Communications of the ACM**, v. 10, n. 9, p. 1–9, 2012.

ROCKWELL AUTOMATION. **The Connected Enterprise Maturity Model: How ready is your company to connect people, processes, and technologies for bigger profits?** [s.l.] Rockwell Automation, 2014.

ROE, E.; SCHULMAN, P. **High reliability Management**. 1. ed. [s.l.] Stanford Business Books, 2008.

ROMERO, D. et al. **Towards a Human-Centred Reference Architecture for Next Generation Balanced Automation Systems: Human-Automation Symbiosis**. APMS 2015. **Anais...** Em: IFIP INTERNATIONAL FEDERATION FOR INFORMATION PROCESSING 2015. Tokyo, Japan: 2015.

ROMERO, D. et al. The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation Towards Human-Automation Symbiosis Work Systems. Em: NÄÄS, I. et al. (Eds.). **Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World**. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2016. v. 488p. 677–686.

SAATY, T. L. Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1–35, mar. 2004.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SACCOL, A. Z. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração. **Revista de Administração da UFSM**, v. 2, n. 2, p. 250–269, 2009.

SAURIN, T. A.; CARIM JÚNIOR, G. C. Evaluation and improvement of a method for assessing HSMS from the resilience engineering perspective: A case study of an electricity distributor. **Safety Science**, v. 49, n. 2, p. 355–368, 1 fev. 2011.

SCHUH, G. et al. Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0. **Procedia CIRP**, v. 32, p. 82–87, 2015.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161–166, 2016.

SCHWAB, D. P. **Research methods for organizational studies**. 2nd ed ed. Mahwah, N.J: L. Erlbaum Associates, 2005.

SELL, D. et al. Framework for the Analysis of Resilient Performance Conditionings in Integrated Operations of the Oil and Gas Industry. Em: MATOS, F.; SELIG, P.; HENRIQSON, E. (Eds.). **Resilience in Digital Age: Global Challenges in Organizations and Society**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2021. p. 56–81.

SGARBOSSA, F. et al. Human factors in production and logistics systems of the future. **Annual Reviews in Control**, v. 49, p. 295–305, 2020.

SILVA, L. V. D. et al. **Metodologia de pesquisa em administração**. [s.l.] Editora Unisinos, 2012.

SIMON, H. **Sciences of the Artificial**. 3. ed. Cambridge, USA: Mit Press, 1996.

SJÖDIN, D. R. et al. Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 3 set. 2018a.

SJÖDIN, D. R. et al. Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing *Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies*. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 3 set. 2018b.

SNOOK, S. A. **Friendly Fire: The Accidental Shootdown of U.S. Black Hawks over Northern Iraq**. [s.l.] Princeton University Press, 2011.

STEPHENSON, A. **Benchmarking the Resilience of Organizations**. Doctor of Philosophy in the Civil and Natural Resources Engineering Department—Canterbury: University of Canterbury, 2010.

STERN, H.; BECKER, T. Development of a Model for the Integration of Human Factors in Cyber-physical Production Systems. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 151–158, 2017.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. **Multinational Business Review**, v. 25, n. 3, p. 174–184, 18 set. 2017.

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, 17 nov. 2017.

SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA, S. et al. Life Cycle Engineering 4.0: A Proposal to Conceive Manufacturing Systems for Industry 4.0 Centred on the Human Factor (DfHFinI4.0). **Applied Sciences**, v. 10, n. 13, p. 4442, 27 jun. 2020.

SUNDSTRÖM, G.; HOLLNAGEL, E. Learning How to Create Resilience in Business Systems. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006.

SVEDUNG, I.; RASMUSSEN, J. Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. **Safety Science**, v. 40, n. 5, p. 397–417, 1 jul. 2002.

UFSC. **Áreas de Concentração**. Disponível em: <<https://ppgegc.paginas.ufsc.br/areas-de-concentracao/>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

VAN DER BEEK, D.; SCHRAAGEN, J. M. ADAPTER: Analysing and developing adaptability and performance in teams to enhance resilience. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 33–44, set. 2015.

VANBOSKIRK, S. et al. **The Digital Maturity Model 5.0**. Cambridge, USA: Forrester Research, 2017.

VARGAS, R. **Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio**. Em: PMI GLOBAL CONGRESS 2010 – NORTH AMERICA. Washington, D.C: Project Management Institute, 2010.

VAUGHAN, D. **The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture, and Deviance at NASA**. [s.l.] University of Chicago Press, 1996.

WANASINGHE, T. R. et al. The Internet of Things in the Oil and Gas Industry: A Systematic Review. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 7, n. 9, p. 8654–8673, set. 2020.

WEICK, K.; SUTCLIFFE, D. Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. Em: STAW, B.; SUTTON, R. (Eds.). **Research in Organizational Behavior**. 1. ed. Stanford: JAI Press, 1999. v. 21p. 81–123.

**Welcome to Resilience Engineering Association**. Disponível em: <<https://www.resilience-engineering-association.org/>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

WESTERMAN, G. et al. **Digital transformation: a roadmap for billion-dollar organizations**. [s.l.] MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting, 2011.

WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A. **Leading Digital: Turning Technology Into Business Transformation**. [s.l.] Harvard Business Press, 2014.

WESTRUM, R. A Typology of Resilience Situations. Em: **Resilience Engineering**. 1. ed. [s.l.] CRC Press, 2006. p. 55–66.

WILDAVSKY, A. **Searching for Safety**. [s.l.] Routledge, 1989.

WOODS, D. **Creating Foresight: How Resilience Engineering Can Transform NASA's Approach to Risky Decision Making**. . Em: TESTIMONY ON THE FUTURE OF NASA FOR COMMITTEE ON COMMERCE, SCIENCE AND TRANSPORTATION. , 2003.

WOODS, D. Essential Characteristics of Resilience. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2006.

WOODS, D. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, 1 abr. 2015a.

WOODS, D. D. Escaping failures of foresight. **Safety Science**, v. 47, n. 4, p. 498–501, abr. 2009.

WOODS, D. D. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 5–9, set. 2015b.

WOODS, D. D.; WREATHALL, J. **Managing Risk Proactively: The Emergence of Resilience Engineering**. Institute for Ergonomics: The Ohio State University, 2003.

WOODS, D.; HOLLNAGEL, E. Prologue. Em: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. (Eds.). **Resilience engineering: concepts and precepts**. Aldershot: Ashgate Publishing, 2006. p. 1–6.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital Transformation Initiative: Oil and Gas Industry**. World Economic Forum, , 2017.

WREATHALL, J. Properties of Resilient Organizations: An Initial View. Em: **Resilience Engineering**. 1. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2006. p. 275–286.

XU, X. From cloud computing to cloud manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 75–86, fev. 2012.

YIN, R. **Case Study Research: Design and Methods**. 4. ed. Los Angeles: Sage Publications, 2008. v. 5

YIN, Y.; STECKE, K. E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1–2, p. 848–861, 17 jan. 2018.

ZHONG, R. Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616–630, out. 2017.

ZIKMUND, W. et al. **Business research methods**. 8. ed. Mason, OH: South-Western Cengage Learning, 2010.

## APÊNDICE A – VARIÁVEIS, ASSERTIVAS E CATEGORIAS

VARIÁVEIS	ASSERTIVAS	CATEGORIAS	RELAÇÃO COM O RAG (responder / monitorar / antecipar / aprender)	FONTES
<p>Preservação da capacidade de agir por iniciativa própria em iniciativas de automatização</p> <p>Preservação da capacidade de se comunicar em iniciativas de automatização</p> <p>Preservação da capacidade de organizar o próprio trabalho em iniciativas de automatização</p>	1.1. A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	01. Automação digital	Responder	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
<p>Contribuição da automatização para a redução de erros</p>	1.2. A automatização digital contribui para a redução de erros.	01. Automação digital	Responder	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018
<p>Contribuição da automatização para a diminuição do risco operacional</p> <p>Contribuição da automatização para a diminuição do risco à saúde dos trabalhadores</p>	1.3. A automatização digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	01. Automação digital	Responder	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018
<p>Integração entre máquinas e sistemas críticos em segurança</p> <p>Controle por TI das máquinas e dos sistemas críticos em segurança</p>	1.4. As máquinas e os sistemas críticos em segurança são integrados e controlados amplamente por meio de TI.	01. Automação digital	Responder	LICHTBLAU et al., 2015
<p>Conhecimento de produtos, processos e infraestruturas propensos a ciberataques</p>	2.1. Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são	02. Cibersegurança	Monitorar	BLOCHING et al., 2015; LICHTBLAU et al., 2015

Implantação de soluções de segurança contra ciberataques	conhecidos e possuem soluções de segurança implantadas.			
Frequência de desenvolvimento e aperfeiçoamento das diretrizes sobre cibersegurança	2.2. As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	02. Cibersegurança	Aprender	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; BLOCHING et al., 2015
Formalização dos processos de implementação de tecnologias digitais  Conteúdo dos processos de implementação de tecnologias digitais	3.1. Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para o monitoramento e as respostas a eventos críticos em segurança estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	03. Desenvolvimento e design	Responder	SJÖDIN et al., 2018
Contribuição do design tecnológico para o aumento da produtividade  Contribuição do design tecnológico para o aumento da segurança  Contribuição do design tecnológico para o aumento da saúde e do conforto dos trabalhadores	3.2. O design das tecnologias digitais contribui não só para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	03. Desenvolvimento e design	Responder	(BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018)
Disponibilidade de sistemas para análise de dados sobre segurança  Capacidade de transformar dados em gatilhos para a ação	3.3. Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar em tempo real com problemas e oportunidades relacionados à segurança estão estabelecidos.	03. Desenvolvimento e design	Monitorar	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
Disponibilidade de sistemas para avaliar decisões estratégicas sobre a segurança operacional	3.4. Sistemas que ajudam a organização a avaliar como as decisões a nível estratégico (C-level) podem influenciar na	03. Desenvolvimento e design	Monitorar	ROCKWELL AUTOMATION, 2014

	segurança operacional estão estabelecidos.			
Capacidade de atualização de máquinas e sistemas	3.5. As máquinas e os sistemas são capazes de receber atualizações de acordo com os requisitos tecnológicos do futuro.	03. Desenvolvimento e design	Antecipar	LICHTBLAU et al., 2015
Engajamento das pessoas na busca por oportunidades proporcionadas por novas soluções  Contribuição das pessoas com ideias baseadas em tecnologias digitais	3.6. Todos os níveis organizacionais estão engajados na busca por oportunidades proporcionadas por novas soluções e contribuem com ideias baseadas em tecnologias digitais.	03. Desenvolvimento e design	Antecipar	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
Uso de tecnologias digitais de modelagem e simulação	3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	03. Desenvolvimento e design	Antecipar	LICHTBLAU et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
Participação dos trabalhadores no desenvolvimento e/ou implantação de soluções	3.8. Os trabalhadores participam do desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	03. Desenvolvimento e design	Antecipar	ACCENTURE RESEARCH, 2016; NEUMANN et al., 2021b
Esforços para a inovação  Promoção da aprendizagem	3.9. Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	03. Desenvolvimento e design	Aprender	BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
Contribuição dos processos ágeis para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções	4.1. Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	04. Estratégia digital	Responder	SJÖDIN et al., 2018; VANBOSKIRK et al., 2017

<p>Monitoramento do progresso das estratégias de digitalização</p> <p>Associação de indicadores e metas claras e quantificáveis às estratégias de digitalização</p> <p>Associação de indicadores que sobre saúde, segurança e meio ambiente às estratégias de digitalização</p>	<p>4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.</p>	04. Estratégia digital	Monitorar	<p>BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017</p>
<p>Engajamento dos executivos (C-Level) nas iniciativas de digitalização</p> <p>Relação estratégica entre os executivos (C-Level) para promoção da digitalização</p>	<p>4.3. Os executivos (C-Level) da organização estão pessoalmente engajados e promovem uma relação estratégica entre eles que impulsiona a digitalização na organização.</p>	04. Estratégia digital	Antecipar	<p>ACCENTURE RESEARCH, 2016; BLOCHING et al., 2015; OPITZ et al., 2015; WESTERMAN et al., 2011</p>
<p>Compreensão acerca do potencial das tecnologias digitais</p> <p>Capacidade da organização para lidar com mudanças tecnológicas</p>	<p>4.4. O potencial de contribuição das tecnologias digitais para o aumento da flexibilidade e da agilidade operacional é compreendido na organização, tornando-a mais capaz de lidar com mudanças decorrentes da evolução tecnológica.</p>	04. Estratégia digital	Antecipar	<p>BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015; OPITZ et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN et al., 2011</p>
<p>Adequabilidade do orçamento para a digitalização</p> <p>Abrangência do orçamento para a digitalização</p> <p>Fluidez do orçamento para a digitalização</p>	<p>4.5. Existe um orçamento adequado à estratégia, à governança e à execução da estratégia de digitalização que considera seu processo evolutivo, abrange toda a organização e é fluido para permitir mudanças nas prioridades.</p>	04. Estratégia digital	Antecipar	<p>ACCENTURE RESEARCH, 2016; FRIEDRICH et al., 2011; LICHTBLAU et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN et al., 2011</p>
<p>Investimentos para aumento da maturidade digital</p>	<p>4.6. Investimentos são feitos para possibilitar o desenvolvimento da maturidade</p>	04. Estratégia digital	Antecipar	<p>ACCENTURE RESEARCH, 2016; BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015</p>

Investimentos para minimização de riscos às operações atuais	digital, minimizando riscos às operações atuais e que aceita as inovações tecnológicas mesmo quando envolvem riscos financeiros.			
Aceite das inovações que envolvem riscos financeiros				
Consideração de fatores humanos no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais	4.7. Fatores humanos são considerados nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais, especialmente aquelas que podem impactar sobre a segurança, a saúde ocupacional e o meio ambiente.	04. Estratégia digital	Antecipar	BERGHAUS; BACK, 2016; KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018; VANBOSKIRK et al., 2017
Conhecimento dos impactos do desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais sobre a segurança				
Conhecimento dos impactos do desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais sobre a saúde ocupacional				
Conhecimento dos impactos do desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais sobre o meio ambiente				
Consideração de lições aprendidas nas estratégias organizacionais	4.8. Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	04. Estratégia digital	Aprender	VANBOSKIRK et al., 2017
Processos de forecasting tecnológico para projeção de mudanças	5.1. Processos de identificação de tecnologias digitais que serão relevantes no futuro são usados para projetar mudanças e orientar estratégias organizacionais.	05. Forecasting tecnológico	Antecipar	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018

Processos de forecasting tecnológico para orientação de estratégias organizacionais				
Monitoramento da jornada de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders	5.2. A organização monitora as jornadas de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders para se antecipar ou adaptar a elas.	05. Forecasting tecnológico	Antecipar	BLOCHING et al., 2015; CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015
Cuidado com a geração de incerteza ocupacional na coleta de dados  Cuidado com a invasão de privacidade na coleta de dados  Cuidado com a pressão psicológica na coleta de dados	6.1. Na coleta de dados, especialmente daqueles relacionados diretamente às atividades dos trabalhadores, são tomados cuidados para que não seja criada uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica.	06. Gestão de dados	Monitorar	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
Amplitude da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados  Nível de automação da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados  Abrangência da organização participantes da coleta, da aplicação e do compartilhamento de dados	6.2. Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	06. Gestão de dados	Monitorar	BLOCHING et al., 2015; LICHTBLAU et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018
Consideração de dados internos e externos na tomada de decisão  Orientação das ações estratégicas por dados internos e externos	6.3. As análises realizadas a partir de dados obtidos de fontes internas e externas subsidiam a tomada de decisão e orientam ações e decisões estratégicas relacionadas à segurança.	06. Gestão de dados	Monitorar	BERGHAUS; BACK, 2016; CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; SJÖDIN et al., 2018

Abrangência do compartilhamento de dados críticos à segurança	6.4. Os dados críticos à segurança obtidos pela organização são compartilhados de forma abrangente, inclusive com o público externo (fornecedores, contratados, usuários finais).	06. Gestão de dados	Monitorar	LICHTBLAU et al., 2015
Definição dos protocolos acionados pelo processamento e análise de dados  Conhecimento dos protocolos acionados pelo processamento e análise de dados	6.5. Os protocolos acionados pelo processamento e análise de dados obtidos pelas tecnologias digitais são definidos e conhecidos (alguns proativos e automáticos).	06. Gestão de dados	Monitorar	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
Habilidades e competências tecnológicas dos trabalhadores	7.1. Os trabalhadores possuem as habilidades e as competências tecnológicas necessárias para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	07. Habilidades e competências	Responder	BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015
Habilidades e competências tecnológicas das lideranças organizacionais	7.2. As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	07. Habilidades e competências	Responder	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015
Aptidão para tecnologias digitais como requisito para contratação de novos profissionais	7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais.	07. Habilidades e competências	Responder	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
Conhecimento das habilidades e competências tecnológicas do futuro pelos trabalhadores	7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	07. Habilidades e competências	Antecipar	KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; SJÖDIN et al., 2018

Conhecimento das habilidades e competências tecnológicas do futuro pela organização	7.5. A organização sabe quais habilidades e competências tecnológicas serão demandadas de seus trabalhadores no futuro.	07. Habilidades e competências	Antecipar	KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a
Alinhamento entre a estratégia de desenvolvimento de pessoas com as mudanças tecnológicas	7.6. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	07. Habilidades e competências	Antecipar	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
Participação dos trabalhadores em capacitações relativas às tecnologias digitais	7.7. Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	07. Habilidades e competências	Aprender	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; BERGHAUS; BACK, 2016; SJÖDIN et al., 2018
Conhecimento das deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores  Oferta de treinamentos e capacitações para suprir deficiências nas habilidades digitais	7.8. As deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores são conhecidas e a organização desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	07. Habilidades e competências	Aprender	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
Demonstração da importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional	7.9. A importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional é constantemente demonstrada aos trabalhadores.	07. Habilidades e competências	Aprender	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018
Abertura dos trabalhadores a mudanças	7.10. Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	07. Habilidades e competências	Aprender	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018
Consideração de feedbacks e sugestões de atores externos  Contribuição de atores externos à melhoria da segurança operacional	8.1. Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a	08. Parcerias para a digitalização	Aprender	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018

Contribuição de atores externos à melhoria da saúde e do bem-estar dos trabalhadores	segurança das operações e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.			
Envolvimento de startups, universidade e instituições de ciência e tecnologia no desenvolvimento de inovações tecnológicas	8.2. Startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) são envolvidas nas iniciativas de desenvolvimento e/ou implantação de inovações tecnológicas que visam contribuir para a segurança operacional e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	08. Parcerias para a digitalização	Aprender	ACCENTURE RESEARCH, 2016; FRIEDRICH et al., 2011
Definição pelos executivos (C-Level) dos requisitos de segurança  Disseminação dos requisitos de segurança pela organização	9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Responder	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
Nível de risco aceito pela organização para aprimoramento da segurança  Ações previstas pela organização para aprimoramento da segurança	9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Responder	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
Fluxos de trabalho relativos à captura de dados por meio de tecnologias digitais  Cronogramas relativos à captura de dados por meio de tecnologias digitais	9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Responder	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014

Profissionais autorizados a agir sobre informações obtidas por meio de tecnologias digitais				
Uso de dados para aperfeiçoamento de políticas de prevenção de acidentes  Uso de dados para aperfeiçoamento de ações de prevenção de acidentes	9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LIU et al., 2020
Contribuição de tecnologias digitais para a identificação de problemas psicológicos dos trabalhadores  Contribuição de tecnologias digitais para a diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores	9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
Contribuição de tecnologias digitais para a diminuição de lesões ocupacionais dos trabalhadores	9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
Preocupação com novos tipos de acidentes	9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
Apoio das tecnologias digitais à análise de desempenho dos trabalhadores  Apoio das tecnologias digitais à análise da saúde e segurança dos trabalhadores	9.8. As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho, a saúde e a segurança dos trabalhadores em tempo real.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	SJÖDIN et al., 2018
Identificação de problemas gerados pela transformação digital	9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Monitorar	NEUMANN et al., 2021b

Avaliação de problemas gerados pela transformação digital	transformação digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.			
Visão da organização em relação às tecnologias digitais  Disseminação da visão da organização em relação às tecnologias digitais	9.10. A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.	09. Saúde e Segurança Ocupacional	Antecipar	OPITZ et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN et al., 2011
Conexão entre as tecnologias digitais e os sistemas legados  Integração entre as tecnologias digitais e os sistemas legados	10.1. A conexão e a integração das tecnologias digitais aos sistemas legados são monitoradas para evitar o comprometimento da segurança das operações.	10. Segurança operacional	Monitorar	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
Análise de dados para aperfeiçoamento de processos	10.2. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para aperfeiçoar processos de negócio e operacionais.	10. Segurança operacional	Monitorar	FRIEDRICH et al., 2011; LICHTBLAU et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018
Análise de dados para respostas a mudanças	10.3. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para reagir tempestivamente a mudanças que busquem preservar ou melhorar condições operacionais.	10. Segurança operacional	Monitorar	FRIEDRICH et al., 2011; LICHTBLAU et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018
Transparência dos mecanismos de segurança e controle  Abrangência dos mecanismos de segurança e controle	10.4. Tecnologias digitais são empregadas para aumentar a transparência e a abrangência dos mecanismos de segurança e controle.	10. Segurança operacional	Monitorar	OPITZ et al., 2015
Colaboração dos departamentos de TI para a definição das políticas de segurança	10.5. Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as	10. Segurança operacional	Monitorar	ROCKWELL AUTOMATION, 2014

Colaboração dos departamentos de TI para a revisão das políticas de segurança	políticas de segurança necessárias à operação.			
Colaboração dos departamentos de TI para a monitoramento das políticas de segurança				
Monitoramento das operações críticas e potencialmente perigosas	10.6. As tecnologias digitais contribuem para o monitoramento e a visualização analítica de operações críticas e potencialmente perigosas.	10. Segurança operacional	Monitorar	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
Visualização analítica de operações críticas e potencialmente perigosas				

## APÊNDICE B – DOCUMENTO PARA ANÁLISE DA HIERARQUIA DO PROBLEMA

### Framework para análise de aderência de iniciativas de transformação digital às capacidades da resiliência organizacional

#### Contextualização

A partir dos anos 2000, muitas organizações iniciaram um movimento de adaptação de suas infraestruturas de negócios para a nova era digital, beneficiando-se principalmente da redução média de preços dos componentes tecnológicos, do aumento do desempenho computacional e da conectividade global. As fronteiras que delimitam o espaço de atuação dessas organizações mudaram pela emergência de ambientes dinâmicos não lineares e bastante turbulentos. A relação das empresas com seus consumidores mudou e, muitas vezes, tornou-se difícil identificar os papéis de cada ator em uma rede de criação de valor. Em relação aos produtos e serviços, passou a fazer pouco sentido desassociá-los de suas próprias infraestruturas de TI.

A proposta da Indústria 4.0 (I4.0), que remonta à primeira década deste século, surgiu como uma evolução natural desta tendência de digitalização iniciada anos antes. Focada na indústria de manufatura e baseada na convergência entre as tecnologias físicas e digitais, ela remete à terceira revolução industrial e ao desenvolvimento a partir desse estágio de industrialização. Enquanto as transformações anteriores foram identificadas e examinadas *a posteriori*, a conceituação da I4.0 e sua aplicação está apenas começando e faz parte de uma estratégia de industrialização deliberada (NEUMANN et al., 2021). Isto oportuniza a reflexão e análise de diferentes questões acerca deste movimento, muitas ainda conjecturais. Uma das principais envolve os impactos da digitalização sobre os trabalhadores e a própria organização do trabalho.

As pessoas são e continuarão sendo parte essencial do desenvolvimento e da assimilação das inovações tecnológicas. Por isso, a organização do trabalho terá de ser mais inteligente e as habilidades dos trabalhadores ampliadas. Como consequência, projeta-se uma grande transformação do conteúdo, dos processos e do próprio ambiente de trabalho, com repercussões sobre a flexibilidade, o controle do tempo, os cuidados com a saúde, as mudanças demográficas e até as vidas privadas das pessoas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Como se vê, a tecnologia é impulsionadora da I4.0, mas as implicações tendem a ser mais profundas. Mudanças na tecnologia sem correspondências na cultura e na gestão podem causar mais problemas do que resolver (LIU et al., 2020). Decorre daí a importância de compreender a complexidade desses sistemas *sociotécnicos* combinando perspectivas organizacionais, tecnológicas e humanas (REIMAN et al., 2021).

O ponto de partida desta pesquisa foi a identificação, na literatura científica, de alertas acerca da necessidade de conjunção entre a disciplina de Fatores Humanos (FH) e as iniciativas de Transformação Digital (TD) e I4.0, que enfatizam os evidentes reflexos sobre a gestão da saúde e segurança dos trabalhadores. Nosso principal objetivo é contribuir com a teoria e a prática pela especificação de um framework para orientar a análise de aderência de iniciativas de TD a princípios de FH e às capacidades de resiliência em organizações críticas em segurança.

#### Procedimentos metodológicos

Em nossa investigação, recorreremos à pesquisa bibliográfica para extrair, da literatura sobre I4.0, manufatura inteligente, TD e digitalização, variáveis que exercem influência positiva ou negativa sobre FH, riscos, saúde e segurança dos trabalhadores (HSE) e resiliência organizacional. A hipótese que nos orientou foi a de que a incorporação de tecnologias digitais causa abalos temporários, mas pode contribuir com o aumento da resiliência das organizações, especialmente daquelas críticas em segurança.

Após aplicar critérios de inclusão e exclusão, obtivemos um conjunto coeso de publicações de onde, pela leitura e análise, extraímos variáveis posicionadas na intersecção entre os constructos supracitados. Depois de revisá-las e categorizá-las, estruturamos assertivas a partir delas de acordo com as orientações da técnica Escala de Análise de Resiliência (RAG), que objetiva traçar o perfil de resiliência de uma organização.

As assertivas foram, então, agrupadas e, posteriormente, categorizadas. Chegamos, assim, a um conjunto de dez categorias (ou critérios), cada qual com suas próprias assertivas. No quadro a seguir, elas são apresentadas acompanhadas de suas respectivas descrições.

Categoria (Critério)	Descrição
Automação digital	A automação e a digitalização da produção envolvem a adoção de máquinas e equipamentos controlados automaticamente, baseados em conhecimento e equipados com sensores. Com eles, é possível aprimorar processos pela capacidade desses dispositivos de, autonomamente, se auto-aperfeiçoarem e tomarem decisões. A abordagem é caracterizada pelo intercâmbio de dados viabilizado pela ampla interconexão entre TICs, Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos e integração de dados na nuvem. Essas redes complexas, dinâmicas e otimizadas em tempo real apoiam as fábricas nas integrações vertical e horizontal da cadeia de valor e, também, na engenharia de ponta a ponta. As tecnologias de automação podem tornar o trabalho mais flexível, seguro, saudável e socialmente inclusivo. Contudo, podem acarretar a redução de postos de trabalho, principalmente nas fábricas altamente automatizadas. Para minimizar os efeitos negativos, espera-se que esses trabalhadores sejam realocados e envolvidos em tarefas intensivas em conhecimento, o que os desafiará a gerir adequadamente a

	complexidade, lidar com situações abstratas e resolver problemas relacionados a eventos imprevistos (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018).
Cibersegurança	A transformação digital na indústria pode tornar os processos de produção mais rápidos e eficientes, mas aumenta o risco de as empresas serem vítimas de ataques online. A proteção de dados será cada vez mais relevante, pois está se tornando mais complexa e, por isso, demorada e cara. As organizações precisam abordá-la de uma perspectiva integrada. A gestão de risco em tempo real também se tornará altamente relevante em ambientes industriais muito dinâmicos. Ela se baseia em dados coletados de vários dispositivos em rede e acessíveis pela Internet, o que onera o gerenciamento da segurança cibernética. A implementação de uma estratégia de segurança de ponta a ponta é fundamental. É interessante que esta etapa seja realizada interna e externamente, envolvendo parceiros de negócios (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; BLOCHING et al., 2015).
Desenvolvimento e design	A transformação digital na indústria objetiva criar fábricas inteligentes capazes de aprimorar a produção e o ciclo de vida dos produtos pela adoção de tecnologias avançadas de informação e fabricação (ZHONG et al., 2017). Para obter melhores resultados, os projetos e implementações de fábricas inteligentes devem ser orientados por três princípios: integrar pessoas com capacidades digitais, introduzir processos ágeis e desenvolver ou adotar tecnologias modulares para otimizar a produção. À medida que a fábrica se torna mais madura digitalmente, manter o foco na produção inteligente e previsível requer inovação e melhorias contínuas (SJÖDIN et al., 2018). A alta administração é a responsável pela estratégia focada no alcance cada vez mais elevado desta maturidade digital. Os líderes devem, portanto, se preocupar com as oportunidades decorrentes de novos desenvolvimentos, envolvendo todos os níveis da organização nesse processo (BLOCHING et al., 2015). Além disso, projetos e configurações de novos ambientes de trabalho criam a oportunidade de aprimorar a segurança e o conforto dos trabalhadores. Embora riscos possam ser avaliados em todas as etapas do ciclo de vida de um sistema industrial, sua identificação é sempre mais relevante e lucrativa quando incorporada ao próprio desenho do projeto, da tecnologia, do equipamento, do processo, do procedimento e assim por diante (BADRI et al., 2018).
Estratégia digital	As empresas precisam de uma estratégia digital para seus negócios e de uma boa comunicação que conscientize as pessoas sobre as oportunidades inerentes a esses novos desenvolvimentos. A transformação digital exige comprometimento da alta gestão, coordenação para transformar investimentos em resultados e monitoramento para garantir que o progresso esteja sendo medido e gerenciado. É importante criar uma cultura inclusiva para a implementação de fábricas inteligentes envolvendo a força de trabalho no desenvolvimento da visão sobre transformação digital (BLOCHING et al., 2015; WESTERMAN et al., 2011).
<i>Forecasting</i> tecnológico	As empresas digitalmente maduras se destacam por acompanhar o ritmo da jornada de digitalização de seus clientes (CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015) e implantarem processos proativos para prever e planejar o futuro da produção (SJÖDIN et al., 2018). O <i>forecasting</i> tecnológico permite que elas prevejam os requisitos do futuro, questionando cenários concebíveis e viáveis e conhecendo as plataformas que estão surgindo e as principais tecnologias (BLOCHING et al., 2015).
Gestão de dados	Os recursos tecnológicos da transformação digital na indústria de manufatura, juntamente com a análise cognitiva e a gestão de dados abrangente, podem melhorar a capacidade dos trabalhadores, tornando-os mais inteligentes e apoiando até sua segurança e bem-estar em ambientes de trabalho mais ergonômicos e confortáveis (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018). As organizações devem estruturar modelos para coleta e compartilhamento de dados que facilitem o desenvolvimento de práticas e processos de gerenciamento de dados que, por sua vez, permitam armazená-los e utilizá-los com eficiência. Para tal, é importante que as organizações desenvolvam as competências de análise e otimização de processos em tempo real para que se beneficiem amplamente dos dados coletados e processados (SJÖDIN et al., 2018). Outras capacidades técnicas, como análise de big data, gerenciamento de conteúdo digital e otimização de mecanismos de busca, são também cruciais (CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015). No estágio mais avançado da maturidade digital, as organizações orientam grande parte de suas decisões e ações pelos dados coletados, analisados e interpretados (BERGHAUS; BACK, 2016).
Habilidades e competências	A digitalização das organizações impactará nos requisitos de habilidades e competências exigidos dos trabalhadores. As pessoas serão mais exigidas em

	<p>termos de resolução de problemas, abstração e gerenciamento da complexidade e precisarão se comunicar melhor, tornarem-se mais independentes e assumirem a responsabilidade de organizar suas próprias tarefas. O <i>forecasting</i> tecnológico poderá ajudar na identificação precoce das habilidades necessárias no futuro e a organização do trabalho determinará o desenvolvimento dessas habilidades. As competências e habilidades deverão ser desenvolvidas em sintonia com as mudanças ambientais para permitir que os funcionários lidem com o rápido avanço tecnológico e superem a inércia organizacional. Os gestores envolvidos na transformação digital deverão se concentrar em recrutar e capacitar pessoas com competências digitais ao mesmo tempo em que investem no desenvolvimento das habilidades dos atuais trabalhadores (KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).</p>
Parcerias para a digitalização	<p>Em sua jornada em direção à transformação digital, as organizações se beneficiam quando acompanhadas não só pelos departamentos internos de TI, mas também por parceiros do setor produtivo e, também, por instituições científicas. Tais parcerias ajudam a garantir que as ações sejam iniciadas com a velocidade e o vigor desejados. A flexibilidade é uma característica das organizações que colaboram mais intensamente com parceiros, tornando-as capazes de reagir tempestivamente às mudanças. A integração dos insights obtidos de parceiros externos, nessas organizações, são um insumo importante para a previsibilidade (ACCENTURE RESEARCH, 2016; BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; FRIEDRICH et al., 2011; SJÖDIN et al., 2018).</p>
Saúde, segurança e meio ambiente	<p>As indústrias entendem que a saúde e segurança de seus trabalhadores são um componente importante do sucesso financeiro. Um negócio saudável é aquele em que tais componentes são considerados um imperativo. A digitalização em direção à Indústria 4.0 poderá refletir sobre a gestão da saúde e segurança ocupacional. Existe um risco de novas tecnologias e modelos industriais serem implementados sem o devido cuidado e, por isso, comprometerem a saúde e segurança dos trabalhadores (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).</p>
Segurança operacional	<p>Quando não são devidamente testados, novas ferramentas e modelos industriais podem comprometer a saúde e a segurança dos trabalhadores. Por isso, toda e qualquer modificação de um sistema de fabricação industrial deve ser contemplada com discussões detalhadas acerca dos efeitos potenciais sobre a saúde e a segurança do trabalhador. As indústrias já entendem que a saúde e a segurança são um componente importante de seu sucesso. Um negócio saudável é aquele que as tem como imperativo. Na transformação digital nos contextos industriais, a adoção de sistemas ciberfísicos deve levar em consideração restrições de segurança que reduzam os riscos técnicos a um nível tolerável para melhor adaptação a um sistema autônomo e inteligente (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).</p>

Em seguida, para fins de orientação e organização das coletas e análises de dados, associamos cada assertiva a uma das quatro capacidades da resiliência: responder, monitorar, antecipar e aprender.

## CRITÉRIOS E ASSERTIVAS

### a) Capacidade de responder

Uma organização resiliente deve ser capaz de responder à variabilidade, às perturbações e às oportunidades. As respostas devem ser oportunas e eficazes para que produzam os resultados ou mudanças desejados antes que seja tarde demais. Para tal, ela deve ser capaz de detectar que algo aconteceu e reconhecê-lo e classificá-lo como tão importante a ponto de necessitar uma resposta. Deve saber, ainda, como e quando responder e, finalmente, ter os recursos necessários para implementar a resposta.

#### R - RESPONDER

Critérios	Assertivas	Fontes
R1) Automação digital	R1.1) A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	R1.2) A automatização digital contribui para a redução de erros e de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018
	R1.3) As máquinas e os sistemas críticos em segurança na organização são integrados e controlados quase completamente por meio de TI.	LICHTBLAU et al., 2015
R2) Desenvolvimento e design	R2.1) Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para a resiliência organizacional estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	SJÖDIN et al., 2018
	R2.2) O design das tecnologias digitais contribui para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	(BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018)
R3) Estratégia digital	R3.1) Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para alavancar o desenvolvimento de tecnologias relevantes para as respostas resilientes.	SJÖDIN et al., 2018; VANBOSKIRK et al., 2017
R4) Habilidades e competências	R4.1) Os trabalhadores possuem as habilidades e as competências tecnológicas necessárias para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015
	R4.2) As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015
	R4.3) A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais relevantes para a resiliência organizacional.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
R5) Saúde, segurança e meio ambiente	R5.1) As políticas de segurança em relação às tecnologias digitais são definidas a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminadas por toda a organização.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
	R5.2) O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
	R5.3) Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e capazes de agir sobre informações obtidas a partir de dados advindos das tecnologias digitais estão definidos.	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014

### b) Capacidade de monitorar

Uma organização resiliente deve ser capaz de monitorar o que acontece e reconhecer mudanças que possam afetar sua capacidade de realizar as operações atuais ou pretendidas. Deve saber, ainda, no que e onde focar, reconhecendo aquilo que é mais crítico, para que as ameaças e oportunidades sejam identificadas antes que se tornem reais.

#### M - MONITORAR

Critérios	Assertivas	Fontes
M1) Cibersegurança	M1.1) Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são conhecidos e possuem soluções de segurança de TI implementadas.	BLOCHING et al., 2015; LICHTBLAU et al., 2015
M2) Desenvolvimento e design	M2.1) Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar com problemas e oportunidades em tempo real estão estabelecidos.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014

	M2.2) Sistemas que ajudam a organização a avaliar como as decisões a nível estratégico (C-level) podem influenciar na segurança operacional estão estabelecidos.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
M3) Estratégia digital	M3.1) A organização monitora o alcance dos objetivos das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017
M4) Gestão de dados	M4.1) Na coleta de dados, especialmente daquelas relacionados diretamente às atividades dos trabalhadores, a organização toma cuidados para que não seja criada uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica.	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	M4.2) Os fluxos de trabalho, cronogramas e responsabilidades sobre os dados coletados a partir de sistemas automatizados estão definidos.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
	M4.3) Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	LICHTBLAU et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
	M4.4) Os dados coletados relativos à segurança operacional estão padronizados e normalizados, garantindo sua interoperabilidade entre os sistemas.	BLOCHING et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014
	M4.5) As análises realizadas a partir de dados obtidos de fontes internas e externas subsidiam a tomada de decisão e orientam ações e decisões estratégicas relacionadas à segurança.	BERGHAUS; BACK, 2016; CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; SJÖDIN et al., 2018
	M4.6) Os dados críticos à segurança obtidos pela organização são compartilhados de forma abrangente, inclusive com o público externo (fornecedores, contratados, usuários finais).	LICHTBLAU et al., 2015
	M4.7) Os protocolos acionados pelo processamento e análise de dados obtidos pelas tecnologias digitais são definidos e conhecidos (alguns proativos e automáticos).	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
M5) Saúde, segurança e meio ambiente	M5.1) Os dados coletados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LIU et al., 2020
	M5.2) As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	M5.3) As tecnologias digitais diminuem a ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	M5.4) Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos e robôs são uma preocupação da organização.	LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018
	M5.5) As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho, a saúde e a segurança dos trabalhadores em tempo real.	SJÖDIN et al., 2018
	M5.6) A organização busca conhecer e avaliar os problemas gerados pela automatização digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.	NEUMANN et al., 2021b
M6) Segurança operacional	M6.1) A conexão e a integração das tecnologias digitais aos sistemas legados são monitoradas para evitar prejuízos operacionais que possam comprometer a segurança das operações.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014
	M6.2) Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para aperfeiçoar processos de negócio e operacionais e reagir tempestivamente a mudanças para preservar ou melhorar condições operacionais.	FRIEDRICH et al., 2011; LICHTBLAU et al., 2015; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018
	M6.3) Tecnologias digitais são empregadas para aumentar a transparência e a abrangência dos mecanismos de segurança e controle.	OPITZ et al., 2015
	M6.4) Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as políticas de segurança necessárias à operação.	ROCKWELL AUTOMATION, 2014

M6.5) As tecnologias digitais contribuem para o monitoramento e a visualização analítica de operações críticas e potencialmente perigosas.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
--	--

### c) Capacidade de antecipar

Uma organização resiliente deve ser capaz de antecipar desenvolvimentos futuros, sejam eles positivos ou negativos, e que vão além de suas operações atuais, como, por exemplo, uma inovação tecnológica, mudanças nas necessidades dos clientes ou uma nova legislação.

#### A - ANTECIPAR

Critérios	Assertivas	Fontes
A1) Desenvolvimento e design	A1.1) As máquinas e os sistemas são capazes de receber atualizações de acordo com os requisitos tecnológicos do futuro.	LICHTBLAU et al., 2015
	A1.2) Todos os níveis organizacionais estão engajados na busca por oportunidades proporcionadas por novos desenvolvimentos e contribuem com ideias baseadas em tecnologias digitais.	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
	A1.3) Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	LICHTBLAU et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
	A1.4) Os trabalhadores participam do desenvolvimento de produtos digitais.	ACCENTURE RESEARCH, 2016; NEUMANN et al., 2021b
A2) Estratégia digital	A2.1) Os executivos (C-Level) da organização estão pessoalmente engajados e promovem uma relação estratégica entre eles que impulsiona a digitalização na organização.	ACCENTURE RESEARCH, 2016; BLOCHING et al., 2015; OPITZ et al., 2015; WESTERMAN; BONNET; MCAFEE, 2014
	A2.2) O potencial de contribuição das tecnologias digitais para o aumento da flexibilidade e da agilidade operacional é compreendido na organização, tornando-a mais capaz de lidar com mudanças decorrentes da evolução tecnológica.	BERGHAUS; BACK, 2016; LICHTBLAU et al., 2015; OPITZ et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN; BONNET; MCAFEE, 2014
	A2.3) Existe um orçamento adequado à estratégia, à governança e à execução da estratégia de digitalização que considera seu processo evolutivo, abrange toda a organização e é fluido para permitir mudanças nas prioridades.	ACCENTURE RESEARCH, 2016; FRIEDRICH et al., 2011; LICHTBLAU et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN; BONNET; MCAFEE, 2014
	A2.4) Existem planos em vigor que visam possibilitar o investimento no desenvolvimento da maturidade digital, minimizando riscos às operações atuais e que aceita as inovações tecnológicas mesmo quando envolvem riscos financeiros.	ACCENTURE RESEARCH, 2016; BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015
	A2.5) A participação dos trabalhadores é estimulada e fatores humanos são considerados nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e à implantação de tecnologias digitais, especialmente aquelas que sabidamente podem influenciar na segurança, saúde e meio ambiente.	BERGHAUS; BACK, 2016; KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; ROCKWELL AUTOMATION, 2014; SJÖDIN et al., 2018; VANBOSKIRK et al., 2017
A3) Forecasting tecnológico	A3.1) Processos de identificação de tecnologias digitais que serão relevantes no futuro são utilizados para projetar mudanças na organização e orientar suas estratégias.	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
	A3.2) A organização monitora a jornada de digitalização de clientes, fornecedores e demais stakeholders para se adaptar a ela.	BLOCHING et al., 2015; CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015
A4) Habilidades e competências	A4.1) Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a; SJÖDIN et al., 2018a
	A4.2) A organização sabe quais habilidades e competências tecnológicas serão demandadas de seus trabalhadores no futuro.	KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019a
	A4.3) A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015; LESO;

		FONTANA; IAVICOLI, 2018
A5) Saúde, segurança e meio ambiente	A5.1) A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.	OPITZ et al., 2015; VANBOSKIRK et al., 2017; WESTERMAN et al., 2011

#### d) Capacidade de aprender

Uma organização, para ser resiliente, deve ser capaz de aprender com a experiência. Seu desempenho futuro só pode ser melhorado se ocorrerem mudanças nos comportamentos resultantes de suas experiências. Para tal, é importante que o que aconteceu seja entendido e a organização seja capaz de aprender lições certas a partir dessas experiências.

#### L - APRENDER

Crítérios	Assertivas	Fontes
L1) Cibersegurança	L1.1) As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018; BLOCHING et al., 2015
L2) Desenvolvimento e design	L2.1) Há um esforço na organização para promover a inovação contínua em relação às tecnologias digitais.	BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
L3) Estratégia digital	L3.1) Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	VANBOSKIRK et al., 2017
L4) Habilidades e competências	L4.1) Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018; BERGHAUS; BACK, 2016; SJÖDIN et al., 2018
	L4.2) A organização conhece as deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores e desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018
	L4.3) A organização busca demonstrar aos trabalhadores a importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional para que eles se mantenham motivados e abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes dele.	BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUSSI, 2018
L5) Parcerias para a digitalização	L5.1) A organização é aberta e considera insights recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) para o desenvolvimento de tecnologias digitais que contribuam para a resiliência de suas operações.	BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; SJÖDIN et al., 2018
	L5.2) A organização trabalha junto a startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) para o desenvolvimento de inovações tecnológicas que contribuam para sua resiliência.	ACCENTURE RESEARCH, 2016; FRIEDRICH et al., 2011

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE DADOS



### APRESENTAÇÃO

O ponto de partida desta pesquisa foi a identificação, na literatura científica, de alertas acerca da necessidade de conjunção entre a área de Fatores Humanos (FH) e as iniciativas de Transformação Digital (TD) e Indústria 4.0 (I4.0).

Em nossa investigação, identificamos variáveis relacionadas às iniciativas de TD e I4.0 com potencial para influenciar positiva ou negativamente riscos, saúde ocupacional, segurança operacional e resiliência organizacional. Trabalhamos sob a hipótese de que a incorporação de tecnologias digitais causa abalos temporários, mas pode contribuir com o aumento da resiliência das organizações, especialmente daquelas críticas em segurança.

Por meio desta pesquisa, pretendemos coletar dados que nos permitam analisar a aderência das iniciativas de TD e I4.0 de sua organização a princípios de FH e capacidades de resiliência.

Por favor, leia cuidadosamente as informações e instruções descritas neste documento. Se concordar em participar, expresse seu consentimento selecionando a opção "Sim" na pergunta abaixo. Se tiver dúvidas antes, durante ou depois de iniciar o preenchimento, envie um e-mail para [heronjt@gmail.com](mailto:heronjt@gmail.com).

Lembramos que os resultados serão tratados de forma consolidada, resguardando o sigilo dos respondentes e a confidencialidade dos dados informados.

### CONFIDENCIALIDADE E CONSENTIMENTO

Nós lhe convidamos a participar da pesquisa conduzida por Heron Jader Trierveiler, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, da Universidade Federal de Santa Catarina, que objetiva analisar a aderência de iniciativas de Transformação Digital e Indústria 4.0 aos princípios de fatores humanos e resiliência organizacional. Para alcançar este objetivo, nós precisamos conhecer as características do contexto no qual você trabalha e como você o percebe. As questões deste questionário têm este objetivo.

Sua participação envolve riscos mínimos e alguns desconfortos podem ou não ocorrer, tais como: cansaço ou aborrecimento; mudanças na visão de mundo, relações e comportamentos como resultado das reflexões acerca de sua própria trajetória pessoal e profissional. É possível que você tenha problemas de conexão à Internet ou dúvidas sobre continuar preenchendo o questionário. Nesses casos, você pode declinar de participar a qualquer momento.

Serão necessários aproximadamente 30 minutos para preencher o questionário. Não existem respostas corretas ou incorretas. Por favor, responda a cada questão de acordo com sua opinião sobre a realidade.

A participação é voluntária e você tem o direito de decidir não participar e, também, de declinar da participação a qualquer momento e por qualquer razão. Se você enfrentar problemas durante o preenchimento do questionário, por favor, informe ao pesquisador usando os dados de contato disponíveis neste documento. É importante que você saiba que o sistema salvará suas respostas na eventualidade de ocorrerem problemas técnicos e que você poderá continuar a responder quando eles forem superados.

Nós não incluiremos informações que lhe identifiquem em relatórios ou publicações. Suas respostas serão acessadas exclusivamente pelo pesquisador e seu orientador e não serão compartilhadas com organizações ou empresas sob qualquer circunstância. Todos os pesquisadores envolvidos neste estudo garantem que os dados coletados são confidenciais. Nós trataremos e apresentaremos os dados exclusivamente de forma estatística.

Ao responder a este questionário, você concorda que está ciente das informações apresentadas, que quaisquer questões, quando expressas, foram adequadamente esclarecidas e que sua participação na pesquisa é espontânea. Além disso, pressupõe que você respeite o caráter confidencial dos materiais, o que impede que eles sejam reproduzidos, distribuídos ou divulgados.

Declaro que li e entendi as informações descritas acima e que concordo em participar da pesquisa.

Sim

Não

>>

Material Confidencial – Proibida a reprodução, distribuição e divulgação. Todos os direitos reservados.



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA



Há quanto tempo você trabalha na indústria de óleo e gás?

Menos de um ano

1 - 2 anos

3 - 4 anos

5 - 6 anos

7 - 8 anos

9 - 10 anos

Mais de 10 anos

Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?

Menos de um ano

1 - 2 anos

3 - 4 anos

5 - 6 anos

7 - 8 anos

9 - 10 anos

Mais de 10 anos

Qual o seu cargo / função atual na empresa?

Há quanto tempo você trabalha no atual cargo / função?

Menos de um ano

1 - 2 anos

3 - 4 anos

5 - 6 anos

7 - 8 anos

9 - 10 anos

Mais de 10 anos

Qual sua nacionalidade? (informe o país)

Brasileira

Outra(por favor, especifique)

Quantos anos você tem?

Qual seu gênero?

Masculino

Feminino

Outro

Prefiro não  
informar

Qual seu grau de escolaridade?

Ensino fundamental ou inferior

Ensino médio / Técnico

Graduação

Pós-graduação / MBA

Mestrado

Doutorado

<<

>>



**IMPORTANTE:** você deve analisar as assertivas a seguir e responder o quanto cada uma representa a **realidade atual da organização** onde você trabalha e não o quanto você concorda com ela.

### 1. Automação Digital

Envolve a adoção de máquinas e equipamentos controlados automaticamente, baseados em conhecimento e equipados com sensores. A abordagem é caracterizada pelo intercâmbio de dados viabilizado pela ampla interconexão entre TICs, Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos e integração de dados na nuvem. As tecnologias de automação podem tornar o trabalho mais flexível, seguro, saudável e socialmente inclusivo. Contudo, podem acarretar a redução de postos de trabalho, principalmente nas fábricas altamente automatizadas. Para minimizar os efeitos negativos, espera-se que esses trabalhadores sejam realocados e envolvidos em tarefas intensivas em conhecimento, o que os desafiará a gerir adequadamente a complexidade, lidar com situações abstratas e resolver problemas relacionados a eventos imprevistos (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018).

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
1.1. A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automação digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1.2. A automação digital contribui para a redução de erros.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1.3. A automação digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1.4. As máquinas e os sistemas críticos em segurança são integrados e controlados amplamente por meio de TI.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).



## 2. Cibersegurança

A TD na indústria pode tornar os processos de produção mais rápidos e eficientes, mas aumenta o risco de as empresas serem vítimas de ataques online. A proteção de dados será cada vez mais relevante, pois está se tornando mais complexa e, por isso, demorada e cara. A implementação de uma estratégia de segurança de ponta a ponta é fundamental. É interessante que esta etapa seja realizada interna e externamente, envolvendo parceiros de negócios (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; BLOCHING et al., 2015).

	<b>Discordo fortemente</b>	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	<b>Concordo fortemente</b>
2.1. Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são conhecidos e possuem soluções de segurança implementadas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2. As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

### 3. Desenvolvimento e Design

Para obter melhores resultados, os projetos e implementações de fábricas inteligentes devem ser orientados por três princípios: integrar pessoas com capacidades digitais, introduzir processos ágeis e desenvolver ou adotar tecnologias modulares para otimizar a produção. À medida que a fábrica se torna mais madura digitalmente, manter o foco na produção inteligente e previsível requer inovação e melhorias contínuas (SJÖDIN et al., 2018). Além disso, projetos e configurações de novos ambientes de trabalho criam a oportunidade de aprimorar a segurança e o conforto dos trabalhadores.

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
3.1. Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para o monitoramento e as respostas a eventos críticos em segurança estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.2. O design das tecnologias digitais contribui não só para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.3. Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar em tempo real com problemas e oportunidades relacionados à segurança estão estabelecidos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.4. Sistemas que ajudam a organização a avaliar como as decisões a nível estratégico (C-level) podem influenciar na segurança operacional estão estabelecidos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.5. As máquinas e os sistemas são capazes de receber atualizações de acordo com os requisitos tecnológicos do futuro.	<input type="radio"/>				
3.6. Todos os níveis organizacionais estão engajados na busca por oportunidades proporcionadas por novas soluções e contribuem com ideias baseadas em tecnologias digitais.	<input type="radio"/>				
3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	<input type="radio"/>				
3.8. Os trabalhadores participam do desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	<input type="radio"/>				
3.9. Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	<input type="radio"/>				

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

#### 4. Estratégia Digital

As empresas precisam de uma estratégia digital para seus negócios e de uma boa comunicação que conscientize as pessoas sobre as oportunidades inerentes a esses novos desenvolvimentos. A TD exige comprometimento da alta gestão, coordenação para transformar investimentos em resultados e monitoramento para garantir que o progresso esteja sendo medido e gerenciado. É importante criar uma cultura inclusiva para a implementação de fábricas inteligentes envolvendo a força de trabalho no desenvolvimento da visão sobre transformação digital (BLOCHING et al., 2015; WESTERMAN et al., 2011).

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
4.1. Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.3. Os executivos (C-Level) da organização estão pessoalmente engajados e promovem uma relação estratégica entre eles que impulsiona a digitalização na organização.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.4. O potencial de contribuição das tecnologias digitais para o aumento da flexibilidade e da agilidade operacional é compreendido na organização, tornando-a mais capaz de lidar com mudanças decorrentes da evolução tecnológica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.5. Existe um orçamento adequado à estratégia, à governança e à execução da estratégia de digitalização que considera seu processo evolutivo, abrange toda a organização e é fluido para permitir mudanças nas prioridades.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.6. Investimentos são feitos para possibilitar o desenvolvimento da maturidade digital, minimizando riscos às operações atuais e que aceita as inovações tecnológicas mesmo quando envolvem riscos financeiros.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.7. Fatores humanos são considerados nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais, especialmente aquelas que podem impactar sobre a segurança, a saúde ocupacional e o meio ambiente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.8. Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.



Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

## 5. Forecasting Tecnológico

As empresas digitalmente maduras se destacam por acompanhar o ritmo da jornada de digitalização de seus clientes (CATLIN; SCANLAN; WILLMOTT, 2015) e implantarem processos proativos para prever e planejar o futuro da produção (SJÖDIN et al., 2018). O forecasting tecnológico permite que elas prevejam os requisitos do futuro, questionando cenários concebíveis e viáveis e conhecendo as plataformas que estão surgindo e as principais tecnologias (BLOCHING et al., 2015). Além disso, contribui com a identificação precoce das habilidades que os trabalhadores precisarão ter no futuro, permitindo que a organização invista no seu desenvolvimento.

	Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
--	---------------------	----------	---------------------------	----------	---------------------

5.1. Processos de identificação de tecnologias digitais que serão relevantes no futuro são usados para projetar mudanças e orientar estratégias organizacionais.



5.2. A organização monitora as jornadas de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders para se antecipar ou adaptar a elas.



Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

## 6. Gestão de Dados

Os recursos tecnológicos da TD na indústria de manufatura, juntamente com a análise cognitiva e a gestão de dados abrangente, podem melhorar a capacidade dos trabalhadores, tornando-os mais inteligentes e apoiando até sua segurança e bem-estar em ambientes de trabalho mais ergonômicos e confortáveis (LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018). As organizações devem estruturar modelos para coleta e compartilhamento de dados e desenvolver as competências de análise e otimização de processos em tempo real para que se beneficiem amplamente dos dados coletados e processados (SJÖDIN et al., 2018).

	<b>Discordo fortemente</b>	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	<b>Concordo fortemente</b>
6.1. Na coleta de dados, especialmente daqueles relacionados diretamente às atividades dos trabalhadores, são tomados cuidados para que não seja criada uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.2. Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.3. As análises realizadas a partir de dados obtidos de fontes internas e externas subsidiam a tomada de decisão e orientam ações e decisões estratégicas relacionadas à segurança.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6.4. Os dados críticos à segurança obtidos pela organização são compartilhados de forma abrangente, inclusive com o público externo (fornecedores, contratados, usuários finais).



6.5. Os protocolos acionados pelo processamento e análise de dados obtidos pelas tecnologias digitais são definidos e conhecidos (alguns proativos e automáticos).



Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).



## 7. Habilidades e Competências

A digitalização das organizações impactará nas habilidades e competências exigidas dos trabalhadores. As pessoas terão de ser mais capazes de resolver problemas, abstrair e gerenciar a complexidade, além de se comunicarem melhor, tornarem-se mais independentes e assumirem a responsabilidade de organizar suas próprias tarefas. As competências e habilidades deverão ser desenvolvidas em sintonia com as mudanças ambientais para permitir que os funcionários lidem com o rápido avanço tecnológico e superem a inércia organizacional. Os gestores envolvidos na TD deverão se concentrar em recrutar e capacitar pessoas com competências digitais ao mesmo tempo em que investem no desenvolvimento das habilidades dos atuais trabalhadores (KADIR; BROBERG; CONCEIÇÃO, 2019; LESO; FONTANA; IAVICOLI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
7.1. Os trabalhadores possuem as habilidades e as competências tecnológicas necessárias para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.2. As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.5. A organização sabe quais habilidades e competências tecnológicas serão demandadas de seus trabalhadores no futuro.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.6. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.7. Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.8. As deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores são conhecidas e a organização desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.9. A importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional é constantemente demonstrada aos trabalhadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.10. Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

## 8. Parcerias para a Digitalização

Em sua jornada em direção à TD, as organizações se beneficiam quando acompanhadas não só pelos departamentos internos de TI, mas também por parceiros do setor produtivo e, também, por instituições científicas. Tais parcerias ajudam a garantir que as ações sejam iniciadas com a velocidade e o vigor desejados. A flexibilidade é uma característica das organizações que colaboram mais intensamente com parceiros, tornando-as capazes de reagir tempestivamente às mudanças. A integração dos insights obtidos de parceiros externos, nessas organizações, são um insumo importante para a previsibilidade (ACCENTURE RESEARCH, 2016; BERGHAUS; BACK, 2016; BLOCHING et al., 2015; FRIEDRICH et al., 2011; SJÖDIN et al., 2018).

	<b>Discordo fortemente</b>	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	<b>Concordo fortemente</b>
8.1. Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a segurança das operações e a saúde e o bem estar dos trabalhadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.2. Startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) são envolvidas nas iniciativas de desenvolvimento e/ou implantação de inovações tecnológicas que visam contribuir para a segurança operacional e a saúde e o bem estar dos trabalhadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

## 9. Saúde e segurança ocupacional

As indústrias entendem que a saúde e segurança de seus trabalhadores são um componente importante do sucesso financeiro. Um negócio saudável é aquele em que tais componentes são considerados um imperativo. A digitalização em direção à Indústria 4.0 poderá refletir sobre a gestão da saúde e segurança ocupacional. Existe um risco de novas tecnologias e modelos industriais serem implementados sem o devido cuidado e, por isso, comprometerem a saúde e segurança dos trabalhadores (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018)

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- 9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.
- 9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).
- 9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.
- 9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.
- 9.8. As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho, a saúde e a segurança dos trabalhadores em tempo real.
- 9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela transformação digital, principalmente sobre a segurança ocupacional, antes que ocorram.
- 9.10. A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;

## 10. Segurança Operacional

Toda e qualquer modificação de um sistema de fabricação industrial deve ser contemplada com discussões detalhadas acerca dos efeitos potenciais sobre a segurança operacional. Na TD nos contextos industriais, a adoção de sistemas ciberfísicos deve levar em consideração restrições de segurança que reduzam os riscos técnicos a um nível tolerável para melhor adaptação a um sistema autônomo e inteligente (BADRI; BOUDREAU-TRUDEL; SOUISSI, 2018; SJÖDIN et al., 2018).

	<b>Discordo fortemente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não concordo nem discordo</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo fortemente</b>
10.1. A conexão e a integração das tecnologias digitais aos sistemas legados são monitorados para evitar o comprometimento da segurança das operações.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.2. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para aperfeiçoar processos de negócio e operacionais.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.3. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para reagir tempestivamente a mudanças que busquem preservar ou melhorar condições operacionais.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.4. Tecnologias digitais são empregadas para aumentar a transparência e a abrangência dos mecanismos de segurança e controle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.5. Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as políticas de segurança necessárias à operação.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.6. As tecnologias digitais contribuem para o monitoramento e a visualização analítica de operações críticas e potencialmente perigosas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Aproveite este espaço para comentar sobre as assertivas acima (opcional).

&lt;&lt;

&gt;&gt;



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA



**Sua contribuição é muito valiosa para o desenvolvimento desta pesquisa e da ciência nacional. Agradecemos pela gentileza e pelo tempo dispendido!**

Se tiver dúvidas ou comentários, por favor, entre em contato:  
heronjt@gmail.com / (47) 99694-6950

## APÊNDICE D – PLANILHA ELETRÔNICA PARA ANÁLISE PAR-A-PAR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DO CONHECIMENTO

Framework para análise de aderência de iniciativas de transformação digital às capacidades da resiliência organizacional

Escala numérica	Escala conceitual	Descrição
1	Igual	Os elementos contribuem igualmente para o alcance do objetivo.
3	Moderada	O elemento comparado é ligeiramente mais relevante que o outro.
5	Forte	O elemento comparado é fortemente mais relevante que o outro.
7	Muito forte	O elemento comparado é muito mais forte que o outro e isto pode ser demonstrado na prática.
9	Absoluta	As evidências que favorecem um elemento são as maiores possíveis.

**Matriz Principal**

	1. Automação digital	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	5. Forecasting tecnológico	6. Gestão de dados	7. Habilidades e competências	8. Parcerias para a digitalização	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
1. Automação digital										
2. Cibersegurança										
3. Desenvolvimento e design										
4. Estratégia digital										
5. Forecasting tecnológico										
6. Gestão de dados										
7. Habilidades e competências										
8. Parcerias para a digitalização										
9. Saúde e segurança ocupacional										
10. Segurança operacional										
<b>Total (soma)</b>										

**Matriz Normalizada**

	1. Automação digital	2. Cibersegurança	3. Desenvolvimento e design	4. Estratégia digital	5. Forecasting tecnológico	6. Gestão de dados	7. Habilidades e competências	8. Parcerias para a digitalização	9. Saúde e segurança ocupacional	10. Segurança operacional
1. Automação digital										
2. Cibersegurança										
3. Desenvolvimento e design										
4. Estratégia digital										
5. Forecasting tecnológico										
6. Gestão de dados										
7. Habilidades e competências										
8. Parcerias para a digitalização										
9. Saúde e segurança ocupacional										
10. Segurança operacional										

**Análise de consistência**

Vetor de prioridade										
Prioridade local										
<b>Total (soma)</b>										
<b>Maior autovalor (λ<sub>Max</sub>)</b>										

<b>Nº de critérios avaliados</b>	
<b>Índice de consistência (CI)</b>	
<b>Taxa de consistência (CR)</b>	
<b>Taxa de consistência (%)</b>	
<b>Resultado</b>	

**Índices de consistência aleatória (RI)**

1	0,00
2	0,00
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45
10	1,49

## APÊNDICE E – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (VISÃO GERAL)

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da categoria de análise (A)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (B)</b>	<b>Peso da assertiva (A ÷ B)</b>
1. Automação Digital	1.1. A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	0,0140	4	0,0035
1. Automação Digital	1.2. A automatização digital contribui para a redução de erros.	0,0140	4	0,0035
1. Automação Digital	1.3. A automatização digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	0,0140	4	0,0035
1. Automação Digital	1.4. As máquinas e os sistemas críticos em segurança são integrados e controlados amplamente por meio de TI.	0,0140	4	0,0035
2. Cibersegurança	2.1. Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são conhecidos e possuem soluções de segurança implementadas.	0,0418	2	0,0209
2. Cibersegurança	2.2. As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	0,0418	2	0,0209
3. Desenvolvimento & Design	3.1. Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para o monitoramento e as respostas a eventos críticos em segurança estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.2. O design das tecnologias digitais contribui não só para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.3. Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar em tempo real com problemas e oportunidades relacionados à segurança estão estabelecidos.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.4. Sistemas que ajudam a organização a avaliar como as decisões a nível estratégico (C-level) podem influenciar na segurança operacional estão estabelecidos.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.5. As máquinas e os sistemas são capazes de receber atualizações de acordo com os requisitos tecnológicos do futuro.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.6. Todos os níveis organizacionais estão engajados na busca por oportunidades proporcionadas por novas soluções e contribuem com ideias baseadas em tecnologias digitais.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas	0,0361	9	0,0040

	para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.			
3. Desenvolvimento & Design	3.8. Os trabalhadores participam do desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	0,0361	9	0,0040
3. Desenvolvimento & Design	3.9. Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	0,0361	9	0,0040
4. Estratégia Digital	4.1. Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.3. Os executivos (C-Level) da organização estão pessoalmente engajados e promovem uma relação estratégica entre eles que impulsiona a digitalização na organização.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.4. O potencial de contribuição das tecnologias digitais para o aumento da flexibilidade e da agilidade operacional é compreendido na organização, tornando-a mais capaz de lidar com mudanças decorrentes da evolução tecnológica.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.5. Existe um orçamento adequado à estratégia, à governança e à execução da estratégia de digitalização que considera seu processo evolutivo, abrange toda a organização e é fluido para permitir mudanças nas prioridades.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.6. Investimentos são feitos para possibilitar o desenvolvimento da maturidade digital, minimizando riscos às operações atuais e que aceita as inovações tecnológicas mesmo quando envolvem riscos financeiros.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.7. Fatores humanos são considerados nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais, especialmente aquelas que podem impactar sobre a segurança, a saúde ocupacional e o meio ambiente.	0,1568	8	0,0196
4. Estratégia Digital	4.8. Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	0,1568	8	0,0196
5. Forecasting Tecnológico	5.1. Processos de identificação de tecnologias digitais que serão relevantes no futuro são usados para projetar mudanças e orientar estratégias organizacionais.	0,0816	2	0,0408

5. Forecasting Tecnológico	5.2. A organização monitora as jornadas de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders para se antecipar ou adaptar a elas.	0,0816	2	0,0408
6. Gestão de Dados	6.1. Na coleta de dados, especialmente daqueles relacionados diretamente às atividades dos trabalhadores, são tomados cuidados para que não seja criada uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica.	0,0823	5	0,0165
6. Gestão de Dados	6.2. Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	0,0823	5	0,0165
6. Gestão de Dados	6.3. As análises realizadas a partir de dados obtidos de fontes internas e externas subsidiam a tomada de decisão e orientam ações e decisões estratégicas relacionadas à segurança.	0,0823	5	0,0165
6. Gestão de Dados	6.4. Os dados críticos à segurança obtidos pela organização são compartilhados de forma abrangente, inclusive com o público externo (fornecedores, contratados, usuários finais).	0,0823	5	0,0165
6. Gestão de Dados	6.5. Os protocolos acionados pelo processamento e análise de dados obtidos pelas tecnologias digitais são definidos e conhecidos (alguns proativos e automáticos).	0,0823	5	0,0165
7. Habilidades & Competências	7.1. Os trabalhadores possuem as habilidades e as competências tecnológicas necessárias para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	0,1123	5	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.2. As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão para o manuseio de tecnologias digitais.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.5. A organização sabe quais habilidades e competências tecnológicas serão demandadas de seus trabalhadores no futuro.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.6. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.7. Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	0,1123	10	0,0112

7. Habilidades & Competências	7.8. As deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores são conhecidas e a organização desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.9. A importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional é constantemente demonstrada aos trabalhadores.	0,1123	10	0,0112
7. Habilidades & Competências	7.10. Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	0,1123	10	0,0112
8. Parcerias para a Digitalização	8.1. Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a segurança das operações e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	0,0506	2	0,0253
8. Parcerias para a Digitalização	8.2. Startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) são envolvidas nas iniciativas de desenvolvimento e/ou implantação de inovações tecnológicas que visam contribuir para a segurança operacional e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	0,0506	2	0,0253
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.	0,2115	10	0,0211

9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.8. As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho, a saúde e a segurança dos trabalhadores em tempo real.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela transformação digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.	0,2115	10	0,0211
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.10. A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.	0,2115	10	0,0211
10. Segurança Operacional	10.1. A conexão e a integração das tecnologias digitais aos sistemas legados são monitoradas para evitar o comprometimento da segurança das operações.	0,2130	6	0,0355
10. Segurança Operacional	10.2. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para aperfeiçoar processos de negócio e operacionais.	0,2130	6	0,0355
10. Segurança Operacional	10.3. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para reagir tempestivamente a mudanças que busquem preservar ou melhorar condições operacionais.	0,2130	6	0,0355
10. Segurança Operacional	10.4. Tecnologias digitais são empregadas para aumentar a transparência e a abrangência dos mecanismos de segurança e controle.	0,2130	6	0,0355
10. Segurança Operacional	10.5. Os departamentos de TI colaboram com os demais para definir, revisar e monitorar as políticas de segurança necessárias à operação.	0,2130	6	0,0355
10. Segurança Operacional	10.6. As tecnologias digitais contribuem para o monitoramento e a visualização analítica de operações críticas e potencialmente perigosas.	0,2130	6	0,0355

## APÊNDICE F – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE RESPONDER)

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da capacidade (A)</b>	<b>Peso da categoria de análise (B)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (C)</b>	<b>Peso da assertiva (A × B) / C</b>
1. Automação Digital	1.1. A preservação da capacidade dos trabalhadores de agirem por iniciativa própria, se comunicarem e organizarem o próprio trabalho é uma preocupação nas iniciativas de automatização digital.	1,00	0,030	4	0,008
1. Automação Digital	1.2. A automatização digital contribui para a redução de erros.	1,00	0,030	4	0,008
1. Automação Digital	1.3. A automatização digital contribui para a redução de riscos operacionais e à saúde dos trabalhadores.	1,00	0,030	4	0,008
1. Automação Digital	1.4. As máquinas e os sistemas críticos em segurança são integrados e controlados amplamente por meio de TI.	1,00	0,030	4	0,008
3. Desenvolvimento & Design	3.1. Os processos de implementação de tecnologias digitais que contribuem para o monitoramento e as respostas a eventos críticos em segurança estão formalizados, discriminando funções e responsabilidades.	1,00	0,074	2	0,037
3. Desenvolvimento & Design	3.2. O design das tecnologias digitais contribui não só para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da segurança, da saúde e do conforto dos trabalhadores.	1,00	0,074	2	0,037
4. Estratégia Digital	4.1. Processos ágeis baseados em flexibilidade, iteratividade e colaboração contribuem para o desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	1,00	0,309	1	0,309
7. Habilidades & Competências	7.1. Os trabalhadores possuem as habilidades e as competências tecnológicas necessárias para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	1,00	0,196	3	0,065
7. Habilidades & Competências	7.2. As lideranças organizacionais combinam habilidades e experiências em suas respectivas áreas com habilidades tecnológicas relevantes para responder a mudanças e problemas no sistema de trabalho.	1,00	0,196	3	0,065
7. Habilidades & Competências	7.3. A organização estabelece como requisito para contratação de novos profissionais a aptidão	1,00	0,196	3	0,065

	para o manuseio de tecnologias digitais.				
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.1. Os requisitos de segurança a serem observados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais são definidos a partir de uma visão de alto nível para, posteriormente, serem disseminados por toda a organização.	1,00	0,391	3	0,130
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.2. O nível de risco que a organização está disposta a aceitar e as ações que está disposta a empreender para aprimorar a segurança estão definidos nas políticas de segurança.	1,00	0,391	3	0,130
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.3. Os fluxos de trabalho, cronogramas e profissionais autorizados a receber e agir sobre informações obtidas a partir de dados capturados por meio das tecnologias digitais estão definidos.	1,00	0,391	3	0,130

**APÊNDICE G – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE MONITORAR)**

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da capacidade (A)</b>	<b>Peso da categoria de análise (B)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (C)</b>	<b>Peso da assertiva (A × B) / C</b>
2. Cibersegurança	2.1. Os produtos, processos e infraestruturas que correm mais risco de ciberataques são conhecidos e possuem soluções de segurança implementadas.	1,00	0,057	1	0,057
3. Desenvolvimento & Design	3.3. Sistemas que ajudam a organização a transformar dados em gatilhos tangíveis para lidar em tempo real com problemas e oportunidades relacionados à segurança estão estabelecidos.	1,00	0,054	2	0,027
3. Desenvolvimento & Design	3.4. Sistemas que ajudam a organização a avaliar como as decisões a nível estratégico (C-level) podem influenciar na segurança operacional estão estabelecidos.	1,00	0,054	2	0,027
4. Estratégia Digital	4.2. A organização monitora o progresso das estratégias de digitalização por meio de um sistema de indicadores associados a metas claras e quantificáveis, que consideram também os impactos sobre saúde, segurança e meio ambiente.	1,00	0,202	1	0,202
6. Gestão de Dados	6.1. Na coleta de dados, especialmente daqueles relacionados diretamente às atividades dos trabalhadores, são tomados cuidados para que não seja criada uma atmosfera de incerteza ocupacional, invasão de privacidade e pressão psicológica.	1,00	0,116	5	0,023
6. Gestão de Dados	6.2. Todas as áreas da organização coletam, aplicam e compartilham digitalmente dados relativos à segurança operacional de forma abrangente e automatizada.	1,00	0,116	5	0,023
6. Gestão de Dados	6.3. As análises realizadas a partir de dados obtidos de fontes internas e externas subsidiam a tomada de decisão e orientam ações e decisões estratégicas relacionadas à segurança.	1,00	0,116	5	0,023
6. Gestão de Dados	6.4. Os dados críticos à segurança obtidos pela organização são compartilhados de forma abrangente, inclusive com o público externo (fornecedores, contratados, usuários finais).	1,00	0,116	5	0,023
6. Gestão de Dados	6.5. Os protocolos acionados pelo processamento e análise de	1,00	0,116	5	0,023

	dados obtidos pelas tecnologias digitais são definidos e conhecidos (alguns proativos e automáticos).				
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.4. Os dados capturados por meio das tecnologias digitais são usados para o aperfeiçoamento das políticas e ações de prevenção de acidentes.	1,00	0,286	6	0,048
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.5. As tecnologias digitais contribuem para a identificação e diminuição de problemas psicológicos dos trabalhadores (e.g. stress).	1,00	0,286		0,048
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.6. As tecnologias digitais contribuem para a diminuição da ocorrência de lesões ocupacionais dos trabalhadores.	1,00	0,286	6	0,048
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.7. Os novos tipos de acidentes potencialmente provocados pela colaboração entre humanos, máquinas e sistemas são uma preocupação da organização.	1,00	0,286	6	0,048
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.8. As tecnologias digitais ajudam a analisar o desempenho, a saúde e a segurança dos trabalhadores em tempo real.	1,00	0,286	6	0,048
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.9. A organização busca identificar e avaliar os problemas gerados pela transformação digital, principalmente sobre a segurança operacional, antes que ocorram.	1,00	0,286	6	0,048
10. Segurança Operacional	10.1. A conexão e a integração das tecnologias digitais aos sistemas legados são monitoradas para evitar o comprometimento da segurança das operações.	1,00	0,286	2	0,048
10. Segurança Operacional	10.2. Dados sobre a segurança operacional são analisados e interpretados periodicamente para aperfeiçoar processos de negócio e operacionais.	1,00	0,286	2	0,048

## APÊNDICE H – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE ANTECIPAR)

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da capacidade (A)</b>	<b>Peso da categoria de análise (B)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (C)</b>	<b>Peso da assertiva (A × B) / C</b>
3. Desenvolvimento & Design	3.5. As máquinas e os sistemas são capazes de receber atualizações de acordo com os requisitos tecnológicos do futuro.	1,00	0,044	4	0,011
3. Desenvolvimento & Design	3.6. Todos os níveis organizacionais estão engajados na busca por oportunidades proporcionadas por novas soluções e contribuem com ideias baseadas em tecnologias digitais.	1,00	0,044	4	0,011
3. Desenvolvimento & Design	3.7. Tecnologias digitais de modelagem e simulação são usadas para aprimorar as operações com vistas a torná-las mais seguras.	1,00	0,044	4	0,011
3. Desenvolvimento & Design	3.8. Os trabalhadores participam do desenvolvimento e/ou implantação de soluções baseadas em tecnologias digitais.	1,00	0,044	4	0,011
4. Estratégia Digital	4.3. Os executivos (C-Level) da organização estão pessoalmente engajados e promovem uma relação estratégica entre eles que impulsiona a digitalização na organização.	1,00	0,267	5	0,053
4. Estratégia Digital	4.4. O potencial de contribuição das tecnologias digitais para o aumento da flexibilidade e da agilidade operacional é compreendido na organização, tornando-a mais capaz de lidar com mudanças decorrentes da evolução tecnológica.	1,00	0,267	5	0,053
4. Estratégia Digital	4.5. Existe um orçamento adequado à estratégia, à governança e à execução da estratégia de digitalização que considera seu processo evolutivo, abrange toda a organização e é fluido para permitir mudanças nas prioridades.	1,00	0,267	5	0,053
4. Estratégia Digital	4.6. Investimentos são feitos para possibilitar o desenvolvimento da maturidade digital, minimizando riscos às operações atuais e que aceita as inovações tecnológicas mesmo quando envolvem riscos financeiros.	1,00	0,267	5	0,053
4. Estratégia Digital	4.7. Fatores humanos são considerados nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias	1,00	0,267	5	0,053

	digitais, especialmente aquelas que podem impactar sobre a segurança, a saúde ocupacional e o meio ambiente.				
5. Forecasting Tecnológico	5.1. Processos de identificação de tecnologias digitais que serão relevantes no futuro são usados para projetar mudanças e orientar estratégias organizacionais.	1,00	0,098	2	0,049
5. Forecasting Tecnológico	5.2. A organização monitora as jornadas de digitalização de clientes, fornecedores, concorrentes e demais stakeholders para se antecipar ou adaptar a elas.	1,00	0,098	2	0,049
7. Habilidades & Competências	7.4. Os trabalhadores conhecem as habilidades e competências tecnológicas que serão demandadas deles no futuro.	1,00	0,190	3	0,063
7. Habilidades & Competências	7.5. A organização sabe quais habilidades e competências tecnológicas serão demandadas de seus trabalhadores no futuro.	1,00	0,190	3	0,063
7. Habilidades & Competências	7.6. A estratégia de desenvolvimento de pessoas da organização é apropriada ao contexto de rápidas mudanças tecnológicas.	1,00	0,190	3	0,063
9. Saúde e Segurança Ocupacional	9.10. A visão da organização em relação às tecnologias digitais, inclusive quanto ao impacto sobre saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores, está bem articulada e é claramente comunicada tanto interna quanto externamente.	1,00	0,401	1	0,401

## APÊNDICE I – PESOS RELATIVOS DAS ASSERTIVAS (CAPACIDADE DE APRENDER)

<b>Categoria de análise</b>	<b>Assertiva</b>	<b>Peso da capacidade (A)</b>	<b>Peso da categoria de análise (B)</b>	<b>Nº de assertivas da categoria (C)</b>	<b>Peso da assertiva (A × B) / C</b>
<b>2. Cibersegurança</b>	2.2. As diretrizes sobre cibersegurança da organização são constantemente desenvolvidas e aperfeiçoadas.	1,00	0,073	1	0,073
<b>3. Desenvolvimento &amp; Design</b>	3.9. Há um esforço na organização para promover continuamente inovação e aprendizagem pelo uso de tecnologias digitais.	1,00	0,091	1	0,091
<b>4. Estratégia Digital</b>	4.8. Lições aprendidas durante as iniciativas de digitalização são insumos para as estratégias organizacionais relacionadas a saúde, segurança e meio ambiente.	1,00	0,464	1	0,464
<b>7. Habilidades &amp; Competências</b>	7.7. Os trabalhadores participam de capacitações para aprimorar sua capacidade de lidar com tecnologias digitais.	1,00	0,237	4	0,059
<b>7. Habilidades &amp; Competências</b>	7.8. As deficiências nas habilidades digitais dos trabalhadores são conhecidas e a organização desenvolve treinamentos e capacitações para as suprir.	1,00	0,237	4	0,059
<b>7. Habilidades &amp; Competências</b>	7.9. A importância do desenvolvimento tecnológico para a segurança operacional é constantemente demonstrada aos trabalhadores.	1,00	0,237	4	0,059
<b>7. Habilidades &amp; Competências</b>	7.10. Os trabalhadores são abertos a mudanças em suas rotinas de trabalho decorrentes do desenvolvimento tecnológico.	1,00	0,237	4	0,059
<b>8. Parcerias para a Digitalização</b>	8.1. Feedbacks e sugestões recebidos de atores externos (e.g. fornecedores, contratados, clientes) são considerados no desenvolvimento e/ou implantação de tecnologias digitais que contribuam para a segurança das operações e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	1,00	0,136	2	0,068
<b>8. Parcerias para a Digitalização</b>	8.2. Startups, universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) são envolvidas nas iniciativas de desenvolvimento e/ou implantação de inovações tecnológicas que visam contribuir para a segurança operacional e a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.	1,00	0,136	2	0,068