

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS TAQUARAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE
IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UNIDADES
ESTRATÉGICA DE NEGÓCIO DE UMA EMPRESA**

DOUGLAS MARQUEZIN FELIPPE
ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON
COORIENTADOR: PROF. DR. DANIEL R. TASÉ VELÁZQUEZ

PIRACICABA

2023

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
CAMPUS TAQUARAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE
IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UNIDADES
ESTRATÉGICA DE NEGÓCIO DE UMA EMPRESA**

DOUGLAS MARQUEZIN FELIPPE
ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON
COORIENTADOR: PROF. DR. DANIEL R. TASÉ VELÁZQUEZ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Piracicaba
2023

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecário: Joyce Rodrigues de Freitas – CRB: 8/101115

F315p	<p>Felippe , Douglas Marquezin Proposta de um método para gestão do processo de implantação da indústria 4.0 nas diferentes unidades estratégica de negócio de uma empresa / Douglas Marquezin Felipe – 2023. 149 fls.; il.; 30 cm.</p> <p>Orientador (a): Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon. Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Piracicaba, 2023.</p> <p>1. Processo de Implantação. 2. Unidades Estratégicas de Negócios. 3. Compartilhamento de Experiências. I. Felipe , Douglas Marquezin. II. Título</p> <p style="text-align: right;">CDD – 658.5</p>
-------	--

Agradecimentos

Aos meus pais, pelo apoio incondicional aos estudos.

A minha esposa, por ser minha fundação, pelo apoio e parceria na profissão e na vida.

Ao Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon pela orientação, ensinamentos ajuda infinita e incondicional em todo momento, que permitiram que eu conseguisse concluir esta pesquisa. Pela sua amizade como pessoa sempre serei grato.

Ao Prof. Dr. Daniel René Tasé Velázquez, pela orientação e pela parceria para que eu pudesse iniciar e concluir esta fase profissional.

A todos os professores, funcionários e colegas do PPGEF da UNIMEP, que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até este momento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - Brasil

FELIPPE, D.M.F. **Proposta de um Método para Gestão do Processo de Implantação do Conceito Indústria 4.0 nas diferentes Unidades Estratégicas de Negócio de uma Empresa.** 2022. #f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SP.

RESUMO

Para atender às necessidades de mercado e se adequar aos quesitos da internacionalização, as estruturas tradicionais de organização das empresas passaram a ser substituídas por outras configurações. Uma das formas que se mostraram adequadas nesse contexto foi a estruturação em Unidades Estratégicas de Negócio (UEN). Para se manterem competitivas, as empresas também necessitam implementar tecnologias inovadoras em suas operações. Uma das inovações, que vêm ganhando ênfase, é o conceito Indústria 4.0 (I4.0), que contempla um conjunto de tecnologias implementadas em uma cadeia de valor visando a endereçar as tendências de digitalização, tomada de decisão autônoma, colaboração em rede e socialização de produtos e processos. Entretanto, obter os benefícios atribuídos à I4.0 requer um processo de implementação direcionado e para uma transição bem-sucedida, as estratégias de implementação devem ser selecionadas com visão sistemática e abrangente. A implementação precisa ser planejada, as soluções desenvolvidas, e o conhecimento relevante deve ser desenvolvido utilizando resultados de experiências internas, pesquisas, e recomendações de associações especializadas. Nos casos das UEN's é essencial que a experiência adquirida na implantação do conceito em uma determinada unidade seja utilizada em outras unidades e o compartilhamento de conhecimento e experiências deve ser um processo contínuo. Projetos piloto e casos de uso pavimentam o caminho para construir conhecimento centralmente e, posteriormente, permitem a transferência do conceito para outros contextos e cenários. Até onde se pôde pesquisar, faltam estudos empíricos sobre o tema. A literatura fornece apenas recomendações gerais, difíceis de entender, que geralmente desconsideram características específicas da empresa. O objetivo deste trabalho é propor um método para gerenciar o processo de implantação do conceito I4.0 em diversas UEN's com base nas experiências adquiridas nos casos de sucesso de implantação e no compartilhamento de informações. O desenvolvimento do método apoia-se, na metodologia *Design Science Research*. Consta de sete etapas e mostrou-se adequado em uma aplicação em uma empresa do setor automotivo, tendo sua validação e aplicabilidade verificadas. Os participantes da aplicação mostraram-se receptivos ao método e demonstraram interesse na sua utilização. Esta pesquisa contribui para o desenvolvimento da teoria em relação a identificação, compreensão e sistematização das lições aprendidas e experiências adquiridas relacionadas a implantação do conceito indústria 4.0 em diferentes UEN's. Adicionalmente, apoia os modelos de implantação existentes, visando a promover uma implantação mais eficaz e assertiva.

PALAVRAS-CHAVE: Processo de Implantação; Unidades Estratégicas de Negócios; Compartilhamento de Experiências; Lições Aprendidas; Método para Gestão.

FELIPPE, D.M.F. Proposal of Method for Managing the Process of Implementing the Industry 4.0 Concept in the Different Strategic Business Units of a Company. 2022. #p. Doctoral Thesis in Production Engineering - Methodist University of Piracicaba, Piracicaba, SP.

ABSTRACT

To meet the needs of the market and adapt to the requirements of internationalization, the traditional organizational structures of companies began to be replaced by other types of configurations. One of the organizational forms that proved to be adequate in this context was the structuring into Strategic Business Units (SBU). To remain competitive, companies also need to implement innovative technologies in their operations. One of the innovation that has been gaining emphasis is the Industry 4.0 (I4.0) concept, which includes a set of technologies implemented in a value chain in order to address digitalization trends, autonomous decision-making, network collaboration and socialization of products and process. However, achieving the benefits attributed to I4.0 requires a targeted implementation process and for a successful transition, implementation strategies must be selected with a systematic and comprehensive view. Implementation needs to be planned, solutions developed, and relevant knowledge developed using the results from internal experiences, research, and recommendations from specialized associations. In the case of SBU's, it is essential that the experience acquired in the implementation of the concept in a given unit be used in other units and the sharing of knowledge and experiences must be a continuous process. Pilot projects and use cases pave the way to build knowledge centrally and later allow transfer of the concept to other contexts and scenarios. As far as we could research, there is a lack of empirical studies on the subject. The literature provides only general recommendations, difficult to understand, which generally disregard specific company characteristics. The objective of this work is to propose a method to manage the implementation process of the I4.0 concept in several SBU's based on the experiences acquired in successful implementation cases and information sharing. The development of the method relies on the Design Science Research methodology. It consists of seven steps and proved to be adequate in an application in a company in the automotive sector, having its validation and applicability verified. Application participants were receptive to the method and showed interest in its use. This research contributes to the development of theory regarding the identification, understanding and systematization of lessons learned and experiences acquired related to the implementation of the industry 4.0 concept in different SBUs. Additionally, it supports existing deployment models, aiming to promote a more effective and assertive deployment.

KEYWORDS: Implementation Process, Strategic Business Units, Experience Shared, Lessons Learned, Management Method

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	7
1.2	ESTRUTURA DA TESE	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGÓCIO (UEN).....	10
2.1.1	COLABORAÇÃO ENTRE UENS.....	14
2.1.2	ASPECTOS ORGANIZACIONAIS A CONSIDERAR NA GESTÃO DE UENS	18
2.2	INDÚSTRIA 4.0.....	20
2.2.1	TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	23
2.2.1.1	SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS (CPS).....	23
2.2.1.2	INTERNET DAS COISAS	24
2.2.1.3	INTERNET DOS SERVIÇOS	24
2.2.1.4	INTERNET DAS PESSOAS	25
2.2.1.5	INTERNET DE DADOS	25
2.2.1.6	COMPUTAÇÃO NA NUVEM.....	26
2.2.1.7	<i>BIG DATA</i>	27
2.2.1.8	<i>BLOCKCHAIN</i>	27
2.2.1.9	REALIDADE AUMENTADA	288
2.2.1.10	AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA INDUSTRIAL.....	288
2.2.1.11	CYBER-SEGURANÇA	29
2.2.1.12	MANUFATURA ADITIVA	29
2.2.1.13	MODELAGEM E SIMULAÇÃO	30
2.3	ÍNDICE DE MATURIDADE.....	30
2.3.1	ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDUSTRIA 4.0 DA ACATECH.....	30
2.3.1.1	AVALIAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO BASEADOS EM VALOR	311
2.3.1.2	DETERMINAÇÃO DAS CAPACIDADES DA INDUSTRIA 4.0 PARA AS EMPRESAS: ÁREAS ESTRUTURAIS, PRINCÍPIOS E CAPACIDADES A SEREM ADQUIRIDAS	34
2.3.1.3	IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS CONCRETAS	38
2.3.1.4	QUANTIFICAR OS BENEFÍCIOS APÓS IMPLANTAÇÃO.....	388
2.3.2	ÍNDICE DE MATURIDADE <i>SMART INDUSTRY READINESS INDEX (SIRI)</i>	39
2.4	IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO INDUSTRIA 4.0 EM UENS DE MULTINACIONAIS DO RAMO AUTOMOTIVO.....	40
2.5	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)</i>	49
3	MÉTODO DE PESQUISA	54
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	54
3.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	55
3.2.1	ETAPA 1. ANÁLISE DA LITERATURA (RNLS E RSL)	57
3.2.1.1	ANÁLISE DA LITERATURA RELACIONADA AO GERENCIAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO I4.0 EM UENS DE UMA EMPRESA COM BASE NAS EXPERIÊNCIAS ADQUIRIDAS.....	60
3.2.2	ETAPA 2. APLICAÇÃO DO DSR PARA PROPOSTA DO MÉTODO.....	61
3.2.2.1	DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)	61
4	MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UENS UMA EMPRESA.....	64
4.1	CICLO DE RELEVÂNCIA.....	64
4.1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	64
4.1.2	DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA	64
4.1.3	DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO MÉTODO	67
4.2	CICLO DE RIGOR.....	68
4.2.1	SELEÇÃO DOS CONCEITOS DE UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGÓCIO	69
4.2.2	SELEÇÃO DO CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0.....	69
4.2.3	SELEÇÃO DO CONCEITOS DE ÍNDICE DE MATURIDADE PARA I4.0.....	69
4.2.4	SELEÇÃO DO CONCEITO DE “COMPARTILHAMENTO DE EXPERIÊNCIAS E LIÇÕES APRENDIDAS	70

4.3	CICLO DE PROJETO	71
4.3.1	ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO	71
4.3.1.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA E SAÍDA DO MÉTODO	71
4.3.2	ETAPA DE SUGESTÃO.....	72
4.3.3	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO.....	73
4.3.3.1	CRIAÇÃO DO NÚCLEO CORPORATIVO PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0	73
4.3.3.2	IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0	73
4.3.3.3	DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0	77
4.3.3.4	ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM AS ÁREAS ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH).....	86
4.3.3.5	ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM OS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)	94
4.3.3.6	IDENTIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DE LIÇÕES APRENDIDAS E COMPARTILHAMENTO DE EXPERIÊNCIAS	100
4.3.3.6.1	AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	101
4.3.3.6.1.1	ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS.....	103
4.3.3.6.1.2	LIÇÕES APRENDIDAS	106
4.3.3.7	PLANO DE AÇÃO PARA IMPLANTAR O ASPECTO UTILIZANDO LIÇÕES APRENDIDAS DAS UEN COM NÍVEL DE AVALIAÇÃO MÁXIMO NO ASPECTO	111
4.3.4	ETAPA DE AVALIAÇÃO	113
4.3.5	ETAPA DE FINALIZAÇÃO	116
5	CONCLUSÕES.....	118
5.1	TRABALHOS FUTUROS	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	9
FIGURA 2. CICLOS DO DESIGN SCIENCE RESEARCH. TRADUZIDA DE HEVNER (2007).....	50
FIGURA 3. METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DO CICLO DE PROJETO. TRADUZIDA DE MANSON (2006).....	52
FIGURA 4. ABORDAGEM METODOLÓGICA DA PESQUISA.....	56
FIGURA 5. MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DAS RSLs. ADAPTADO DE KITCHENHAM E CHARTERS (2007).....	58
FIGURA 6. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO.....	66
FIGURA 7. ELEMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	76
FIGURA 8. NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE CADA ASPECTO DAS UENS ADAPTADO (EDB SINGAPORE).....	77
FIGURA 9. ELEMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	101
FIGURA 10. QUESTIONÁRIO RESPONDIDO PELOS ESPECIALISTAS DAS UENS.....	102
FIGURA 11. REGIÃO DAS UENS ENTREVISTADAS.....	103
FIGURA 12. NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS UENS	104
FIGURA 13. SETOR DE ATUAÇÃO DAS 26 UENS	104
FIGURA 14. MÉDIA DA SOMATÓRIA DO NÍVEL DE AVALIAÇÃO DE TODOS OS ASPECTOS POR REGIÃO DE CADA UEN	105
FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO POR CARGOS DOS ENTREVISTADOS EM CADA UEN	105
FIGURA 16. TEMPO DE ATUAÇÃO DOS ENTREVISTADOS NAS UENS	106
FIGURA 17. ASPECTOS COM MAIORES NÍVEIS DE AVALIAÇÃO (SOMATÓRIA) DAS 26 UENS	115
FIGURA 18. MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UENS DE UMA EMPRESA	117

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. VANTAGENS DA GESTÃO DE NEGÓCIOS PELA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE UEN.....	13
QUADRO 2. DESAFIOS DA GESTÃO DE UENS.....	18
QUADRO 3. ESTÁGIOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA A I4.0.....	32
QUADRO 4. ESTRUTURA PARA AVALIAR O ÍNDICE DE MATURIDADE DA ACATECH.....	35
QUADRO 5. ANÁLISE DAS ABORDAGENS PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NO RAMO AUTOMOTIVO	41
QUADRO 6. FACILITADORES PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO I4.0 EM UENS.....	44
QUADRO 7. RECOMENDAÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA GERENCIAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0	47
QUADRO 8. ARTEFATOS E DESCRIÇÃO.....	50
QUADRO 9. ETAPAS DA METODOLOGIA DSR	53
QUADRO 10. DESCRIÇÃO E RESULTADO DAS ETAPAS APLICADAS NA RSL	59
QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO.....	78
QUADRO 12. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UEN E A ÁREA ESTRUTURAL RECURSOS, DA ACATECH	87
QUADRO 13. ASSOCIAÇÃO DO ASPECTO DA UEN E ÁREA ESTRUTURAL SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DA ACATECH.....	89
QUADRO 14. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DA UENS E A ÁREA ESTRUTURAL ESTRUTURA ORGANIZACIONAL, DA ACATECH	93
QUADRO 15. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS E ÁREA ESTRUTURAL CULTURA DA ACATECH.....	94
QUADRO 16. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM OS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH).....	96
QUADRO 17. NÍVEL DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS 26 UENS ASSOCIADO AO NÍVEL DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0	99
QUADRO 18. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL INFORMATIZAÇÃO	107
QUADRO 19. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL INFORMATIZAÇÃO.....	108
QUADRO 20. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL CONECTIVIDADE.....	109
QUADRO 21. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA OS NÍVEIS VISIBILIDADE, TRANSPARÊNCIA E ADAPTABILIDADE	110
QUADRO 22. EXEMPLO DE PLANO DE AÇÃO PARA MELHORIA DO ASPECTO UTILIZANDO LIÇÕES APRENDIDAS DE UNE COM NÍVEL DE AVALIAÇÃO MÁXIMO NO ASPECTO	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM - *ADDITIVE MANUFACTURING*

AR – *AUGMENTED REALITY*

BI – *BUSINESS INTELLIGENCE*

BSC - *BALANCE SCORE CARD*

CAD – *COMPUTER AIDED DESIGN*

CPS – *CYBER-PHYSICAL SYSTEMS*

DSR - *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

ERP - *ENTERPRISE RESOURCE PLANNING*

GE - *GENERAL ELECTRIC*

IOT – *INTERNET OF THINGS*

JIT - *JUST IN TIME*

KPI – *KEY PERFORMANCE INDICATOR*

MAAS – *MANUFACTURING AS A SERVICE*

OE - *OPERATIONS EXCELLENCE*

OT - *OPERATIVE TECHNOLOGIES*

PAAS - *PRODUCT-AS-A-SERVICE*

RFID – *RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION*

ROS: *RETORNOS SOBRE AS VENDAS*

RNL: *REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA*

ROI: *RETORNO SOBRE OS INVESTIMENTOS*

RSL – *REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA*

SD - *SOCIAL DEVICES*

SIRI - *SMART INDUSTRY READINESS INDEX*

TI – *TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO*

TIC - *TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO*

UEN - *UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGÓCIO*

UN - *UNIDADE DE NEGÓCIO*

1 INTRODUÇÃO

O advento da globalização direcionou os executivos para diversas iniciativas de crescimento de negócios e tornou-se cada vez mais natural buscar o potencial de crescimento fora das fronteiras tradicionalmente definidas (SCHOLTE, 2008; KRISTIANTO *et al.*, 2017).

Para atender às necessidades de mercado e se adequar aos quesitos da internacionalização da competição, as estruturas tradicionais de organização das empresas passaram a ser substituídas por outros tipos de configuração, focados principalmente na organização em divisões com objetivos e responsabilidades claramente definidos. Uma das formas organizacionais que se mostraram adequadas nesse contexto foi a estruturação da organização em Unidades Estratégicas de Negócio (UEN), em substituição à estrutura departamentalizada (CALARGE *et al.*, 1999).

O conceito de administração corporativa baseada em UEN é um modelo de gestão que descentraliza e especializa a operação por atividades e mercados, conferindo autonomia para cada segmento de atuação que, por sua vez, é caracterizado como uma unidade do grupo empresarial (OLIVEIRA, 2015).

Uma das vantagens que favoreceram o desenvolvimento de organizações por UEN é o fato de que a troca de conhecimento entre as unidades tornou possível a obtenção de informações em um contexto geral, amadurecendo a organização como um todo e conduzindo o planejamento estratégico e a tomada de decisão de forma mais assertiva (PORTER, 1980). O amadurecimento empresarial proporciona ganhos ao permitir, sob seu domínio, conhecimento nas diferentes áreas de atuação (GARVIN, 1982).

Para uma divisão ser considerada UEN, é necessário que tenha autonomia nas decisões. Além de ter liberdade para desenvolver o mercado, estabelecer prioridades, elaborar o orçamento e definir uma política de pesquisa e desenvolvimento, a Unidade deverá ter uma determinada liberdade para definir seu planejamento estratégico. No entanto, esse nível de autonomia não pode esbarrar nos limites estabelecidos pela administração

corporativa. Os objetivos de cada unidade não poderão ir em direção contrária ao que já foi determinado pela corporação em relação à cultura organizacional ao planejamento de longo prazo (SILVA, 2020).

Assim, as Unidades Estratégicas de Negócio (UEN) são entidades empresariais que atuam de forma organizada e autônoma em busca da maximização dos seus resultados, sem se desvincular do objetivo principal da instituição a que pertencem. As UEN desenvolvem suas atividades de maneira autônoma, mas no âmbito estratégico se posicionam de forma interdependente às outras unidades do grupo, observando a cultura, objetivos e valores da administração corporativa (SILVA, 2020).

Portanto, a relação entre o plano estratégico de nível corporativo e os planos de unidades de negócios individuais formam uma estrutura sincronizada que conduz a organização em uma direção. Essa estrutura sincronizada permite que a unidade de negócios tenha flexibilidade para planejar de forma autônoma, mantendo-se alinhada com a estratégia e os objetivos corporativos gerais (SILVA, 2020b).

Um dos grandes diferenciais do modelo UEN é o elevado grau de colaboração entre as Unidades. Essa orientação pode reduzir custos e maximizar as chances de exequibilidade de uma nova área, já que as demais parceiras serviriam como uma espécie de “primeiros clientes”, enquanto a administração corporativa ofereceria uma estrutura de incubadora ao projeto (SILVA, 2020).

Para se manterem competitivas as empresas necessitam, também, buscar e implantar tecnologias inovadoras em suas operações. Um dos conceitos que vêm ganhando cada vez mais ênfase é o conceito Indústria 4.0, que contempla um conjunto de tecnologias que envolvem e estão associadas à gestão de pessoas, recursos, processos, serviços, produtos, dentre outros, as que podem ser implementadas em uma cadeia de valor com o objetivo de endereçar as tendências de digitalização, tomada de decisão autônoma, transparência, mobilidade, modularização, colaboração em rede e a socialização de produtos e processos (PFOHL *et al.*, 2017).

O termo Indústria 4.0 foi adotado para caracterizar uma 4ª revolução industrial. Surgiu pela primeira vez em 2011, na Alemanha, e tem alicerçado a base das principais ideias sobre o tema (KAGERMANN *et al.*, 2011). A base

dessa inovação está calcada no rápido avanço dos meios de comunicação e informação aplicados aos processos produtivos das empresas e suas cadeias de suprimentos (ANDERL, 2014).

Trata-se de um conceito que incorpora tecnologias como a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), *Big Data*, sistemas físico-cibernéticos (*Cyber-Physical Systems* – CPS), objetos inteligentes, sistema de identificação como o RFID (*Radio Frequency Identification*), inteligência artificial e logística inteligente, entre outras, implementadas em uma cadeia de valor, objetivando criar uma integração horizontal de redes digitais e uma integração vertical dessas redes com os sistemas de manufatura (KAGERMANN *et al.*, 2013; ANDERL, 2014; STRANDHAGEN *et al.*, 2016). Os benefícios dessas tecnologias, refletem-se em mais flexibilidade, robustez e elevado padrão de qualidade no planejamento e na manufatura das empresas (ACATECH, 2013; STRANDHAGEN *et al.*, 2016).

A Indústria 4.0 é considerada qualificada para manter a competitividade das empresas, garantindo a competitividade futura (KAGERMANN *et al.*, 2013; MÜLLER *et al.*, 2018). Ela suporta tanto a customização dos produtos quanto a produção em larga escala com flexibilidade e integração de clientes e parceiros de negócios em processos de criação de valor. Isso cria a possibilidade de desenvolver novos modelos de negócio dentro e entre empresas. As operações individuais que agregam valor podem ser ligadas em rede umas com as outras e podem ser usadas em sincronia (RENNUNG *et al.*, 2016).

Modelos de Negócios estão sendo altamente influenciados pela Indústria 4.0, uma vez que este novo paradigma de manufatura implica uma nova forma de comunicação ao longo das cadeias de suprimentos. Os modelos de negócios estão mudando nos últimos anos devido a novos requisitos industriais e de mercado e novos modelos de negócios estão surgindo, permitindo a criação de ambientes colaborativos (GLOVA *et al.*, 2014). Existem muitas oportunidades para otimizar processos de criação de valor e integração através da cadeia de valor, a fim de alcançar a capacidade de auto-organização e a integração e comunicação em tempo real (QIN *et al.*, 2016).

No entanto, as indústrias precisarão superar muitas dificuldades para implementar com sucesso os conceitos da Indústria 4.0. Dependendo do nível de maturidade da Indústria 4.0 no qual a empresa se encontra, as dificuldades se tornam ainda mais específicas, tanto no que diz respeito ao entendimento, quanto na aplicação dos conceitos (KAMBLE *et al.*, 2018). Os autores complementam que é essencial que as empresas identifiquem as dificuldades relacionadas à implantação do conceito Indústria 4.0 e as compreendam para ajudar os profissionais da indústria a superá-las. A superação de todos os obstáculos tornará a implementação da Indústria 4.0 mais rápida e bem-sucedida nas indústrias de manufatura.

Müller e Voigt (2017) afirmam que baixos graus de padronização, falta de integração e preocupações com a segurança dos dados também podem dificultar a adoção da Indústria 4.0. Horváth e Szabó (2019) observam que problemas de padronização podem ocorrer nas relações entre empresas (fornecedor-cliente), bem como nas ferramentas e sistemas dentro da própria empresa.

A aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 é fundamental para a otimização de um negócio global, baseado em UENs, e tem capacidade de fornecer um serviço tecnológico similar globalmente significativo. Além disso, a oportunidade de desenvolver soluções, padronizar e garantir uma “versão única de dados” globalmente contribui para uma solução abrangente da Indústria 4.0 (TELUKDARIE *et al.*, 2018).

No entanto, ações específicas e concretas que precisam ser tomadas para acelerar a realização da Indústria 4.0, são essenciais. Os aspectos relevantes e direcionados para a implementação contemplam o desenvolvimento de *know-how* específico da Indústria 4.0, a obtenção de recursos financeiros, a integração dos funcionários no processo de implementação e o estabelecimento de uma cultura corporativa de mente aberta e flexível (EROL *et al.*, 2016). Outros aspectos incluem processos de planejamento abrangentes, cooperação com parceiros dentro e fora da organização, manuseio adequado de interfaces de dados, comunicação interdisciplinar, estrutura organizacional adaptável e segurança de dados (VEILE *et al.*, 2018). Devem ser prioritariamente aplicadas estratégias básicas, considerando, por exemplo, recursos humanos, organização e projeto do

trabalho, sistemas de informação e utilização eficaz de recursos, especificando-se o desenvolvimento de novos modelos de negócio e sua padronização (ERDOGAN *et al.*, 2017).

A otimização de um negócio global requer a conjunção de estratégia, operações, recursos humanos, cadeia de suprimentos, juntamente com todas as funções de negócios em um conjunto de ferramentas de tomada de decisão adequado. Esse conjunto de ferramentas deve se concentrar na disponibilidade de dados em tempo real, permitindo a tomada de decisão de negócios ideal (STOCK e SELIGER, 2016; DOLGUI *et al.*, 2018). Entretanto, é necessário conhecer os dados para permitir processos rápidos de tomada de decisão e adaptação em todas as áreas dos processos e em todas as unidades-do negócio, e transformar a empresa em uma organização ágil. A agilidade oferece às empresas vantagem competitiva significativa em um ambiente disruptivo como o da Indústria 4.0 (BAUERNHANSL, 2014).

As operações de instalações localizadas independentes das operações globais podem resultar em sinergias globais comprometidas. Funções centralizadas, como pesquisa e desenvolvimento, otimizações de ativos, planejamento corporativo (estratégia, planejamento de investimentos, financeiro) e cadeia de suprimentos, juntamente com qualquer outra função, oferecem valor significativo ao negócio. A integração dessas funções torna-se possível por meio da Indústria 4.0 e agrega valor significativo ao negócio, proporcionando benefícios estratégicos e operacionais. Por exemplo, a digitalização nas grandes empresas multinacionais, no contexto contemporâneo de operações globais, é uma oportunidade significativa de integração (TELUKDARIEA *et al.*, 2018). Vale destacar aqui que a digitalização compreende os estágios de informatização e conectividade, requisitos básicos para implementação da Indústria 4.0 e início da sua trajetória de desenvolvimento (SCHUH *et al.*, 2017).

A Indústria 4.0 produz amplas oportunidades de desenvolvimento, no entanto, explorar essas oportunidades requer um processo de implementação direcionado (LEINWEBER *et al.*, 2018). Para uma transição bem-sucedida para a indústria 4.0, as estratégias de implementação devem ser selecionadas com uma visão sistemática e abrangente para responder às mudanças com flexibilidade (MAHDIRAJIA *et al.*, 2020).

Dada a natureza específica e complexa da Indústria 4.0, as empresas precisam realizar estratégias de implementação adequadas, adaptadas ao *design* individual de sua estrutura institucional e organizacional de processos. O processo de implementação da Indústria 4.0 precisa ser planejado e as soluções técnicas precisam ser desenvolvidas e implementadas (MÜLLER *et al.*, 2018).

Ao criar uma consciência e compreensão compartilhadas da Indústria 4.0 entre os membros organizacionais, as empresas podem incentivar estratégias de inovação, sejam relacionadas à busca de novas informações e ideias, resolução de problemas não rotineiros e experimentação de novos modelos de negócios, sejam associadas à eficiência, refinamento e implementação de novas soluções no negócio existente (LAVIE *et al.*, 2010; MARKIDES, 2013). Para implementar tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 para melhorar a eficiência do processo, os fabricantes estabelecidos precisam obter conhecimento específico de TI de fora de seus setores (KIEL *et al.*, 2017).

O conhecimento relevante da Indústria 4.0 deve ser desenvolvido utilizando resultados de experiências internas, pesquisas, experiências e recomendações de associações ligadas ao segmento industrial da empresa. Compartilhar conhecimento com, por exemplo, instituições de pesquisa, deve ser um processo contínuo. Projetos piloto e casos de uso pavimentam o caminho para construir conhecimento centralmente e, posteriormente, permitem a transferência do conceito Indústria 4.0 para outros contextos e cenários de aplicação. Tanto as abordagens sistemáticas quanto os métodos de tentativa e erro ajudam a desenvolver soluções orientadas a objetivos (LEINEWEBER *et al.*, 2018). Kamble *et al.* (2018), sugerem que é essencial que a experiência adquirida e as lições aprendidas na implantação do conceito Indústria 4.0 em uma determinada aplicação na empresa seja utilizada em outros setores ou unidades corporativas.

Foram identificados na literatura 16 trabalhos que orientam a pesquisa para o desenvolvimento ou propostas de métodos que contemplam de forma muito genérica algumas estratégias de implementação do conceito Indústria 4.0. Dos 16 trabalhos, 7 tratam de modelos de implantação do conceito Indústria 4.0, 3 tratam de análise de maturidade do conceito Indústria 4.0,

apenas 1 indica modelo de implantação em diferente subsidiárias, os demais (5) indicam estratégias para implantação de tecnologias habilitadoras. No entanto, nenhuma das 16 pesquisas estudadas sugerem como fazer a implantação do conceito Indústria 4.0 com base nas lições aprendidas e experiências adquiridas. Além disso, nestas pesquisas não foram identificadas a inclusão de estratégias ou recomendações para implantação do conceito Indústria 4.0 por meio do compartilhamento de lições aprendidas e de experiências adquiridas orientadas a UENs. Confirma-se desta forma o afirmado por Veile *et al.* (2018) e Chiarvesio e Romanello (2018) quando sugerem que a literatura fornece à prática corporativa apenas recomendações gerais e altamente agregadas que são difíceis de entender e geralmente desconsideram características específicas da empresa. Verifica-se pelas limitações dos artigos analisados que a implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs utilizando lições aprendidas e experiências adquiridas permanece uma linha de pesquisa a ser explorada.

A partir dessa contextualização surge a seguinte pergunta de pesquisa:
Como estruturar um método para gerenciar o processo de implantação do Conceito Indústria 4.0 em diversas UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas?

1.1. OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método para gerenciar o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em diversas UENs com base nas experiências adquiridas, nos casos de sucesso de implantação e no compartilhamento de informações.

Como objetivos específicos definem-se os seguintes:

1. Identificar os principais conceitos sobre Unidades Estratégicas de Negócio, Indústria 4.0 e Índice de Maturidade;
2. Identificar e selecionar os principais aspectos a serem considerados na implantação do conceito Indústria 4.0 nas unidades de negócio de uma empresa;
3. Associar os aspectos a serem considerados na implantação do conceito Indústria 4.0 nas unidades de negócio de uma empresa,

com as áreas estruturais do índice de maturidade da Acatech;

4. Obter propostas de como compartilhar lições aprendidas na implantação do conceito indústria 4.0

1.2 ESTRUTURA DA TESE

Esta pesquisa é composta por seis capítulos. O Capítulo 1 (Introdução) aborda por meio da contextualização do tema a originalidade e relevância desta pesquisa, a definição do problema, a lacuna e a questão de pesquisa, e por fim, os objetivos gerais e específicos. O Capítulo 2 apresenta o estado da arte sobre Unidades Estratégicas de Negócio (UEN), Indústria 4.0, apresenta a metodologia para determinação do Índice de Maturidade da Acatech, algumas estratégias e recomendações para gerenciar a implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs de multinacionais do ramo automotivo, e por último, os elementos principais da abordagem *Design Science Research* (DSR) que contribuíram para o desenvolvimento da proposta desta pesquisa. O Capítulo 3 apresenta a classificação da pesquisa, a abordagem metodológica e os procedimentos aplicados para o seu desenvolvimento. O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do Método para gerenciar o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em diversas UENs de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas, como resultado da aplicação da metodologia DSR.

A Figura 1 apresenta as principais fases do desenvolvimento da tese.

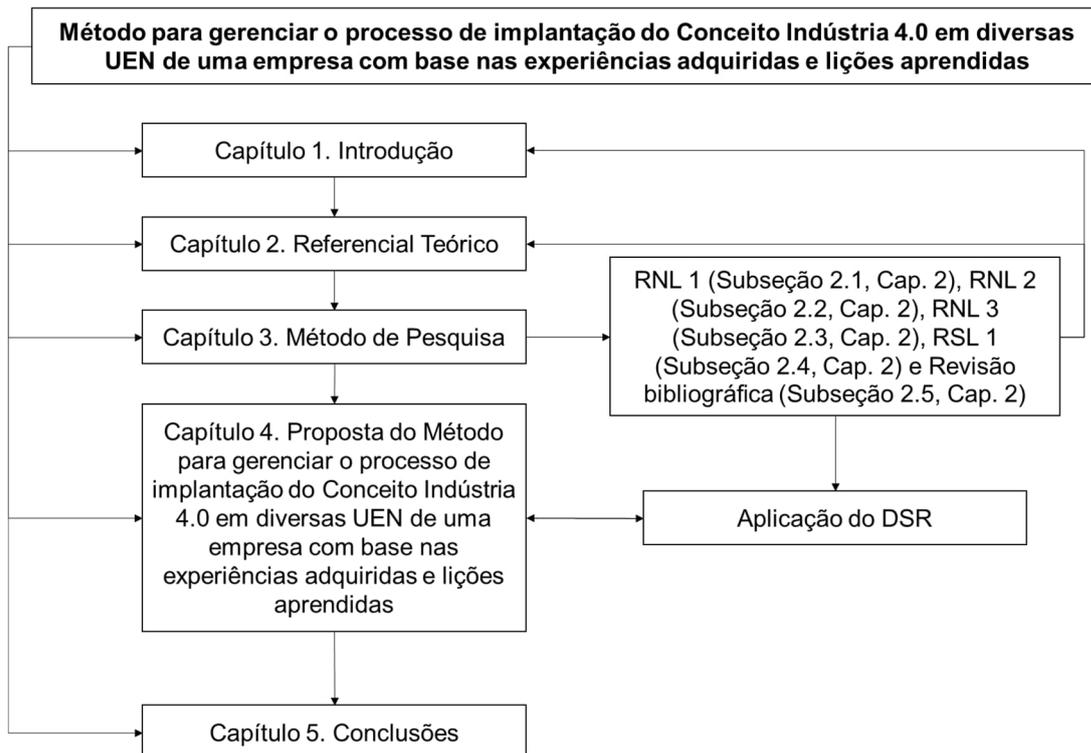


FIGURA 1. FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os principais conceitos e pesquisas utilizados para o desenvolvimento desta tese, que foram identificadas por meio de revisões narrativas e sistemáticas da literatura. Este referencial teórico está dividido em cinco seções: (i) Unidades Estratégicas de Negócio (UEN); (ii) Indústria 4.0 (I4.0); (iii) Índice de Maturidade Acatech; (iv) Estratégias e Recomendações para Gerenciar a Implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs de Multinacionais do ramo Automotivo, e (v) *Design Science Research* (DSR).

2.1 UNIDADES ESTRATÉGICAS DE NEGÓCIO (UEN)

A administração corporativa baseada na estratégia de gestão a partir da estruturação de Unidades Estratégicas de Negócio (UEN) é um modelo de gestão que descentraliza e especializa as operações por atividades e mercados, dando autonomia para cada área de atuação, que passa a ser caracterizada como uma Unidade do grupo empresarial (OLIVEIRA, 2015).

O conceito foi desenvolvido pela General Electric (GE) em conjunto com a McKinsey (empresa de consultoria), contribuindo para vários avanços alcançados pelo conglomerado empresarial a partir da década de 70 (SILVA, 2020).

A GE é um grupo empresarial, na atualidade com sede em Boston, MA, EE.UU., composto de unidades com especialização nas mais diversas áreas como, aviação, transportes, saúde, energia, Tecnologia da Informação (TI) e serviços financeiros. Os nichos de atuação da GE são gerenciados por UENs que têm a autonomia para modificar sua estrutura visando o alcance dos próprios objetivos estratégicos. Essa estrutura possibilita a otimização dos recursos da empresa, o que por sua vez maximiza o alcance desta e viabiliza a especialização do grupo empresarial em diferentes áreas simultaneamente (SILVA, 2020).

A partir dos anos 60, pelo desenvolvimento e popularização de novas tecnologias (tomografias computadorizadas, aparatos de ressonância, laser),

a General Electric (GE) contribuiu para sua viabilização e incorporou ao seu portfólio produtos de naturezas distintas, o que dificultou a estrutura da gestão, fato conhecido como Caso da GE, em 1981. Nesse sentido, a corporação passou a enfrentar muitos problemas com relação à gestão de seus recursos, pois havia confusão entre os objetivos e metas de cada área de atuação com os da empresa. A crise se agravou à medida que a alta gerência concentrava esforços em áreas que exigiam especializações distintas, urgentes e simultâneas, e a empresa começou a observar a queda progressiva no desempenho empresarial por não ter a capacidade para atender as demandas heterogêneas que suas áreas de atuação apresentavam (SILVA, 2020).

Após a contratação da consultoria McKinsey pela GE para analisar as formas de gerenciar os negócios, a consultoria indicou que a divisão da empresa em unidades autônomas forneceria flexibilidade e independência a cada segmento da empresa. Isso daria ao gestor de cada unidade, autonomia suficiente em relação aos demais negócios da GE, não concentrando as decisões estratégicas apenas na alta gestão do conglomerado. Desta forma, cada Unidade de Negócios da GE passou a ter seu respectivo segmento bem delimitado, além de recursos para definir e desenvolver sua própria estratégia de forma independente (Caso GE, 1981:11). Surgiu desta forma o conceito de Unidade Estratégica de Negócios (UEN).

Uma UEN, conforme Fusco (1997) é uma “unidade de planejamento” estruturada a partir da identificação da existência de diferentes necessidades e oportunidades estratégicas.

Slack (1993) expande o conceito ao nível operacional, e não só orientado ao planejamento. Isto é, uma UEN implica uma unidade de negócios que gerencia de forma autônoma suas estratégias e recursos para desenvolver e executar operações (processos de produção). Desse modo, considera-se que uma UEN é independente, com características próprias e específicas de e para negociação, aproveitando as oportunidades do mercado.

Segundo Buzzell e Gale (1991), a General Electric (GE) adotou como definição de UEN: uma divisão, linha de produtos ou outro centro de lucro de uma empresa, que é capaz de produzir e comercializar um conjunto bem definido de produtos ou serviços correlatos, que serve um grupo ou mais, ou conjuntos de clientes claramente definidos, em uma razoavelmente bem

delimitada área geográfica, que enfrenta ou compete com concorrentes específicos e bem identificados.

Por outro lado, Ansoff *et al.* (1981) e Ansoff (1990) consideraram que para definir uma UEN, eram necessários pelo menos três critérios de direcionamento: I) A demanda (cliente ou público-alvo); II) A oferta (portfólio de produtos/serviços) e III) O atendimento de necessidades (vantagem competitiva da proposta de valor). No entanto, Magalhaes *et al.* (2019) consideram que nem sempre é possível obter resultados satisfatórios com a aplicação de apenas esses três critérios de segmentação estratégica.

Hax e Majluf (1991) consideraram que uma UEN é uma carteira de produtos/serviços para a qual você pode definir uma estratégia autônoma. Enquanto, a abordagem feita por Johnson *et al.* (2008), defendem que as UENs são um conjunto de subpartes de uma organização constituída por um portfólio homogêneo de produtos e/ou serviços com o mesmo DNA, onde é possível identificar de forma autônoma, a visão, a missão, os objetivos, as metas, a estratégia, os fatores críticos de sucesso e um conjunto de recursos a partir dos quais obter sinergias.

Uma das principais razões para se estruturar uma UENs é a determinação dos potenciais relativos de lucros de muitas UEN's diferentes na carteira de uma empresa, com base em suas posições competitivas correntes e em alterações futuras esperadas em fatores, tais como tamanho de mercado, qualidade do produto e lançamento de novos produtos (FUSCO, 1997). Adicionalmente, o autor indica que, quanto mais diversificados forem os negócios, os vários fatores relacionados às diferentes áreas de atuação da empresa, tais como clientes, concorrência, características de produtos, fornecedores, etc. não devem ser analisados de uma mesma forma em função dos diferentes contextos a atender.

As principais vantagens da criação de UENs e as implicações positivas geradas como estrutura de gestão estão resumidas no Quadro 1.

QUADRO 1. VANTAGENS DA GESTÃO DE NEGÓCIOS PELA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE UEN

Autores	Vantagens	Implicações positivas
Hill (1989)	Por ser unidades operacionais mais focalizadas, trazem ganhos na curva de experiência dos processos executados (produção ou serviços), além de agilidade operacional e maior aderência dos controles e decisões gerenciais.	Facilidade para o planejador concentrar seus esforços de gestão num horizonte estreito e focalizado (empresa focal).
Buzzell e Gale (1991)	Crescimento eficaz a partir do alcance de uma qualidade superior no longo prazo.	Ampliação na participação de mercado, trazendo vantagens em termos de escala: menores custos unitários, ROI e ROS.
Fusco (1993; 1995)	Permite racionalizar os investimentos necessários para atingir o mesmo objetivo, possibilitando o aumento da eficiência do sistema de gestão na utilização de recursos financeiros.	Fornecer subsídios para a empresa se preocupar com as políticas de gestão de cada UEN, além de determinar qual UEN deve receber maior atenção em termos de anexação, e qual deve ser descontinuada.
Fusco (1995; 1997)	Possibilidade para a criação de uma base de conhecimento mais consistente, o que pode se configurar como uma condição vital para a implantação sustentada de sistemas de gestão modernos.	Oportunidade de o planejador realizar uma análise mais completa dos negócios da organização, simplificando o processo de planejamento e proporcionando melhor qualidade e consistência com a realidade do mercado.
Fusco (1997); Magalhães <i>et al.</i> (2019)	Permite que a empresa possa identificar de forma clara a UEN que gera dinheiro, a que gasta além do planejado e qual poderia gerar mais. Isso permite que estratégias específicas sejam criadas em função das previsões para cada setor específico e para a empresa como um todo.	Cria uma oportunidade de que a matriz identifique, a partir do desempenho econômico, quem vai financiar quem. Recursos em abundância de uma, podem ser transferidos (investidos) para melhorar o desempenho daquela que esteja abaixo do padrão em termos de financeiros.
Fusco (1997)	Possibilita um maior poder de análise da concorrência e de melhorar a qualidade das decisões correspondentes a alternativas de parceria, investimentos, simular operações, bem como estabelecer objetivos mais aderentes com a realidade de mercado.	Contribui para o entendimento de onde a empresa compete realmente. Além disso, é possível identificar quais são as variáveis que, de fato, representam competitividade no mercado atuante, e no que é fundamental ser melhor do que os concorrentes.

ROI: Retorno sobre os investimentos; ROS: Retornos sobre as vendas.

Apesar das vantagens relacionadas no Quadro 1, para que as UENs como estrutura organizacional tenham sucesso, Contreras (2013) indica que:

- Os critérios para sua configuração devem estar estrategicamente alinhados aos objetivos de mercado da empresa;
- Os papéis devem ser claramente definidos para evitar “áreas e funções cinzentas”; e
- Se não houver coordenação e comunicação adequada entre todos os envolvidos, a estratégia UEN não atinge seu objetivo.

Deve-se ressaltar que a principal desvantagem é que elas acrescentam outro nível à alta administração, criando mais distância entre diretores e equipe administrativa (CONTRERAS, 2013).

Pelo exposto na literatura, a mudança de paradigma no cenário empresarial que obrigou as grandes corporações a adotar um estilo estratégico diferente, permitiu às organizações se dotarem de maior capacidade para reagir a todas as eventualidades do ambiente empresarial, que se caracterizava por ser cada vez mais global, assimétrico e variável.

Portanto, entende-se que as UENs permitem fixar objetivos estratégicos a serem alcançados com esforços cada vez menores que os que se exigiriam quando as organizações centralizavam sua carteira de negócios. Quando os objetivos são definidos como um todo para uma organização, torna-se complexo implementá-los, ao contrário do que acontece quando se adota uma gestão em torno do conceito de UEN, pois é um trabalho com um horizonte temporal que correlaciona cada tipo de UEN e a natureza do mercado-alvo onde atua.

2.1.1 COLABORAÇÃO ENTRE UENS

Conforme Magalhães *et al.* (2019) a popularização e sobrevivência das UENs até a atualidade se deu pela necessidade de que fosse substituída a filosofia de gerenciar para comercializar produtos e serviços, por uma gestão de portfólio, descentralizada e autônoma, dando lugar a um melhor posicionamento de cada UEN frente à concorrência. Nesse sentido, ainda Magalhães *et al.* (2019) afirmam que se tornou necessária a adaptação do sistema de gestão para a realização de ações inter-organizacionais de forma a salvaguardar os riscos

de conflito entre as UENs, evitando sua canibalização e potencializando a colaboração e a sinergia entre elas.

As ações inter-organizacionais envolvendo as UEN incluem contratações, *joint ventures*, parcerias público-privadas, associações comerciais e alianças multinacionais sob um termo abrangente, a colaboração (WOOD e GRAY, 1991; ABRAHAMSSON, 1993).

A colaboração entre as UENs aumenta a partilha de recursos e competências numa corporação orientada à diversificação (destinação de recursos para novas oportunidades de mercado) (PENROSE, 1959). São poucas as UENs que mostram sua relação em termos de recursos, habilidades e *know-how*, etc., que podem ser compartilhados entre elas (WANG *et al.*, 2011). Esse tipo de compartilhamento aumenta a vantagem competitiva, a redução de custos e a diferenciação em termos de produtos e serviços entre as UENs (WANG *et al.*, 2011). No entanto, a conquista da colaboração é muito difícil entre as UENs porque cada unidade de negócios (UN) tem sua própria cultura organizacional, estrutura e estratégia; e seus respectivos gestores não têm o mesmo incentivo para compartilhar os recursos e habilidades. No entanto, uma vez que as UENs possam compartilhar os recursos, habilidades e *know-how*, elas obtêm a vantagem de custo e as vantagens de diferenciação que não são imitáveis para outras (VERMA *et al.*, 2020).

Uma corporação diversificada é uma entidade que administra várias UENs, e geralmente, o estabelecimento de laços colaborativos e sinérgicos está condicionado pelo interesse dos gerentes em transferir competências entre UENs em diferentes setores; alavancar competências para criar UENs em novos setores; compartilhar recursos entre UENs para obter sinergias ou economias de escopo, ou seja, foco naquilo que interessa à organização; agrupar produtos como estratégia de mercado; e utilizar competências organizacionais gerais que aumentam o desempenho de todas as UENs da empresa (HILL *et al.*, 2014). Essa colaboração acaba contribuindo para aumentar a lucratividade da empresa e sua liderança em termos de custo.

A colaboração é amplamente definida como “*uma situação na qual duas ou mais pessoas ou grupos ou organizações aprendem ou tentam aprender algo juntos, e que podem gerar uma solução conjunta de problemas*” (DILLENBOURG *et al.*, 1996). Interatividade, interdependência, objetivos

compartilhados, simetria da estrutura e alto grau de negociação são os pontos-chave que auxiliam na caracterização das interações colaborativas entre corporações diversificadas que administram vários negócios ou UENs, podendo usar esses esforços colaborativos para se diferenciar e obter vantagem competitiva expressiva (TAKAOKA, 2011). Além disso, a criação de sinergia por meio de esforços colaborativos permite que empresas diversificadas aumentem a lucratividade da corporação como um todo (SABZIAN *et al.*, 2018).

Segundo Strömblad e Toh (2017), a colaboração pode ser definida de várias maneiras e nomes, mas geralmente é descrita como uma maneira cooperativa ou coordenada na qual duas ou mais entidades trabalham juntas em direção a um objetivo compartilhado. De acordo com Cole *et al.* (2019), as características da colaboração abrangem inclusão, integração, compromisso e comunicação aberta. Além disso, significa cooperar para trabalhar além das fronteiras dos relacionamentos multissetoriais enquanto se alcançam objetivos comuns (EPPEL, 2013).

Entre as UENs nas organizações, as interações de colaboração atuam como estratégia de lucro e modelos da dinâmica desses relacionamentos que têm sido explorados na literatura de gestão de negócios e redes (BUCKLEY e CASSON, 1988; TODEVA e KNOKE, 2005; KUMAR *et al.*, 2017). Por outro lado, Straus (2002) definiu a colaboração como *“o processo que as pessoas empregam quando trabalham juntas em um grupo, organização ou comunidade para planejar, criar, resolver problemas e tomar decisões”*.

Peterson (1991) sugere que há uma tríade que favorece o surgimento de alianças estratégicas entre UENs: (i) cooperação, em que grupos totalmente independentes compartilham informações que apoiam os resultados organizacionais uns dos outros; (ii) coordenação, em que partes independentes alinham atividades ou co-patrocinam eventos ou serviços que apoiam objetivos mutuamente benéficos e, (iii) colaboração, em que entidades individuais abrem mão de algum grau de independência para realizar um objetivo compartilhado.

Embora a colaboração em uma definição simples signifique trabalhar em conjunto para alcançar um objetivo comum (ROBERTS e O'CONNOR, 2008), também implica interdependência e uma necessidade natural de unir forças para construir capacidade (de produção, de prestação de serviços, implantação de novas tecnologias, reestruturação de processo, etc.).

As interações colaborativas são caracterizadas por objetivos compartilhados, simetria da estrutura e alto grau de negociação, interatividade e interdependência (LAI, 2011). Segundo Gulati *et al.* (2012) e Verma e Sharma (2018), a coordenação e a cooperação em diferentes níveis são duas facetas da colaboração. Todeva e Knoke (2005) afirmam que o nível de aliança ou colaboração deve variar entre as empresas que operam no mesmo campo organizacional. Nesse sentido, Verma e Sharma (2014a) afirmam que os fatores que influenciam a variação do grau de colaboração entre as UENs são a interdependência de recursos, ter uma missão comum, o uso de liderança coadjuvante entre parceiros iguais e confiança, dentre outras. Junto com essas variáveis a infraestrutura organizacional, cultura de trabalho, as estratégias de negócios também influenciam a colaboração entre as unidades (VERMA *et al.*, 2020).

Verma *et al.* (2020), Verma e Sharma (2014a; 2014b) asseguram que a colaboração é mais efetiva entre dois grupos ou UENs quando possuem simetria de estrutura organizacional; de cultura e estratégia; clima político e social favorável; desenvolvimento de papéis claros dos líderes; metas e objetivos concretos e alcançáveis porque esses mecanismos organizacionais semelhantes impulsionam o processo de compartilhamento de recursos, habilidades e conhecimentos.

Pelo exposto anteriormente, percebe-se que as relações de colaboração podem ser consideradas um fator crítico para obter lucro entre as UENs de uma corporação orientada à diversificação.

Além disso, pode-se inferir que a colaboração é mais vantajosa entre duas UENs se elas tiverem simetria de estratégia de negócios (semelhança) do que uma estratégia diferente para cada UENs, e isso acontece porque há harmonia entre regras e diretrizes, comunicação, tomada de decisão compartilhada, atributos culturais e estruturais (como flexibilidade, centralização, formalização e padronização). Em contraste, há uma colaboração fraca entre duas UENs que têm assimetria de estratégias de negócios, porque há disparidades em regras e regulamentos, comunicação, tomada de decisão compartilhada e atributos culturais e estruturais.

Apesar de que conceitualmente entenda-se que a UEN possa demandar estratégias de gestão específicas próprias (descentralização), estratégias de

colaboração e de compartilhamento de experiências (interdependência) devem ser coordenadas para evitar duplicação de esforços e/ou incoerência de políticas de gestão que possam afetar o desempenho competitivo geral da empresa como um todo.

2.1.2 ASPECTOS ORGANIZACIONAIS A CONSIDERAR NA GESTÃO DE UENS

Os principais elementos a considerar na gestão de um negócio qualquer são os elementos do entorno empresarial em que a firma se move, e as características intrínsecas da organização, aquelas que a fazem funcionar, e funcionar bem (PORTER, 1980). Em seguida no Quadro 2, se apresentam alguns elementos críticos a considerar na gestão de UENS.

QUADRO 2. DESAFIOS DA GESTÃO DE UENS

Autor	Desafios	Elementos a considerar
Govindarajan (1986)	Minimizar a incerteza do entorno.	Capacidade de processamento de informações da UEN.
Blau e Scott (1962); Galbraith (1973); Govindarajan (1986)	Implantar de novas Tecnologias de produção.	Padronização de processos e produtos, marco regulatório, compartilhamento de experiências entre UENS.
Thompson (1967); Lorsch e Allen (1973); Vancil (1980)	Desenvolver interdependência saudável.	Capacidade de colaboração e cooperação sem perder de vista a exclusividade de cada UEN
Dean e Susman (1989); Parthasarthy e Sethi (1992)	Alcançar uma Liderança em Custos	Reflete as intenções da empresa de se esforçar pelo status de produtor/prestador mais eficiente ou de menor custo.
Hayes e Wheelwright (1979a, 1979b)	Alcançar uma Liderança em Qualidade	Reflete as intenções da empresa de se esforçar por alcançar uma posição de liderança que se baseia na qualidade do produto e é medida em termos de desempenho, confiabilidade e características.
Porter (1980); Meredith (1987); Gerwin (1989); Susman e Dean (1989); Beinhocker (2006); Kownatzki <i>et al.</i> (2013)	Flexibilidade, Velocidade e Adaptabilidade (maximizar a diferenciação sem comprometer o custo).	Refere-se às intenções da empresa de competir em vários mercados segmentados, atendendo de forma rápida e adaptativa às necessidades do mercado de: mix de produtos, mix de volume, qualidade e inovação de forma lucrativa.
Verma <i>et al.</i> (2020)	Colaboração (cooperação e compartilhamento de experiências, informações e políticas de gestão estratégica e de tecnologias)	Coordenação entre as UENS como estágio prévio à Colaboração. A gestão descentralizada do negócio não implica que a interdependência entre as UEN não seja relevante. A troca entre elas é maior quando se realiza por pares.

Segundo Govindarajan (1986) à medida que o ambiente de uma UEN se torna incerto, surge a necessidade de mais informação e, portanto, de uma maior capacidade de processamento de informação ao nível da UEN, que é muito diferente da matriz. A centralização é possível em níveis mais baixos de incerteza porque as informações processadas não sobrecarregam a alta administração. No entanto, conforme a incerteza da UEN aumenta, surgem questões que precisam ser encaminhadas à alta administração. À medida que mais solicitações de informação são enviadas, a hierarquia fica sobrecarregada. Isso causa sérios atrasos entre a transmissão de informações para cima, sobre novas situações e, conseqüentemente, uma resposta a essas informações para baixo.

Nesses casos, a organização deve desenvolver outras estratégias para reduzir a solicitação ou transmissão de informações verticalmente ou aumentar sua capacidade de processar mais informações. Uma dessas estratégias é a criação de relações horizontais com UENs já consolidadas, onde o nível de tomada de decisão é mais rápido, ao invés de levar as informações para cima na hierarquia (GOVINDARAJAN, 1986)

As tecnologias de produção em massa exigem padronização de produtos e processos, bem como uma integração bem sequenciada das operações. Devido à padronização e organização sequencial das tarefas, há menos variedade de trabalho e as tarefas são mais rotineiras (BLAU e SCOTT, 1962). A tecnologia de rotina implica alto grau de previsibilidade de tarefas, que pode ser gerenciada de forma mais eficaz pelo estabelecimento de regras e procedimentos que reflitam a vontade da alta administração (GALBRAITH, 1973). Por outro lado, a produção em lote (fabricação em oficina) é adequada quando o produto não possui padronização e/ou o volume é baixo.

Ao contrário da produção em massa, onde os equipamentos e as habilidades de trabalho são colocados em uma sequência fixa ditada pela forma como o produto é feito, a produção em lote é caracterizada pelo uso de mão de obra altamente qualificada e equipamentos multiuso, capazes de executar uma variedade de tarefas com grande destreza e adaptabilidade para atender aos requisitos do cliente para um produto exclusivo (GOVINDARAJAN, 1986). Tudo isso aponta para operações não rotineiras e para a necessidade de lidar com problemas relativamente frequentes, imprevisíveis e difíceis.

Conforme argumenta Galbraith (1973), quando a tarefa se torna mais imprevisível, surge um maior número de exceções que não podem ser tratadas pelas regras e procedimentos existentes e, portanto, devem ser encaminhadas para cima na hierarquia. Em algum momento, isso pode sobrecarregar seriamente a hierarquia, tornando mais atraente a descentralização de negócios baseada na estruturação de UEN.

Outro grande desafio é o alto grau de interdependência que pode haver entre as UENs. Com isso, a tomada de decisão centralizada leva a um melhor desempenho devido aos efeitos das decisões de um gestor da UEN sobre o desempenho de outras UENs, levando à necessidade de coordenação efetiva e resolução conjunta de problemas. No entanto, quando há baixa interdependência entre as UENs, é provável que a incerteza ambiental e as dimensões tecnológicas determinem onde a UEN deve estar localizada no *continuum* centralização-descentralização para maximizar sua eficácia (LORSCH e ALLEN, 1973; THOMPSON, 1967; VANCIL, 1980).

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é atualmente uma das principais prioridades de muitas organizações, centros de pesquisa e universidades, no entanto, a maioria dos especialistas acadêmicos acreditam que o próprio termo Indústria 4.0 não é claro e que as empresas manufatureiras enfrentam dificuldades na hora de tentar entender esse fenômeno, e identificar os passos necessários para a transição para a Indústria 4.0 (GHOBAKHLOO, 2018). Consequentemente, autores como Gilchrist (2016), Vogel-Heuser e Hess (2016), Liao *et al.* (2017), Santos *et al.* (2017) e Ustundag e Cevikcan (2017) entendem que a Indústria 4.0 pode ser definida com base em seus princípios de concepção e tendências tecnológicas.

Desde a primeira Revolução Industrial, as revoluções subsequentes resultaram na fabricação, desde máquinas movidas a água e vapor até a produção automatizada elétrica e digital, tornando o processo de fabricação mais complicado, automático e sustentável para que as pessoas possam operar as máquinas de maneira simples, eficiente e persistente (QIN *et al.*, 2016). O termo Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial que é definida como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de

vida do produto, orientado para os requisitos cada vez mais individualizados do cliente (RÜßMANN *et al.*, 2015). O objetivo central da Indústria 4.0 é atender às necessidades individuais dos clientes, o que afeta áreas como gerenciamento de pedidos, pesquisa e desenvolvimento, sistemas de fabricação, entrega até o cliente e reciclagem de produtos (NEUGEBAUER *et al.*, 2016).

O paradigma da Indústria 4.0 promove a conexão de elementos físicos como sensores, dispositivos e ativos de negócios, tanto entre si quanto com a Internet (SIPSAS *et al.*, 2016). A Indústria 4.0 tem como visão a construção de uma plataforma de manufatura inteligente e aberta para aplicação de informações na rede industrial (BAHRIN *et al.*, 2016). Monitoramento de dados em tempo real, rastreamento de status e posições de produtos, bem como manutenção de instruções para controle de processos de produção, são os principais aspectos da Indústria 4.0 (ALMADA-LOBO, 2015).

A Indústria 4.0 representa a tendência atual de tecnologias de automação na indústria manufatureira e inclui principalmente tecnologias habilitadoras, como sistemas físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem (HERMANN *et al.*, 2016; JASPERNEITE, 2012; KAGERMANN *et al.*, 2013; LASI *et al.*, 2014; LU, 2017a, 2017b). Segundo GTAI (2014), a Indústria 4.0 representa a evolução tecnológica de sistemas embarcados para sistemas físico-cibernéticos.

Na Indústria 4.0, sistemas interligados, comunicação semântica máquina a máquina, tecnologias IoT e CPS estão integrando o espaço virtual com o mundo físico. Além disso, uma nova geração de sistemas industriais, como fábricas inteligentes, está surgindo para lidar com a complexidade da produção em um ambiente físico-cibernéticos (GTAI 2014). A Indústria 4.0 representa a abordagem da Quarta Revolução Industrial, na qual as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) formam a base de infraestrutura para tecnologias industriais inovadoras. Nesta nova evolução tecnológica orientada por TIC, sistemas embarcados, IoT, CPS, integração industrial e integração de informações industriais estão desempenhando um papel importante no cenário de negócios atual.

A Indústria 4.0 é definida pela Acatech (KAGERMANN *et al.*, 2013) como “a integração técnica do CPS na fabricação e na logística e o uso da Internet das

coisas e serviços em processos industriais. Isso terá implicações para a criação de valor, modelos de negócios, serviços downstream e organização do trabalho".

A Indústria 4.0 foi apresentada inicialmente durante a Feira de Hannover em 2011, e foi anunciado oficialmente em 2013 como uma iniciativa estratégica alemã, previsto no "*High Tech Strategy 2010 Action Plan*", para assumir um papel pioneiro em indústrias que atualmente estão revolucionando o setor manufatureiro (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Embora a Terceira Revolução Industrial também tenha se concentrado na automação de máquinas e processos (TAN *et al.*, 2010), a Indústria 4.0 se concentra mais na digitalização de ponta a ponta (*digitalization end-to-end*) e na integração de ecossistemas industriais digitais buscando soluções totalmente integradas.

Na Indústria 4.0, espera-se que a IoT ofereça soluções transformadoras e promissoras para a digitalização de operações e sistemas industriais existentes em empresas que formam ecossistemas complexos de produção e serviços. De acordo com GTAI (2014), a IoT entrou na produção ao mesmo tempo em que revolucionou os sistemas de fabricação existentes; portanto, é considerado um facilitador chave para a próxima geração de manufatura avançada, a Indústria 4.0 (VARGHESE e TANDUR, 2014; TRAPPEY *et al.*, 2017). Em particular, a IoT pode permitir a criação de redes virtuais para apoiar a fábrica inteligente na Indústria 4.0 (OESTERREICH e TEUTEBERG, 2016; PERUZZINI *et al.*, 2017).

A fabricação baseada na nuvem é uma tecnologia que pode contribuir significativamente para a realização da Indústria 4.0 (THAMES e SCHAEFER, 2016). A fabricação em nuvem, semelhante à computação em nuvem, usa uma rede de recursos de maneira altamente distribuída, a partir dela a manufatura como serviço (MaaS – *Manufacturing as a Service*) ganhou atratividade na indústria de manufatura.

Os CPS são a base central da Indústria 4.0 (VARGHESE e TANDUR, 2014; DE SILVA e DE SILVA, 2016; KIM, 2017). Segundo Monostori (2014), uma das conquistas mais significativas no desenvolvimento das TICs é representada pelo CPS. Os CPS são os sistemas de entidades computacionais colaboradoras que estão em intensa conexão com o mundo físico circundante e seus processos em andamento. Além disso, esses sistemas fornecem e usam os serviços de

acesso e processamento de dados disponíveis na Internet para atingir os fins mencionados. No CPS, os componentes físicos e de software estão profundamente interligados, cada um operando em diferentes escalas espaciais e temporais e interagindo entre si de inúmeras maneiras que mudam com o contexto (XU *et al.*, 2018). Os CPS apresentam um maior nível de integração e coordenação entre os elementos físicos e computacionais (GÜRDÜR *et al.*, 2016), uma vez que a tendência atual revela uma evolução tecnológica dos sistemas integrados aos CPS. Pesquisas indicam que, com a introdução do CPS, as máquinas poderão se comunicar umas com as outras e os sistemas de controle descentralizados poderão otimizar a produção.

2.2.1 TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

Várias tecnologias ou técnicas podem ser usadas para implementar a Indústria 4.0. Nesta seção, são apresentadas as tecnologias que são particularmente importantes para a Indústria 4.0. No entanto, a cobertura de delas nesta seção não pretende ser exaustiva. Entende-se que é importante apresentar esta breve conceitualização para apoiar o entendimento dos aspectos relacionados à implantação do conceito Indústria 4.0 nas UEN, levantados como parte do método proposto (Capítulo 4). Os aspectos são elementos que envolvem processos, áreas, recursos, tecnologias, estrutura organizacional, ações e atividades identificadas nas UEN que podem ser avaliadas e utilizadas como referência entre elas para a implantação do conceito Indústria 4.0.

2.2.1.1 SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS (CPS)

Os CPS são uma coleção de tecnologias transformadoras que permitem a conexão de operações de ativos físicos e recursos computacionais (LEE *et al.*, 2015). Um CPS é controlado e supervisionado por algoritmos de computador e está fortemente integrado com seus usuários (objetos, humanos e máquinas) via Internet.

Como outro exemplo, Ghobakhloo (2018) sugere que uma linha de produção inteligente pode ser considerada como um CPS no qual máquinas,

operadores, materiais e até mesmo trabalhos em andamento podem se comunicar entre si e continuar monitorando informações de produção ou repassando-as para outro nó da rede onde serão realizados cálculos, análises, gerenciamento e tomada de decisões e feedbacks serão fornecidos se e quando necessário.

2.2.1.2 INTERNET DAS COISAS

A IoT permite que objetos físicos se comuniquem entre si e também compartilhem informações e coordenem decisões (AL-FUQAHA *et al.*, 2015). Há muita incerteza em torno da definição do conceito de IoT, pois acadêmicos de várias disciplinas, *stakeholders*, alianças comerciais e órgãos de padronização abordaram esse paradigma com base em seus interesses, propósitos e antecedentes específicos (ATZORI *et al.*, 2010).

A IoT no contexto da Indústria 4.0 é comumente conhecida como Internet Industrial das Coisas (IIoT - *Industrial Internet of Things*), que aborda a aplicação industrial da IoT (WANG-G *et al.*, 2016). A IIoT não se refere apenas à rede de objetos físicos na indústria, mas também inclui as representações digitais de produtos, processos e infraestrutura de fabricação, como modelos 3D ou modelos de comportamento físico de máquinas (JESCHKE *et al.*, 2017). A IIoT oferece melhor visibilidade e *insights* sobre operações e ativos de negócios por meio da integração de sensores de máquinas, *middleware*, equipamentos de transporte, equipamentos de saúde, *software* e sistemas de armazenamento e computação em nuvem *back-end* (GILCHRIST, 2016). A IIoT é baseada na filosofia de que as máquinas inteligentes superam os humanos na captura e comunicação de dados com precisão e consistência (GHOBAKHLOO, 2018).

2.2.1.3 INTERNET DOS SERVIÇOS

A Internet dos Serviços (IoS - *Internet of Services*) trata do uso sistemático da Internet para novas formas de criação de valor através da materialização do modelo de negócio produto como serviço (PaaS - *Product-as-a-Service*) (GHOBAKHLOO, 2018). Os fabricantes de produtos de consumo continuamente estão se esforçando para estabelecer um vínculo direto com os consumidores e

fortalecer sua posição competitiva, oferecendo serviços complementares e cultivando fontes adicionais de renda (BECKER *et al.*, 2014), e a IoS fornece a infraestrutura tecnológica necessária. O modelo de negócios de PaaS foi habilitado pela infraestrutura da IoS, como produtos baseados em sensores que fornecem continuamente informações sobre o uso e o status do produto ao fabricante, que pode aproveitar os dados para diversos fins, desde cobrar do consumidor de acordo com o nível do uso do produto até a entrega da manutenção proativa e preventiva (LEMNEN *et al.*, 2012).

2.2.1.4 INTERNET DAS PESSOAS

A Internet das Pessoas (IoP- *Internet of People*) refere-se a um sistema sociotécnico complexo em que os humanos e seus dispositivos pessoais não são vistos simplesmente como usuários finais de aplicativos, mas tornam-se elementos ativos da Internet (CONTI *et al.*, 2017). A infraestrutura necessária para a IoP é formada em torno da combinação de dispositivos sociais (SD - *Social Devices*) e *People as a Service* (PeaaS).

Nesse ambiente, os SD aprimoram os recursos proativos dos dispositivos pessoais (p.e., smartphones) para coordenar suas interações com outros dispositivos vinculados à IoT, enquanto o PeaaS fornece aos dispositivos pessoais recursos de serviços que permitem que as pessoas executem suas intenções usando seus dispositivos, como fornecendo seus contextos de vida, perfil sociológico, sentimentos, interesses, entre outros, tudo isso, *online* (MIRANDA *et al.*, 2015).

As empresas que disponibilizam estas tecnologias de interação social criam algoritmos para coletar, calcular e simular dados abrangentes no ambiente de IoP, dessa forma poderão prever melhor as tendências do mercado, por meio de uma compreensão mais profunda dos padrões de compra do consumidor, do que desencadeia uma compra, e produzir resultados acionáveis em tempo real.

2.2.1.5 INTERNET DE DADOS

A Internet de Dados (IoD - *Internet of Data*) pode ser considerada como a extensão da IoT no mundo digital (Fan *et al.*, 2012), que muito recentemente tem

recebido a atenção dos acadêmicos (GHOBAKHLOO, 2018). A IoD lidará principalmente com os meios de transferência, armazenamento, gerenciamento e processamento de dados eficazes no ambiente de IoT, onde inúmeros objetos produzem uma quantidade impressionante de dados (ANDERL, 2014). A IoD permite que todas as fontes de dados no sistema de informação sejam identificadas e inventariadas, e atividades de dados e resultados de visualização de dados podem ser coletados em *tags* virtuais. Isso, por sua vez, permite que as organizações se beneficiem do rastreamento, identificação e visualização de dados e coletem inteligência de negócios ainda mais valiosa da análise de *big data* (GHOBAKHLOO, 2018). A IoD, portanto, pode ser considerada como o equivalente conceitual de sistemas de gerenciamento de banco de dados que pode servir como um componente básico de IIoT, IoS e IoP (ANDERL *et al.*, 2018) uma vez que permite a aquisição, armazenamento e gerenciamento de dados abertos, dados sociais, e dados de multidões e sensores (MOTTA *et al.*, 2014).

2.2.1.6 COMPUTAÇÃO NA NUVEM

A computação em nuvem (*Cloud Computing*) não é um conceito completamente novo, no entanto, não existe uma definição universal ou padrão de computação em nuvem (GHOBAKHLOO, 2018). Este paradigma evoluiu com base nos recentes avanços em hardware, tecnologia de virtualização, computação distribuída e prestação de serviços através da Internet (OLIVEIRA *et al.*, 2014). O aplicativo de computação em nuvem fornece aos fabricantes um aplicativo de software baseado em nuvem, painel de gerenciamento baseado na web e colaboração baseada em nuvem, e permite a integração de recursos de fabricação distribuídos e o estabelecimento de uma infraestrutura colaborativa e flexível em locais de fabricação e serviços geograficamente distribuídos (HE e XU, 2015). Isso, por sua vez, levará à fabricação em nuvem como o paradigma de fabricação da próxima geração (OOI *et al.*, 2018).

2.2.1.7 BIG DATA

As tecnologias de *big data* referem-se a uma nova geração de tecnologias e arquiteturas que permitem que as organizações extraiam valor economicamente por meio da descoberta, captura e análise de grandes volumes de uma ampla variedade de dados. A análise de *big data* permite que as organizações contemporâneas obtenham melhor valor das enormes quantidades de informações que já possuem e identifiquem o que provavelmente acontecerá a seguir e quais ações precisam ser tomadas para alcançar os melhores resultados (LAVALLE *et al.*, 2011). O conceito de big data existe há muitos anos, no entanto, as empresas estão migrando para a análise de *big data* para identificar instantaneamente informações e tendências futuras para decisões imediatas e se manterem competitivas (HU *et al.*, 2014). Em particular, a análise de *big data* permite aos fabricantes melhorar a eficiência e o desempenho de seus ativos, melhorar a personalização do produto, gerenciar melhor a manutenção preditiva e evitar quebras de ativos e otimizar os processos de produção e a iniciativa de gerenciamento da cadeia de suprimentos de forma mais eficaz (BABICEANU e SEKER, 2016; WANG-S *et al.*, 2016).

2.2.1.8 BLOCKCHAIN

Blockchain, também conhecida como tecnologia de contabilidade distribuída (*distributed ledger technology*), é a base de criptomoedas como Bitcoin e Ethereum, mas seus recursos se estendem muito mais. *Blockchain* é imutável, transparente e redefine a confiança, pois permite soluções públicas ou privadas transparentes, seguras, confiáveis e rápidas (UNDERWOOD, 2016). A comunidade científica acredita que a tecnologia *blockchain* é essencial para a Indústria 4.0 porque as criptomoedas permitem que inúmeros dispositivos inteligentes realizem transações financeiras transparentes, seguras, rápidas e sem atrito, totalmente autônomas sem intervenção humana no ambiente IoT (DEVEZAS e SARYGULOV, 2017; SIKORSKI *et al.*, 2017). A aplicação do *blockchain* não se limita a serviços financeiros e pode ser usada para qualquer tipo de transferência de informações digitalizadas. A Indústria 4.0 é construída sobre a base da automação, e o *blockchain* pode funcionar como o livro-razão

para desenvolver um relacionamento autônomo e confiável entre os diferentes componentes de fábricas inteligentes, fornecedores e até clientes. Por exemplo, colocar *blockchain* entre IIoT, sistemas de produção físico-cibernéticos e parceiros de fornecimento pode permitir que as máquinas dentro da fábrica inteligente encomendem de forma segura e autônoma suas peças de reposição para otimizar ainda mais os processos (GHOBAKHLOO, 2018).

2.2.1.9 REALIDADE AUMENTADA

A realidade aumentada (AR – *Augmented Reality*) tem sido considerada como uma tecnologia muito promissora que permite a visualização da computação gráfica no ambiente real (YEW *et al.*, 2016). Com o avanço cada vez maior do *design* e desenvolvimento de software e hardware, a AR é comumente usada na descrição, planejamento e monitoramento em tempo real de operações, diagnóstico e recuperação de falhas e treinamento relacionado a produtos e processos industriais (DOSHI *et al.*, 2017; KHAN *et al.*, 2011). Relatórios da indústria indicam que os fabricantes modernos implementaram a AR em apoio ao treinamento de funcionários, simplificação de tarefas de manutenção, práticas de gerenciamento e controle da qualidade e *design* de produtos, entre outros (ELIA *et al.*, 2016).

2.2.1.10 AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA INDUSTRIAL

A automação e a robótica industrial estão presentes na manufatura e cada vez mais nos ambientes cotidianos. A demanda por robôs industriais aumentou devido à tendência atual de automação entre os fabricantes. A robótica industrial e a automação prometem inúmeros benefícios, como redução do tempo de ciclo parcial, menor taxa de defeitos, maior qualidade e confiabilidade, menos desperdício e melhor utilização do espaço físico, tornando-se indispensável para fabricantes de classe mundial (ESMAEILIAN *et al.*, 2016).

2.2.1.11 CYBER-SEGURANÇA

A segurança cibernética é um elemento-chave da Indústria 4.0, pois todas as organizações voltadas para a Internet correm o risco de serem atacadas. A Indústria 4.0 será desafiada por questões tradicionais de segurança cibernética, juntamente com seus próprios problemas exclusivos de segurança e privacidade (THAMES e SCHAEFER, 2017). No ambiente da Indústria 4.0, as "coisas" são conectadas via Internet ou entre si para criar um ambiente industrial em rede totalmente interconectado em toda a cadeia de suprimentos. A enorme quantidade de coisas interligadas no contexto da Indústria 4.0 exige uma comunicação segura e confiável para que qualquer decisão e ação tomada seja baseada em informações confiáveis e devidamente autorizadas (MEHNEN *et al.*, 2017).

2.2.1.12 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva (AM - *Additive Manufacturing*) denota a técnica de fabricação em que as peças são construídas fundindo finas camadas de material umas sobre as outras, de acordo com a geometria sugerida por módulos de desenho assistido por computador (CAD – *Computer Aided Design*) (ESMAEILIAN *et al.*, 2016). A AM, em particular a tecnologia de impressão 3D, permite que os fabricantes produzam protótipos e projetos de prova de conceito, simplificando e acelerando os processos de projeto e fabricação de novos produtos (GILCHRIST, 2016). A Indústria 4.0 aproximará clientes e fornecedores e se tornará comum para os clientes enviar ordens de produção diretamente ao parceiro de produção em tempo real. Em tais circunstâncias, a AM pode apoiar a ideia de “fábrica inteligente” por meio do aumento da velocidade de produção, liberdade de projeto de fabricação, reduções na cadeia de suprimentos, prototipagem rápida e experimentos de produção em pequena escala, em qualquer lugar (LASI *et al.*, 2014).

2.2.1.13 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

As técnicas de simulação e modelagem visam simplificar e reduzir o custo do projeto, implementação, teste e operação em tempo real de sistemas de manufatura (KOCIAN *et al.*, 2012). Em fábricas inteligentes, a simulação e a modelagem serão necessárias para aproveitar os dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos (RÜßMANN *et al.*, 2015). A simulação e a modelagem não apenas permitem que os fabricantes evitem erros no estágio inicial que poderiam resultar em custos substanciais para os operadores da fábrica, mas também podem ser usados para otimizar uma fábrica durante a operação diária contínua (GILCHRIST, 2016). Relatórios da indústria revelam que fabricantes de classe mundial veem um potencial muito maior para a simulação no futuro em uma tentativa de realizar testes virtuais de sistemas de produção completos (RÜßMANN *et al.*, 2015).

2.3 ÍNDICE DE MATURIDADE

2.3.1 ÍNDICE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 DA ACATECH

Em cooperação com institutos de pesquisa e parceiros industriais, a Academia Nacional Alemã de Ciências e Engenharia (ACATECH), propôs o "Índice de Maturidade da Indústria 4.0" para ajudar as empresas de manufatura a identificar recomendações individuais e personalizadas de ação para a transição em direção à Indústria 4.0. A metodologia para determinação do Índice de Maturidade da Indústria 4.0 tem uma visão holística e correlaciona diretamente o índice aos objetivos da empresa (SCHUH *et al.*, 2020).

A abordagem do modelo é baseada em uma sucessão de níveis de maturidade, ou seja, estágios de desenvolvimento baseados em valor (Informatização, Conectividade, Visibilidade, Transparência, Capacidade preditiva e Adaptabilidade) (subseção 2.3.1) que ajudam as empresas a percorrer todos os estágios da transformação digital, desde os requisitos básicos da Indústria 4.0 até a implementação completa. Como o estado-alvo desejado da empresa dependerá de sua estratégia de negócios, cabe a cada empresa

decidir qual nível de maturidade representa o melhor equilíbrio entre custos, capacidades e benefícios para suas próprias circunstâncias individuais, levando em consideração como esses requisitos mudam ao longo do tempo em resposta às mudanças no ambiente de negócios e na estratégia da empresa (SCHUH *et al.*, 2020).

Para garantir que todos os aspectos das empresas de manufatura sejam levados em consideração, a estrutura do modelo é baseada na Estrutura de Produção e Gestão, proposta por Boos *et al.* (2011), composta por quatro áreas estruturais (recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura, que permitem uma análise abrangente e estabelecem uma série de princípios orientadores e as capacidades necessárias para as áreas estruturais de uma empresa na implantação do conceito Indústria 4.0 (subseção 2.3.2) (SCHUH *et al.*, 2020).

Cada área estrutural do modelo integra suas respectivas capacidades (*capabilities*), que são investigadas separadamente nas áreas funcionais do negócio (Desenvolvimento, Produção, Logística, Serviços e Marketing e Vendas) para medir a capacidade de uma empresa para atingir todo o potencial da Indústria 4.0 em seu próprio contexto (SCHUH *et al.*, 2020).

Na subseção 2.3.3 orienta-se sobre a definição das medidas necessárias a serem avaliadas a partir da determinação das áreas que precisam desenvolver certas capacidades para realizar a implantação do conceito I4.0 partindo do nível de Maturidade da Indústria 4.0 alcançada (SCHUH *et al.*, 2020).

Por último, na subseção 2.3.4 ressalta-se a importância de que indicadores sejam usados para quantificar os benefícios da aplicação da Indústria 4.0 para as empresas (SCHUH *et al.*, 2020).

2.3.1.1 AVALIAÇÃO DOS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO BASEADOS EM VALOR

Os estágios para a Indústria 4.0 e os níveis sucessivos baseados em valor são apresentados no Quadro 3. Esses estágios fornecem às empresas de manufatura uma visão geral das atividades necessárias para a digitalização. A subdivisão e explicação das etapas individuais, são apresentadas na sequência. Estes estágios bem como as medidas necessárias servem de suporte para que

as empresas possam estabelecer o melhor caminho para a mudança no seu próprio contexto empresarial (SCHUH *et al.*, 2020).

QUADRO 3. ESTÁGIOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA A I4.0

Estágios	Níveis de avaliação	Diretrizes
Digitalização	1 Informatização	-
	2 Conectividade	-
Indústria 4.0	3 Visibilidade	O que está acontecendo? Observação
	4 Transparência	Por que está acontecendo? Compreensão
	5 Capacidade preditiva	O que acontecerá? Previsão
	6 Adaptabilidade	Como pode ser alcançada uma resposta autônoma? Auto otimização

Nota: O valor aumenta iniciando pelo nível 1 até o 6.

O primeiro estágio do caminho de desenvolvimento é baseado na informatização (nível 1), que é o ponto de partida para a digitalização e refere-se ao uso direcionado das tecnologias da informação (TI). Nas empresas, a informatização é particularmente utilizada para o projeto eficiente de atividades repetitivas, pois permite uma produção econômica com baixas taxas de erro e gera a precisão necessária, indispensável para a produção de muitos produtos modernos (SCHUH *et al.*, 2014; SCHUH *et al.*, 2020).

Atingindo o nível de conectividade (2), o uso direcionado ou isolado da TI é substituído por componentes em rede, por meio dos quais os sistemas de TI são interconectados e representam uma projeção dos principais processos de negócios corporativos. Uma integração completa entre os níveis de TI e as tecnologias operacionais (OT - *operative technologies*) ainda não ocorreu; no entanto, as interfaces para a TI de negócios são fornecidas por partes das OT implementadas (VOGEL-HEUSER *et al.*, 2014; KAUFMANN e FORSTNER, 2014; SCHUH *et al.*, 2020).

Com base na conectividade, é estabelecida uma visibilidade digital (nível 3) com o auxílio de sensores, que permitem o registro dos processos do início ao fim com uma grande quantidade de dados capturados. Os estados dos processos não estão mais limitados a áreas individuais, como em uma célula de produção, mas podem ser estendidos a um sistema de produção ou a toda a

empresa em tempo real para criar um modelo digital, também conhecido como “sombra digital” (*digital shadow*) (BAUERNHANSL *et al.*, 2016). Essa sombra digital, que deve ser entendida como um elemento básico para os níveis de maturidade subsequentes, ajuda a mostrar o que está acontecendo na empresa (em tempo real) e possibilita a tomada de decisão baseada em dados na gestão (SCHUH *et al.*, 2014, BAUERNHANSL *et al.*, 2016; SCHUH *et al.*, 2020).

Para uma melhor compreensão causal dos processos, é necessário criar maior transparência (nível 4) sobre as correlações nos inventários de dados (armazenagem). O reconhecimento e interpretação de interdependências por meio da sombra digital requer a análise dos dados coletados no respectivo contexto usando conhecimentos de engenharia. O conhecimento do processo é cada vez mais necessário para suportar decisões mais complexas, que se baseiam em conexões semânticas e agregação de dados e sua correspondente classificação em um determinado contexto. Este processo é suportado fundamentalmente por novas tecnologias para a análise de dados em massa (SCHUH *et al.*, 2020).

A capacidade preditiva (nível 5) permite a simulação de diferentes cenários futuros e a identificação daqueles que são mais prováveis. Para isso, a sombra digital é projetada em cenários futuros e avaliada de acordo com a probabilidade de ocorrência de eventos adversos. Isso permite que as empresas antecipem eventos futuros, tomem decisões a tempo e tomem medidas de reação adequadas. Embora as medidas geralmente ainda precisem ser iniciadas manualmente, os efeitos de uma interrupção podem ser limitados no tempo devido ao tempo ganho com o alerta antecipado. Reduzir essas interrupções ou variações de planejamento, que representam eventos inesperados no processo de negócios, permite uma operação mais robusta (SCHUH *et al.*, 2020).

A capacidade de adaptação (nível 6) pode permitir uma reação automática às falhas esperadas da máquina ou atrasos na entrega por meio de uma sequência modificada no planejamento da produção. Se uma empresa consegue explorar os dados da sombra digital de forma que as decisões sejam tomadas de forma autônoma, com os melhores resultados no menor tempo possível e implementar as medidas correspondentes, então a etapa seis do modelo pode ser implementada com sucesso (WEE *et al.*, 2015). No entanto, é importante avaliar cuidadosamente os riscos de automatizar as aprovações, quaisquer que

sejam. Para isso, deve ser estabelecida uma relação custo-benefício correta e antecipada (SCHUH *et al.*, 2020).

2.3.1.2 DETERMINAÇÃO DAS CAPACIDADES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA AS EMPRESAS: ÁREAS ESTRUTURAIS, PRINCÍPIOS E CAPACIDADES A SEREM ADQUIRIDAS

As habilidades relevantes para a transformação de uma empresa manufatureira em uma organização ágil e de aprendizado, orientada à Indústria 4.0, são avaliadas por meio das quatro áreas estruturais: (I) recursos, (II) sistemas de informação, (III) estrutura organizacional e (IV) cultura (Quadro 4). As quatro áreas caracterizam a estrutura de uma organização e são examinadas a partir dos seis níveis que acompanham o desenvolvimento da Indústria 4.0 (Quadro 3). Cada área tem associados dois princípios orientadores (i e ii) e suas capacidades (a, b, c, ...) que contribuem para trilhar o caminho da digitalização à Indústria 4.0 (Quadro 4) (SCHUH *et al.*, 2020).

O grau em que as habilidades são implementadas determina o nível de maturidade de cada princípio. Os níveis de maturidade dos dois princípios são resumidos e juntos representam a avaliação da área estrutural, que é orientada para os níveis de desenvolvimento (SCHUH *et al.*, 2020).

QUADRO 4. ESTRUTURA PARA AVALIAR O ÍNDICE DE MATURIDADE, DA ACATECH

Níveis de avaliação	Área Estrutural	Princípios	Capacidades	Áreas funcionais do negócio
1 Informatização 2 Conectividade 3 Visibilidade 4 Transparência 5 Capacidade preditiva 6 Adaptabilidade	I. Recursos	i. Capacidade digital	a) Fornecimento de competências digitais; b) Aquisição automatizada de dados por meio de sensores e atuadores; c) Processamento descentralizado de dados do sensor.	Engenharia Produção Logística Serviços Marketing e Vendas
		ii. Comunicação estruturada	a) Comunicação eficiente; b) <i>Design</i> de interface baseado em tarefas.	
	II. Sistemas de informação	i. Processamento de informações de autoaprendizagem	a) Análise de dados automatizada; b) Entrega de dados contextualizada; c) Infraestrutura de TI resiliente; d) Interface de usuário específica do aplicativo.	
		ii. Integração do sistema de informação	a) Integração horizontal e vertical; b) Gestão de dados; c) Interface de dados padrão; d) Segurança de TI.	
	III. Estrutura organizacional	i. Organização interna orgânica	a) Comunidades flexíveis; b) Gerenciamento de direitos de decisão; c) Sistemas de metas motivacionais; d) Gestão ágil.	
		ii. Colaboração dinâmica dentro da rede de valor	a) Foco nos benefícios ao cliente; b) Cooperação dentro da rede.	
	IV. Cultura	i. Vontade de mudar	a) Reconhecer o valor dos erros; b) Abertura à inovação; c) Desenvolvimento profissional contínuo; d) Mudança de comportamento; e) Aprendizagem baseada em dados e tomada de decisão.	
		ii. Colaboração social	a) Estilo de liderança democrática; b) Confiança em processos e sistemas de informação; c) Comunicação aberta.	

A área estrutural Recursos (I) inclui todos os recursos físicos tangíveis. Esta área inclui, por exemplo, funcionários de uma empresa, máquinas e sistemas, as ferramentas e materiais utilizados e o produto final. O objetivo é projetar recursos que possibilitem uma interface entre os mundos físico e digital, além da pura realização funcional, criando assim uma sombra digital que forma a base do processo de aprendizado para otimizar a agilidade. Os dois princípios que dividem esta área estrutural são diferenciados em capacidade digital e comunicação estruturada (KAGERMANN e NONAKA, 2019; SCHUH *et al.*, 2020).

Capacidade digital (i) caracteriza a geração de dados e seu processamento independente orientado para um objetivo, em informações por recursos com componentes técnicos correspondentes. Isso facilita uma maneira de trabalhar orientada por informações, com base no *feedback* dos ambientes de processo e não em especificações de planejamento baseadas em previsões. As habilidades da competência digital também incluem o uso de sistemas embarcados (*embedded systems*) e a retenção da capacidade digital, que só pode ser bem-sucedida se for dada atenção à promoção do pensamento e ação interdisciplinar por parte dos funcionários - se eles forem cada vez mais integrados ao processo de inovação. Pela comunicação estruturada (ii) as informações coletadas são vinculadas e criam uma imagem geral. Uma comunicação eficiente pode ser definida e a interface projetada para apoiar os tomadores de decisão (ZÜHLKE, 2013; BAUERNHANSL *et al.*, 2016; KAGERMANN e NONAKA, 2019; SCHUH *et al.*, 2020).

Com a ajuda dos funcionários, as TI e as informações baseadas em dados estão disponíveis nos Sistemas de Informação (II) de acordo com critérios econômicos. Muitas empresas de manufatura não fazem uso suficiente dos dados. O fator decisivo é o insuficiente tratamento dos dados recolhidos para serem transformados em informação e a sua posterior disponibilização aos colaboradores, razão pela qual o primeiro princípio inclui o processamento de informações de autoaprendizagem (i) para apoio à decisão. Isso requer, entre outras coisas, fornecimento de informações baseadas em contexto e sua automação, armazenamento de dados e interfaces orientadas a aplicativos para fornecer uma infraestrutura técnica para uso em tempo real de dados e informações. No contexto do segundo princípio, trata-se de integração do

sistema de informação para uso otimizado de dados (ii) e maior agilidade sob o aspecto primordial do compartilhamento de dados dentro da cadeia de valor (CIUPEK, 2016; SCHUH *et al.*, 2020).

A transformação para uma empresa ágil e de aprendizado é alcançada por meio das tecnologias explicadas acima e da implementação de uma Estrutura Organizacional (III) adequada. Neste modelo, a estrutura organizacional refere-se, por um lado, à organização corporativa interna (i) na forma de estruturas e processos organizacionais e, por outro lado, descreve o posicionamento na rede de valor (ii). Em contraste com a cultura da área estrutural descrita a seguir, a estrutura organizacional estabelece regras obrigatórias que organizam a colaboração tanto dentro da empresa quanto externamente. Um alto grau de responsabilidade individual por parte dos funcionários é característico da organização interna orgânica, razão pela qual uma força de trabalho altamente qualificada é de fundamental importância para tal forma organizacional (SCHUH *et al.*, 2020).

Especialmente as chamadas “comunidades flexíveis”, ou seja, a rápida formação de unidades organizacionais para resolver uma tarefa específica, representam uma importante capacidade das organizações ágeis. Além disso, é importante agrupar o alto grau de responsabilidade pessoal por meio de sistemas motivadores e sua orientação para o benefício do cliente, o que é particularmente viável por meio de uma gestão ágil. Se uma empresa está em posição de cooperar em redes pode ser determinado, entre outras coisas, pela obtenção de tempos de reação mais curtos às mudanças nos requisitos do mercado, agrupando competências de acordo com a demanda (SCHUH *et al.*, 2020).

A agilidade de uma empresa é altamente dependente do comportamento de seus funcionários. As empresas não conseguirão alcançar a agilidade desejada se simplesmente introduzirem tecnologias digitais sem abordar também sua Cultura corporativa (IV). Nesse contexto, podem ser mencionadas duas direções para a mudança da cultura corporativa: disposição para mudar (i) e colaboração social (ii). O primeiro termo refere-se à disposição dos funcionários em se analisar continuamente e, se necessário, adaptar seu próprio comportamento. Essa vontade de se adaptar dentro da estrutura de prontidão para a mudança vai junto com o pré-requisito de ser capaz de reconhecer oportunidades de mudança e então iniciar as medidas apropriadas.

Além disso, é vantajoso ver os erros não como um problema, mas como uma oportunidade para mudanças positivas e uma certa abertura para inovações, bem como uma vontade de se submeter a treinamentos contínuos. O termo colaboração social refere-se à consideração do conhecimento como diretriz decisiva para a ação, o que implica que um estado ideal é caracterizado pela tomada de decisões com base no conhecimento (ZÜHLKE, 2013; SCHUH *et al.*, 2020).

2.3.1.3 IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS CONCRETAS

O próximo passo é derivar medidas abordando áreas identificadas que exigem alguma ação. As medidas necessárias podem ser deduzidas das capacidades que faltam para avaliar as quatro áreas estruturais. Ao avaliar processos individuais, muitas medidas individuais podem ser definidas, o que torna mais fácil para as empresas criar um roteiro para a implantação. Ao definir os objetivos estratégicos de uma empresa, as medidas identificadas são trabalhadas com precisão. Alcançar os estágios de desenvolvimento visados, por sua vez, visa apoiar a realização dos objetivos estratégicos formulados. Isso permite que os tomadores de decisão em empresas de manufatura não apenas identifiquem rapidamente as medidas necessárias para atingir um nível de maturidade mais alto, mas também as interdependências entre as medidas identificadas (SCHUH *et al.*, 2020).

2.3.1.4 QUANTIFICAR OS BENEFÍCIOS APÓS IMPLANTAÇÃO

Indicadores (qualidade, custo, entregas, satisfação do cliente, flexibilidade, etc.) são usados para quantificar os benefícios da aplicação da Indústria 4.0 para as empresas. A ideia básica é vincular indicadores bem estabelecidos com os impactos da Indústria 4.0. Ao vincular os indicadores com o Índice de Maturidade da Indústria 4.0 da Acatech, os resultados das avaliações podem ser retratados com números concretos. Isso permite que as empresas entendam como um nível de maturidade aprimorado afeta determinados indicadores (SCHUH *et al.*, 2020).

2.3.2 ÍNDICE DE MATURIDADE *SMART INDUSTRY READINESS INDEX (SIRI)*

O índice SIRI foi desenvolvido pela *Singapore Economic Development Board* (SEDB) (EDB SINGAPORE) em parceria com a empresa TÜV SÜD (EDB SINGAPORE) e validado por um painel consultivo de especialistas da indústria e academia.

O cálculo do índice apoia-se em três etapas, aqui citada uma delas, composta dos três blocos fundamentais da Indústria 4.0: Processo, Tecnologia e Organização. Sustentando esses três blocos estão 8 pilares de foco, que representam aspectos críticos que as empresas devem se concentrar para se tornarem prontas para o futuro das organizações.

Os 8 pilares então incluem os 16 aspectos de avaliação, que as empresas podem usar para avaliar suas próprias instalações. Com este índice é possível fazer uma autoavaliação do status atual dos 16 aspectos. O índice traz um framework dividido em 4 etapas, como se apresentam em seguida, como suporte para indústria durante a utilização do índice SIRI (SIRI, 2023).

- 1- Aprender os conceitos chaves da indústria 4.0 e construir uma linguagem comum para alinhamento. O índice SIRI permite isso oferecendo estruturas que ajudam a aumentar o nível de compreensão dos principais conceitos da indústria 4.0 e estabelecer uma linguagem comum entre indivíduos, UEN e parceiros.
- 2- Avaliar os atuais níveis de maturidade da Indústria 4.0 das instalações existentes. Com um entendimento comum do conceito da indústria 4.0, as empresas podem utilizar uma matriz de avaliação para avaliar o estado atual de suas instalações.
- 3- Arquitetar uma estratégia de transformação abrangente e um roteiro de implementação, a estrutura SIRI atua como uma lista de verificação para garantir que todos os aspectos sejam formalmente considerados.
- 4- Roadmap com todas as iniciativas e projetos que devem ser reavaliados conforme frequência definida pela empresa.

2.4 IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 EM UENS DE MULTINACIONAIS DO RAMO AUTOMOTIVO

Das 16 propostas encontradas na literatura sobre a implantação do conceito Indústria 4.0, verifica-se que 100% delas não se orientam a UEN utilizando lições aprendidas ou experiências adquiridas. Além disso, o escopo é limitado as empresas de forma geral e apresentam de forma muito genérica diretrizes orientadas a UEN. O trabalho aqui proposto contribui como um guia para implementação do conceito Indústria 4.0 baseado em lições aprendidas e experiências adquiridas, este guia não está apresentado nas 16 propostas encontradas.

O Quadro 5 que apresenta os 16 artigos encontrados na literatura sobre métodos para implantação do conceito Indústria 4.0, no período de 2016 - 2022. As informações contidas no Quadro 5 são sobre: 1) Autor; 2) Escopo da proposta; 3) Orientação da aplicação; 4) Inclusão de abordagem sobre lições aprendidas; 5) Inclusão de abordagem para compartilhamento de experiências.

QUADRO 5. ANÁLISE DAS ABORDAGENS PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NO RAMO AUTOMOTIVO

Autor	Escopo da proposta	Orientado a UEN	Inclui lições aprendidas	Inclui compartilhamento de experiências
1. LEINEWEBER <i>et al.</i> (2018)	Modelo de maturidade evolutiva baseado na tecnologia, a organização e as pessoas	Não	Não	Não
2. TELUKDARIE <i>et al.</i> (2018)	Implementar o conceito Indústria 4.0 maximizando: áreas de negócio da empresa, oportunidades atuais como as tecnologias habilitadoras	Não	Não	Não
3. SZALAVETZ <i>et al.</i> (2019)	Modelo de implementação de tecnologias avançadas de manufatura em diferente subsidiárias	Não	Não	Não
4. BELL e FIGUEIREDO (2021)	Modelo para implementar mecanismos de aprendizagem e construção de capacidade de inovação	Não	Não	Não
5. MAHDIRAJI; ZAVADSKAS; SKARE; KAFSHGAR ARAB <i>et al.</i> (2020)	Identificar e priorizar as estratégias para implementação do conceito Indústria 4.0	Não	Não	Não
6. STAWIARSKA; SZWAJCA; MATUSEK; e WOLNIAK (2021)	Modelo para diagnosticar o nível de maturidade para implementação do conceito Indústria 4.0	Não	Não	Não
7. HUBER, W. <i>et al</i> (2016)	Implementação do conceito Indústria 4.0 na indústria automotiva	Não	Não	Não
8. VEILE, KIEL, MÜLLER e VOIGT (2020)	Recomendações gerais para a implantação do conceito Indústria 4.0	Não	Não	Não
9. VEILE, KIEL, MÜLLER e VOIGT (2018)	Framework com ações para Implantação do conceito Indústria 4.0	Não	Sim	Não
10. MOEUF, LAMOURI, GIRALDO, (2017)	Implantação da Indústria 4.0 em pequenas e médias indústrias	Não	Não	Não
11. PARTHASARTHY e SETHI (2016)	Framework para implementar automação	Não	Não	Não
12. ROSSELLA, ROSSI e SECCHI (2021)	Fatores críticos para implantação da indústria 4.0	Não	Não	Não
13. MÜLLER, BULIGA e VOIGT (2021)	Implantação da indústria 4.0 em pequenas, médias e grandes empresas	Não	Não	Não
14. AKDIL, USTUNDAG e CEVIKCAN (2017)	Modelos de maturidade e preparação para estratégia dos conceitos Indústria 4.0	Não	Não	Não
15. CIMINI, BOFFELLI, LAGORIO, KALCHSCHMIDT e PINTO (2021)	Impacto dos requisitos organizacionais na implantação da indústria 4.0	Não	Não	Não

16. KAGERMANN, ANDERL, GAUSEMEIER, SCHUH e WAHLSTER (2016)	Estudo ACATECH para com as oportunidades e desafios para empresas de cooperação internacional para implementar o conceito indústria 4.0	Não	Não	Não
--	---	-----	-----	-----

Na pesquisa de Leineweber *et al.* (2018) os autores afirmam que existem várias soluções na forma de diretrizes, recomendações de atuação e modelos de maturidade para apoiar as empresas na implantação do conceito Indústria 4.0 (LICHTBLAU *et al.*, 2015; ANDERL, 2015; SCHUMACHER *et al.*, 2016; SCHUH *et al.*, 2017). No entanto, segundo os autores, essas soluções têm em comum o fato de não focarem em uma determinada unidade de negócio dentro de sua aplicação, mas sim consideram toda a empresa no contexto da Indústria 4.0.

Cada vez mais multinacionais estão se concentrando em desempenhar um papel de destaque na implantação e desenvolvimento de tecnologias em nível global. O sucesso e os impactos desses papéis, juntamente com os desafios, ainda estão sendo quantificados pelas pesquisas científicas (TELUKDARIE *et al.*, 2018). As pesquisas de Overby *et al.* (2006) e Chesbrough (2007) sugeriram que a região ou localização física das corporações ou respectivas UENs têm uma influência considerável na implantação do conceito indústria 4.0.

Segundo Telukdarie *et al.* (2018), a implantação do conceito Indústria 4.0 em multinacionais depende do estabelecimento de requerimentos funcionais (divisão da gestão) e técnicos, divididos por níveis geográficos, porém interconectados que possibilitam a automação dos processos de negócios (Quadro 6). Algumas ferramentas propostas pelos autores, que facilitam a implantação também se resumizam no Quadro 6.

QUADRO 6. FACILITADORES PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO I4.0 EM UENS

Níveis Geográficos	Requisitos		Processos de negócios	Ferramentas
	Funcionais (Gestão)	Técnicos (Automação)		
Global	Multinacional (Disseminação das políticas de gestão de negócios para as UENs. Comprometimento da alta gerência)	- Inteligência de Negócios (BI) - Planejamento de Recursos Empresariais (ERP)	- Segurança, Saúde e meio ambiente; - Sistemas de Emergência; - Cadeia de valor; - Produção; - Gestão de Pessoas; - Gestão Logística; - Registros Operacionais;	Lean Six sigma Kaizen BSC OE JIT KPI's
Local	UEN (Colaboração horizontal entre UENs: cooperação e compartilhamento de conhecimentos e experiências)	- Sistema de Produção	- Base Legal; - Gerenciamento de Pedidos; - Cadeia de Suprimentos - Gestão de Ativos; - Gerenciamento de Instalações	
Operacional	Tipo de produtos (Automação e otimização dos processos. Capacitação do Capital Humano)	- Controle da Planta - Instrumentação	- Segurança de Dados; - Comunicação; - Manutenção; - Gestão da Qualidade; - Gestão de Estoques; - Armazenamento; - Gestão Financeira.	

BI: Business Intelligence; ERP: Enterprise Resource Planning; BSC: Balance Score Card; OE: Operations Excellence; JIT: Just in Time; KPI: Key Performance Indicators.

Segundo Telukdarie *et al.* (2018) um elemento básico para implementar a Indústria 4.0 é a automação de todos os processos de negócios. Uma multinacional típica atua na fabricação de produtos em nível global em várias UENs. A otimização da logística global pode ser um desafio significativo, com diversos recursos globais de fornecimento e entrega. Isso envolve os recursos de vários locais (UENs) que produzem produtos semelhantes com diversidade de fornecimento, mão de obra, operação e distribuição, manutenção operacional e disponibilidade da planta, entre outros. Os autores ainda sugerem que essa rede interconectada de forma global e local permite expansibilidade, flexibilidade, gerenciamento e governança das tecnologias da I4.0. Eles concluem que, um negócio global totalmente conectado com todos os dados do sistema disponíveis e o compartilhamento de conhecimento (entre diferentes UENs) e KPIs comuns definidos facilita a implementação da I4.0.

Szalavetz (2019) coincide em que um elemento facilitador da implantação do conceito I4.0 em subsidiárias é a descentralização das atividades tecnológicas, corporativas e de pesquisa e desenvolvimento (P+D), que servem para expandir a colaboração das UENs em nível global, por meio de tecnologias de visualização 3D, fornecimento de soluções baseadas em nuvem, compartilhamento de dados e outras ferramentas de colaboração virtual. O autor ainda sugere que a colaboração entre a rede de parceiros de negócios permitirá gerar inovação em um ambiente de desenvolvimento integrado. Isso reduz os riscos relacionados à descentralização das atividades de P+D, e conseqüentemente, a adoção das tecnologias avançadas de produção/manufatura (facilitando a automação dos processos) representa uma oportunidade para as subsidiárias demonstrarem suas competências tecnológicas e de P+D.

Segundo Szalavetz (2019) a implantação do conceito I4.0 em subsidiárias contribui para:

- (i) aumento da capacidade de produção: a empresa precisa fazer apenas pequenas melhorias de eficiência em seu sistema de produção, de modo a se aproximar da fronteira tecnológica necessária para produzir em níveis mundiais de eficiência ou produtividade, porém sem deixar de gerenciar o conhecimento necessário para tal (RADOSEVIC e YORUK, 2016, 2018);

- (ii) aumento da capacidade tecnológica: possibilidade de desenvolver produtos e processos de forma mais significativa do que as atividades de produção de rotina exigiriam. A capacidade tecnológica se manifesta em atividades de engenharia relativamente avançadas que adaptam e melhoram processos ou integram novos componentes ao sistema de produção (RADOSEVIC e YORUK, 2016), e
- (iii) aumento da capacidade de inovação: capacidade da empresa para criar novas tecnologias, projetar novas funcionalidades de produtos e processos e/ou desenvolver ideias patenteáveis (BELL e FIGUEIREDO, 2012).

Mahdiraji *et al.* (2020) aplicaram uma combinação de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM) para identificar as principais estratégias para a implantação do conceito Indústria 4.0, envolvendo 20 especialistas com excelente histórico na indústria automotiva e indústria de autopeças do Irã (no mínimo oito anos). Os atributos medidos foram Liderança, Cliente, Produto, Operação, Cultura, Equipe Técnica, Tecnologias, Organização e Qualidade. Os autores concluíram que o atributo mais importante é a Tecnologia (possuir TIC modernas, usar dispositivos móveis e comunicações máquina-a-máquina, etc.), seguido por Qualidade (cumprimento da caracterização e requisitos da indústria 4.0, confiabilidade e sustentabilidade do produto, pontualidade na entrega, satisfação do cliente, etc.) e Operações (segmentação de processos, modelagem e simulação, colaboração interdepartamental, etc.), e o menos importante, a Cultura (compartilhamento do conhecimento, inovação e cooperação na empresa, o valor da tecnologia da informação e comunicação na empresa, etc.). Das estratégias a priorizar sugerem, por nível de prioridade do maior ao menor: estratégias para o desenvolvimento de novos modelos de negócios; melhoria dos sistemas de informação e, gestão de recursos humanos. Apesar da relevância da pesquisa, o escopo não abrange UENs das companhias estudadas.

Stawiarska *et al.* (2021) propuseram um modelo para avaliar o nível de maturidade da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 em seis áreas funcionais de gestão (gestão de produção e logística, qualidade, recursos

humanos, responsabilidade socioambiental e inovação de produtos) de empresas automotivas, com base no conceito de Cadeia de Valor, de Porter. A metodologia implicou a: 1) Determinação do escopo da avaliação da maturidade da empresa: atividades que compõem da cadeia de valor; 2) Determinação das dimensões da avaliação da maturidade da empresa: critérios que caracterizam um determinado nível de avaliação de maturidade. O modelo assume cinco níveis de maturidade com base no modelo de maturidade proposto por Huber (2016). A pesquisa tem um caráter exploratório, em que os autores queriam reconhecer o fenômeno da transformação digital entre as empresas polonesas da indústria automotiva. Segundo os autores, a pesquisa será um material de partida para novas pesquisas nesta área.

Veile *et al.* (2020) propuseram uma estrutura conceitual que inclui recomendações para a implementação efetiva da Indústria 4.0, fornecendo aos gerentes diretrizes objetivas neste contexto. A pesquisa foi empírica qualitativa por meio de entrevistas com especialistas, e analisadas indutivamente. No total, foram entrevistados 13 gerentes de empresas de manufatura alemãs com experiência na Indústria 4.0, de diferentes setores e tamanhos de empresas. A amostra compreendeu seis empresas do setor de engenharia elétrica, cinco da área de engenharia de máquinas e instalações e duas da indústria automotiva. Esses setores da indústria têm papéis de liderança na implementação da Indústria 4.0 e contribuem significativamente para a economia alemã. Como parte dos resultados, os autores propuseram seis principais recomendações para a implantação do conceito I4.0, sumarizadas no Quadro 7.

QUADRO 7. RECOMENDAÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA GERENCIAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

Recomendação	Estratégia para gerenciamento da implantação
1. Aperfeiçoamento do Capital Humano	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento sobre as TIC e interdisciplinar, que deve ser transmitido, por meio de treinamentos, workshops e programas de educação continuada. - Além dos métodos tradicionais de treinamento, a ênfase deve ser no <i>e-learning</i> e no aprendizado baseado em cenários. - Cooperação entre Indústria e Academia para se envolverem no desenvolvimento e <i>design</i> de programas educacionais adaptados às necessidades específicas de qualificação da Indústria 4.0.

2. Compartilhamento de Conhecimento e Experiências	- O conhecimento relevante da Indústria 4.0 deve ser desenvolvido utilizando resultados de pesquisas, experiências e recomendações de associações de filiais e experiências internas. O compartilhamento de conhecimento com instituições de pesquisa deve ser um processo recíproco.
3. Gerenciamento da Mudança Organizacional	<ul style="list-style-type: none"> - A estrutura organizacional deve ser caracterizada por uma hierarquia plana e tomada de decisão descentralizada para promover agilidade. - Necessário estruturar unidades de negócios para colocá-las em um ambiente empreendedor. - Devem ser formadas equipes de projetos interdisciplinares, compostas por desenvolvedores de software, engenheiros e especialistas das áreas de vendas e desenvolvimento de negócios. - A gestão dos projetos, os modelos de tempo e trabalho e a remuneração devem estimular a criatividade, a resolução de problemas e a tomada de decisões.
4. Comunicação e Cultura Organizacional	<ul style="list-style-type: none"> - A cultura corporativa e a forma como a comunicação é configurada devem suportar a Indústria 4.0 sem restrições. - A cultura corporativa deve ser caracterizada pela flexibilidade, abertura, vontade de aprender e mentalidade empreendedora. - As mudanças da cultura corporativa devem ser iniciadas e exemplificadas pela alta administração em um processo incremental e de cima para baixo. - A comunicação deve ser aberta para que os funcionários possam se comunicar e discutir livremente entre os níveis hierárquicos e as fronteiras organizacionais.
5. Cooperação e Colaboração entre os atores da Cadeia de Valor	<ul style="list-style-type: none"> - Otimizar os processos em toda a cadeia de valor por meio da troca de dados de clientes para fornecedores e vice-versa. - Estabelecimento de cooperação temporária, redes, alianças estratégicas ou “<i>coopetition</i>” podem ser adequadas. - Desenvolvimento novos modelos de negócios com base em novas propostas de valor e intensificar os relacionamentos com os clientes.
6. Planejamento, Desenvolvimento e Implementação de Soluções Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - Projetos piloto permitem construir conhecimento e, posteriormente, permitem a transferência da Indústria 4.0 para outros contextos e cenários de aplicação. - Tanto as abordagens sistemáticas quanto os métodos de tentativa e erro ajudam a desenvolver soluções orientadas à implantação. - As novas tecnologias da Indústria 4.0 devem ser integradas às máquinas e sistemas de produção existentes. Nesse contexto, os elementos-chave são a integração de hardware e software adicionais, bem como o gerenciamento de interfaces de dados para adaptar adequadamente os equipamentos de fabricação estabelecidos e conectar digitalmente todos os processos e sistemas. Essa interconexão vertical deve seguir uma abordagem incremental de baixo para cima. Portanto, padrões de interface uniformes, tipos de dados e protocolos de comunicação são necessários. - A segurança dos dados e a segurança do trabalho devem ser garantidas na implementação da Indústria 4.0.

Pela literatura anteriormente analisada, em resumo, verifica-se que as 16 abordagens de implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs de multinacionais da indústria automotiva se encontra ainda muito limitado. O contexto industrial fornece apenas exemplos de aplicação de diretrizes e recomendações genéricas, que devem ser adotadas considerando a especificidade de cada organização.

A literatura resume o entendimento que existem apenas recomendações para gerenciar a implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs de multinacionais do ramo automotivo com base no compartilhamento de experiência e lições aprendidas. As recomendações e estratégias, incluem de forma muito genérica:

- a necessidade de descentralização dos negócios em UENs para maximizar lucros;
- a interdependência e a colaboração para compartilhamento de experiências e conhecimentos entre as unidades de negócios;
- a automação e otimização dos processos de negócios;
- agilidade (métodos ágeis para gestão de processo e projetos) para digitalização dos negócios;
- capacitação do capital humano e,
- comprometimento da alta gerência.

2.5 DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)

O *Design Science Research* (DSR) agrupa técnicas analíticas que viabilizam o desenvolvimento de pesquisas na área da engenharia (HEVNER *et al.*, 2004). Çağdaş e Stubkjær (2011), Lacerda *et al.* (2013) e Goecks *et al.* (2021), coincidem em que a aplicação da metodologia DSR permite estruturar, projetar e validar “artefatos” novos, ou aperfeiçoar os que já existem, com rigor técnico científico comprovado.

Artefatos, nesta área das ciências técnicas, conforme March e Smith (1995) estão descritos no Quadro 8.

QUADRO 8. ARTEFATOS E DESCRIÇÃO

Artefatos	Descrição
Constructos ou conceitos	Abrangem o vocabulário e conceituação de um domínio ou área de conhecimento. Por meio destes se pode descrever um ou vários problemas dentro de um domínio específico e suas possíveis soluções. Agrupam a terminologia que se usa para descrever uma atividade a ser realizada.
Modelos	Conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos/conceitos. Os modelos podem representar situações específicas a problemas específicos; podem descrever eventos ou ocorrências; e representam uma configuração real e estruturada de um determinado evento ou atividade.
Métodos	Conjunto de passos (algoritmos, estratégias, recomendações, orientações) usado para realizar uma atividade/tarefa. Baseiam-se nos constructos ou conceitos predefinidos (linguagem) e na representação (modelo) de um espaço de solução a um problema. Podem estar vinculados a um modelo, sendo as etapas do método elementos que podem utilizar partes do modelo como uma entrada para o desenvolvimento de determinada atividade. Os métodos se usam para explanar um modelo ou para dar resolução a um problema específico, e são concepções típicas das pesquisas em <i>Design Science</i>
Instanciações	São a concretização de um artefato em seu ambiente de aplicação. As instanciações operacionalizam (validação após aplicação) constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações (ex.: estudo de caso) demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam.

Hevner (2007), explica o processo de desenvolvimento do DSR com base em três ciclos fundamentais: Relevância, Rigor e Projeto. Na Figura 2 são representados estes ciclos.

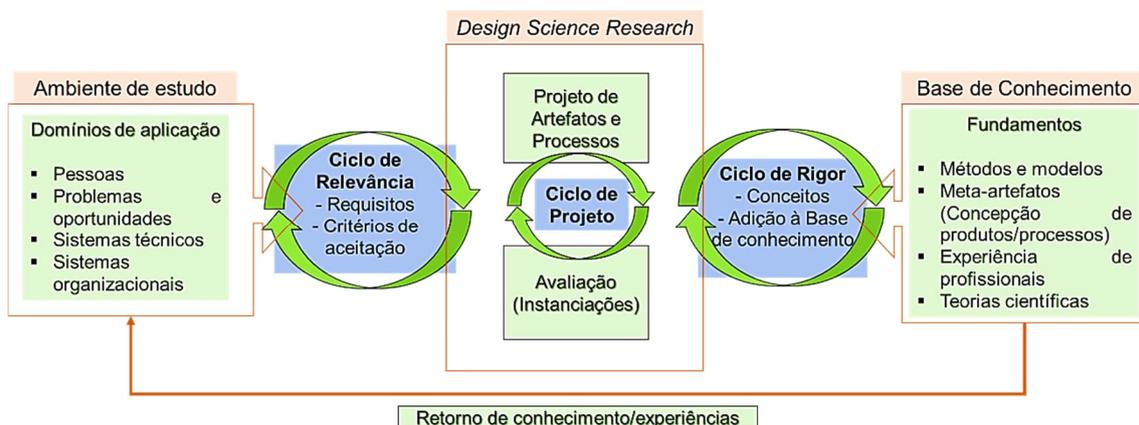


FIGURA 2. CICLOS DO DESIGN SCIENCE RESEARCH. TRADUZIDA DE HEVNER (2007)

O primeiro ciclo é nomeado Ciclo de Relevância. Neste ciclo se definem as entradas, oportunidades e/ou problemas de pesquisa nos domínios de

aplicação no ambiente de estudo, tais como: pessoas (funções, capacidades, características etc.), sistemas organizacionais (estratégias, estruturas, cultura, processos, etc.) e/ou sistemas técnicos (infraestrutura, aplicações, literatura, etc.). Após definir o problema de pesquisa, se estabelecem os requisitos de pesquisa e os critérios de aceitação do artefato, como entradas para o Ciclo de Projeto.

O Ciclo de Rigor fornece conhecimento prévio, como entrada, ao Ciclo de Projeto para garantir sua inovação. O Ciclo de Rigor inicia a partir da análise de uma base de conhecimento ampla que fundamente a pesquisa. Esta base abrange as teorias científicas, os modelos de engenharia, experiência de profissionais no domínio de aplicação e os artefatos existentes (HEVNER, 2007). Este ciclo visa ao encontro de os fundamentos adequados para idealizar o projeto do artefato que se quer desenvolver. Analisa-se a aderência aos requisitos da pesquisa (neste caso, método), definidos no Ciclo de Relevância, se compara aos artefatos existentes ou ainda projetos análogos já desenvolvidos, assim como os conceitos e teorias científicas (IVARI, 2007).

O Ciclo de Projeto é o núcleo do DSR e o terceiro ciclo a se desenvolver. O Ciclo de Projeto depende dos anteriores (Relevância e Rigor) pois a entrada dele são as saídas dos outros dois. Este ciclo contribui para gerar uma alternativa de solução ao problema definido e avaliar essa alternativa com relação aos requisitos previstos até que um artefato satisfatório seja estruturado (SIMON, 1996). Há certa independência deste ciclo na execução da pesquisa dado que o projeto dos artefatos e sua avaliação (instanciações) é um processo iterativo que visa alcançar o melhor resultado e as experimentações podem ser executadas atendendo ao conhecimento e teoria previamente estabelecidos.

Manson (2006), propõe uma metodologia composta por cinco etapas, sendo, conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e finalização, para executar o Ciclo de Projeto de forma sistematizada (Figura 3).

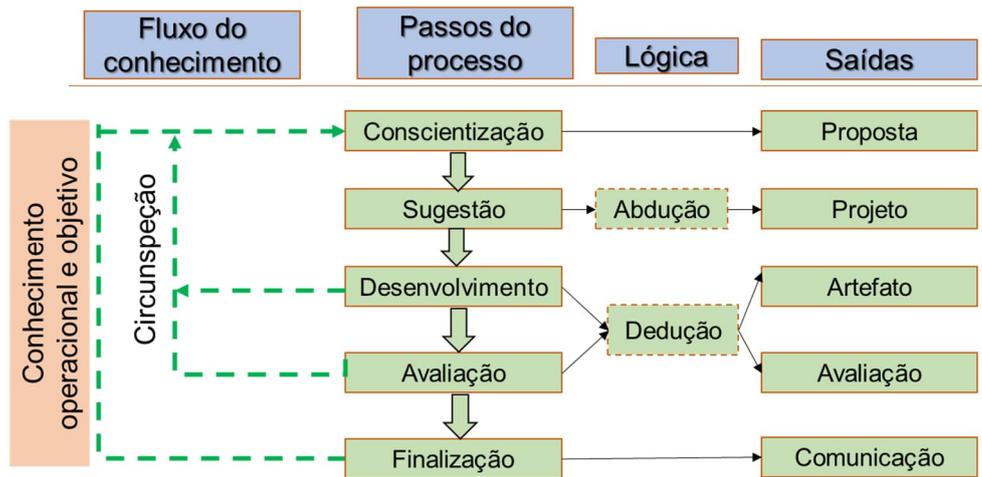


FIGURA 3. METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DO CICLO DE PROJETO. TRADUZIDA DE MANSON (2006)

No Quadro 9 se apresenta a descrição de cada etapa da metodologia proposta por Manson (2006). Hevner (2007) sugere que uma solução seja considerada satisfatória quando houver um consenso entre os expertos envolvidos na solução do problema, e quando o artefato desenvolvido atenda os critérios de aceitação pré-estabelecidos.

QUADRO 9. ETAPAS DA METODOLOGIA DSR

Passos	Descrição
1. Conscientização	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo: Conscientização do problema segundo a origem. • Saída: Definição do problema de pesquisa, requisitos e escopo de estudo.
2. Sugestão	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo: Apresentar ou formular um ou mais projetos de artefatos experimentais (Abdução). • Saída: Definição de opções de artefatos que expliquem ou resolvam o problema.
3. Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo: Construir um ou mais artefatos. Se inicia o processo de dedução a partir das teorias existentes, as experiências, para estruturar de forma funcional o(s) artefato(s). • Saída: Apresentar o(s) artefato(s) construído(s), exemplo: algoritmos, <i>softwares</i>, sistemas, métodos, modelos, protótipos, entre outros.
4. Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo: Avaliar o(s) artefato(s) com relação aos critérios para o que foi projetado. Nesta fase se encerra o processo de dedução. • Saída: Artefato que atende de modo amplo as expectativas de solução ao problema de pesquisa definido. Em caso de que o artefato não atenda aos critérios de aceitação há a necessidade de retornar à etapa de conscientização para ajustes na compreensão do problema de pesquisa. Esse fluxo é chamado de circunspeção.
5. Finalização	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo: Consolidar e registrar o conhecimento adquirido, o processo de criação e o projeto do artefato, seus mecanismos de avaliação e os resultados obtidos. • Saída: Conhecimento adquirido.

MANSON (2006)

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo se apresenta a classificação da pesquisa e a abordagem metodológica utilizada para o desenvolvimento desta tese.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa se dedica a resolver um problema da Engenharia de Produção, sendo assim se classifica como descrito a seguir, conforme Prodanov e Freitas (2013):

- Segundo a natureza é aplicada. Pretende-se com ela a geração de conhecimentos teóricos para aplicação prática na solução de um problema específico e real na área e campo de estudo abordado;
- Pelo objetivo definido é exploratória. A finalidade desta pesquisa é sintetizar e disseminar informações sobre o tema tratado, possibilitando uma possível contribuição na sua consolidação e delineamento, assim como com o estabelecimento de enfoques novos para o assunto estudado;
- Segundo a abordagem é qualitativa por meio desta pesquisa pretende-se medir e estabelecer a relação entre os atributos e as variáveis estudadas para garantir a precisão dos resultados da pesquisa. Empregam-se recursos e técnicas dedutivas e de inferência para complementar o processo de análise e interpretação dos resultados.

Os procedimentos técnicos empregados foram a (i) Revisão Narrativa da Literatura (RNL), para apresentar e fornecer visões gerais do conhecimento sobre o tópico estudado (BAUMEISTER e LEARY, 1997); (ii) a Revisão Sistemática da Literatura teórico-conceitual (RSL) (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007) para a análise da literatura do tema escopo desta tese, e (iii) aplicação do *Design Science Research* (DSR) (LACERDA *et al.*, 2013) para desenvolver o método proposto para gerenciar o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em UEN em multinacionais do ramo automotivo.

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa desenvolveu-se em duas etapas conforme os procedimentos técnicos definidos na seção 3.1. Na primeira etapa foram realizadas três RNLs e uma RSL, para levantar o estado da arte sobre o tema, identificar e confirmar a lacuna da pesquisa e com isso delimitar uma abordagem para sua solução.

Na segunda etapa foi adotada a metodologia DSR para desenvolvimento e estruturação do Método para gerenciar o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em UEN em multinacionais do ramo automotivo. Por ser um procedimento de pesquisa já comprovado que auxilia na projeção e construção de métodos, possibilitou atender ao objetivo geral definido nesta tese.

Na Figura 4 se apresenta a estrutura do desenvolvimento desta pesquisa conforme as etapas e procedimentos antes mencionados.

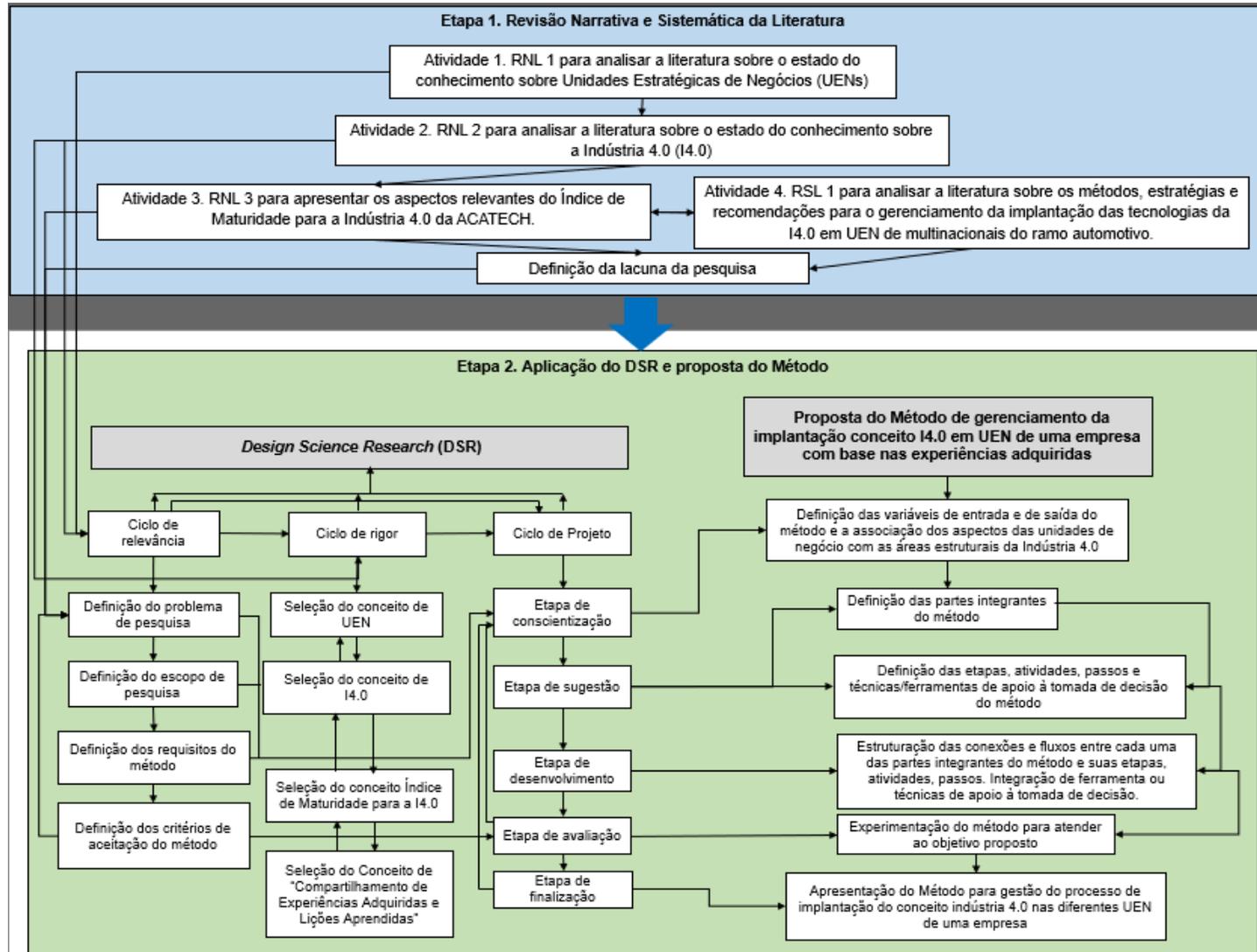


FIGURA 4. ABORDAGEM METODOLÓGICA DA PESQUISA

3.2.1 ETAPA 1. ANÁLISE DA LITERATURA (RNLs E RSL)

Esta etapa teve como finalidade, identificar e confirmar a lacuna de pesquisa, definir o problema de pesquisa a ser resolvido no presente trabalho, e para isso como já mencionado, foram feitas três RNLs e uma RSL.

A primeira RNL se realizou com o intuito de abordar o estado do conhecimento sobre os principais aspectos que caracterizam as unidades estratégicas de negócios (UEN). A segunda RNL se desenvolveu pelo interesse de discorrer sobre os princípios fundamentais da Indústria 4.0 (I4.0). A terceira RNL discorreu sobre os elementos principais para a determinação do Índice de Maturidade para a Indústria 4.0 da Acatech. Nas três RNLs se buscou identificar conceitos, definições, características específicas, assim como outros elementos norteadores que articulam diferentes pesquisadores por meio de diversas fontes. Nestas RNLs não se utilizaram critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura. Este procedimento foi adotado porque neste primeiro estágio a temática era mais abrangente. Buscava-se definir uma questão de pesquisa específica e, portanto, não foi definido um protocolo para sua confecção.

Como resultado, na primeira RNL se extraíram 56 artigos, na segunda RNL 64 artigos e na terceira RNL 10 artigos. Os idiomas identificados foram o inglês, português e espanhol, e não se levou em consideração o ano de publicação, embora se tenha optado por agrupar trabalhos recentes sem desconsiderar trabalhos clássicos sobre o tem pesquisado. Outros trabalhos em idioma alemão foram identificados. Por meio da literatura levantada nestas revisões foi possível estruturar parte da Introdução, e do Capítulo 2, as seções 2.1, 2.2 e 2.3.

Logo, para aprofundar na análise da literatura relacionada ao processo de gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de multinacionais do ramo automotivo, para confirmar a lacuna e identificar o problema que norteou este trabalho, foi desenvolvida uma RSL. Para realizar esta RSL se definiu uma questão de pesquisa específica, uma estratégia de busca e o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão dos artigos. O método adotado para a RSL é apresentado na Figura 5, e descrito em seguida.

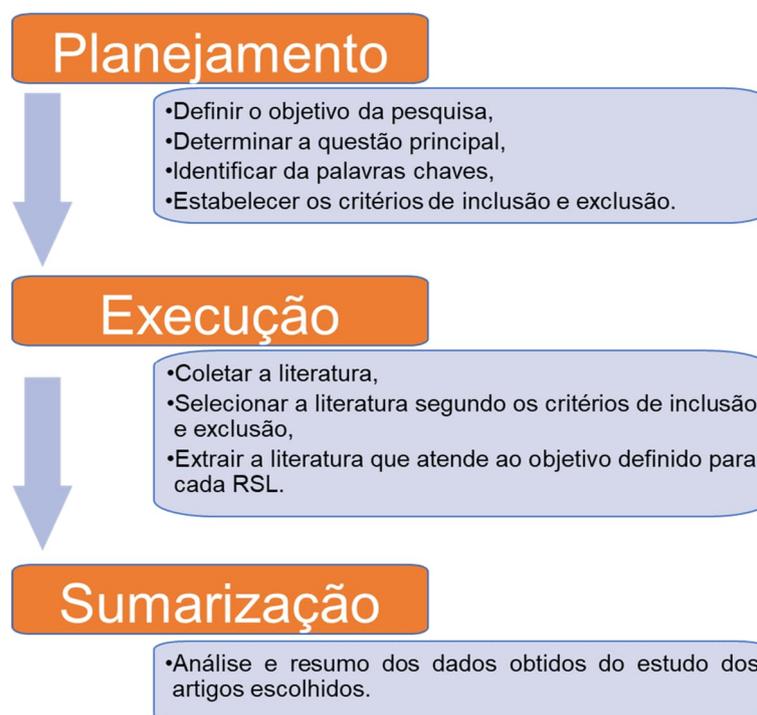


FIGURA 5. MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DA RSL. ADAPTADO DE KITCHENHAM E CHARTERS (2007).

- **Planejamento:** nesta primeira etapa foram planejadas as análises a serem feitas e com isto foi definido o protocolo de pesquisa para cada uma das análises, como mostrado no Quadro 10.

- **Execução:** Para executar as análises planejadas foram coletados artigos obtidos em duas bases de dados definidas no protocolo (Quadro 10). Estes artigos se analisaram seguindo os critérios de inclusão e exclusão, definidos anteriormente na etapa de planejamento (Quadro 10). Vale destacar que foram extraídos artigos de interesse por meio da técnica *snowballing*.

- **Sumarização:** Os artigos que restaram da análise da etapa de Execução foram analisados (conteúdo) para verificar a aderência ao objetivo de pesquisa da RSL. Estas análises permitiram o desenvolvimento do referencial teórico apresentado no Capítulo 2 (seção 2.4), e subsidiaram a construção de parte da Introdução.

A descrição detalhada e os respectivos resultados de cada etapa do desenvolvimento da RSL (Quadro 10) se apresentam nas subseções 3.2.1.1.

QUADRO 10. DESCRIÇÃO E RESULTADO DAS ETAPAS APLICADAS NA RSL

Etapas		RSL: Gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas		
Planejamento	Objetivo	Examinar a literatura científica relacionada a métodos, estratégias ou recomendações para gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas.		
	Questão de pesquisa	Como é gerenciado o processo de implementação das tecnologias da I4.0 em UENs de Multinacionais do ramo Automotivo?		
	Palavras-chave	<i>Industry 4.0, Implementation Process, Strategic Business Unit, Experience Sharing, Lessons Learned, Management Method, Models, Strategy, Recommendation</i>		
	Definição da <i>string</i> de busca	"Industry 4.0" AND "Implementation Process" AND "Strategic Business Unit" OR "Experience Sharing" "Lessons Learned" AND "Automotive" AND "Management Method"		
	Bases de dados	<i>Springer Link e Scopus</i>		
	Critérios de inclusão (I) e exclusão (E)	(I ₁) Artigos que contenham no título, resumo ou palavras chaves as <i>strings</i> de busca; (I ₂) Artigos de periódicos; (I ₃) Artigos do período: 2011-2022; (I ₄) Artigos que estejam nos idiomas: inglês, espanhol ou português (mas não limitado); (E ₁) Artigos que não contenham no título, resumo ou palavras chaves as <i>strings</i> de busca; (E ₂) Artigos duplicados; (E ₃) Artigos fora do período 2011-2022; (E ₄) Artigos que não estejam nos idiomas: inglês, espanhol ou português; (E ₅) Artigos sem acesso aberto.		
Execução	Total de artigos obtidos	52		
	Total de artigos excluídos	36	Seleção	52 – (E ₁ = 12; E ₂ = 9; E ₃ = 6; E ₄ = 0; E ₅ = 9) = 16
			Extração	Aderência ao objetivo = 16
	Total de artigos analisados	16		
Sumarização	Análise da literatura referente aos modelos para gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas.			

3.2.1.1 ANÁLISE DA LITERATURA RELACIONADA AO GERENCIAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO I4.0 EM UENS DE UMA EMPRESA COM BASE NAS EXPERIÊNCIAS ADQUIRIDAS

Para atender ao objetivo proposto nesta tese, surgiu a necessidade de delimitar a pesquisa nos métodos, estratégias ou recomendações existentes na literatura para gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas. Procurando atender este diretriz foi realizada a RSL 1.

- **Planejamento:** Para a adequada análise e identificação de como se dá o gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas foi definido como objetivo da RSL 1: Examinar a literatura científica relacionada a métodos, estratégias ou recomendações para gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas. As palavras-chave definidas foram: *Industry 4.0*, *Implementation Process*, *Strategic Business Unit*, *Experience Sharing*, *Lessons Learned* e *Management Method*. Para a definição da *string* de busca as palavras-chave foram usadas apenas no inglês, sendo que o acervo literário encontra-se majoritariamente neste idioma, no entanto, a busca retornou artigos escritos em outros idiomas que continham ao menos o termo *Industry 4.0*. Com isto foi definida a *string* de busca: "Industry 4.0" AND "Implementation Process" AND "Strategic Business Unit" OR "Experience Sharing" "Lessons Learned" AND "Management Method". O asterisco (*) nos termos *Management Method* se inseriu para que fossem retornados na busca todas as possíveis terminologias, por exemplo *strategies*, *recommendations*, *methods*. As bases de dados utilizadas foram a *Springer Link* e *Scopus*. Essas bases foram escolhidas por conterem artigos relevantes e de acesso aberto do tema de estudo. Se definiram em total 9 critérios para seleção e exclusão de artigos, sendo 4 critérios de inclusão (I₁, I₂, I₃ e I₄) e 5 de exclusão (E₁, E₂, E₃, E₄, E₅).

- **Execução:** Na etapa de execução foram coletados os artigos obtidos nas duas bases de dados definidas. Foram obtidos 52 documentos. No total se excluíram 36 artigos seguindo os critérios de exclusão definidos no Quadro 9. Se agruparam para análise de conteúdo 16 artigos. A quantidade de

artigos excluídos distribuí-se pelos 5 critérios de exclusão definidos no Quadro 9 para a RSL.

- **Sumarização:** A análise de conteúdo dos artigos, correspondente a esta etapa está apresentada no Capítulo 2, na seção 2.4.

3.2.2 ETAPA 2. APLICAÇÃO DO DSR PARA PROPOSTA DO MÉTODO

Esta etapa trata do desenvolvimento do Método de gerenciamento da implantação do conceito da I4.0 em UENs de uma empresa com base no compartilhamento de experiências e lições aprendidas. Para isto, utilizou-se a abordagem DSR, descrita conceitualmente na seção 2.5 do Capítulo 2, como resultado da revisão bibliográfica realizada. Os resultados da aplicação desta abordagem (que é a etapa 2 do método de pesquisa adotado) são apresentados no Capítulo 4. A seguir se descreve a adaptação do DSR aplicado ao escopo desta pesquisa.

3.2.2.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)

O *Design Science Research* foi adotado como procedimento de pesquisa por ser indicado pela literatura como adequado para o desenvolvimento de métodos (MARCH e SMITH, 1995). O procedimento de aplicação do DSR foi baseado na proposta do Hevner (2007), conforme seus três ciclos principais: de Relevância, de Rigor, de Projeto. Cada ciclo e suas etapas principais foram adaptados ao escopo desta pesquisa para atender ao objetivo geral proposto.

- **CICLO DE RELEVÂNCIA**

- O intuito do Ciclo de Relevância é detalhar e fundamentar as necessidades de propor um Método de gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas lições aprendidas e experiências adquiridas, por meio das análises da literatura e na lacuna de pesquisa encontrada, além dos requisitos e critérios de aceitação do método para compartilhar experiências adquiridas, conforme a Figura 4.

- **CICLO DE RIGOR**

O Ciclo de Rigor se retroalimenta do Ciclo de Relevância por meio da utilização das definições selecionadas na análise da literatura assim como a identificação dos conceitos e teorias que se adotam como referência e que fundamentam o desenvolvimento do Método de gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UENs de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas, conforme Figura 4.

- **CICLO DE PROJETO**

Para o desenvolvimento do Ciclo de Projeto são utilizadas as informações geradas nos ciclos anteriores, de relevância e rigor. A execução deste ciclo é feita em 5 etapas, definidas por Manson (2006): conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e finalização, visando construir e avaliar o método proposto, conforme Figura 4. A seguir, se descreve cada etapa.

- (i) **Conscientização:** nesta etapa procura-se ter um amplo entendimento do método que se propõe. Para isso, são analisadas as necessidades definidas no Ciclo de Relevância e, para atender essas necessidades, são definidas as variáveis de saída e entrada, e a associação dos aspectos das unidades de negócio com as áreas estruturais da Indústria 4.0.
- (ii) **Sugestão:** nesta etapa se definem as partes integrantes do método e suas especificidades. Para isso, devem ser definidas as variáveis, critérios ou atributos das partes integrantes do método, assim como suas escalas de medição. Segundo essas informações, estrutura-se o plano para coletar os dados das variáveis de entrada. Também são selecionadas as ferramentas para o processamento das informações que possibilitem relacionar as variáveis de saídas com as de entradas. Logo se apresenta, o plano para coletar os dados e a ferramenta para o processamento dos dados, para serem avaliados pelos fornecedores de informação.
- (iii) **Desenvolvimento:** nesta etapa se projeta o método a partir da combinação das partes definidas na etapa anterior e incluindo as técnicas e ferramentas que permitem sua aplicação, assim como o cálculo das variáveis de saída, usando o roteiro de coleta de dados e a ferramenta do processamento das informações.

- (iv) Avaliação: nesta etapa avalia-se o método pela consolidação do nível de atendimento aos requisitos e critérios de aceitação, definidos no Ciclo de Relevância.
- (v) Finalização: nesta etapa, a modo de conclusão, é apresentado o Método de gerenciamento da implantação do conceito I4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas.

4 MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UENS DE UMA EMPRESA

Este capítulo descreve a execução das etapas do *Design Science Research* (DSR) (Figura 4), mostra as diretrizes para adaptação e aplicação da abordagem DSR, desdobradas na Figura 6 (a partir da Figura 4), cujos resultados sustentaram a construção, avaliação e apresentação do método que é o objetivo geral desta tese.

4.1 CICLO DE RELEVÂNCIA

O primeiro ciclo do DSR é o Ciclo de Relevância. Nele são definidos o problema e o escopo da pesquisa, bem como os requisitos do método que fornecem a solução ao problema identificado.

4.1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

O Capítulo 1 (Introdução) desta pesquisa identifica a relevância e a lacuna do presente estudo. Assim, a partir das considerações apresentadas, o problema de pesquisa foi definido como: Como estruturar um método para gerenciar o processo de implantação do conceito indústria 4.0 em diversas UENs de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas?

4.1.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA

Como também apresentado no Capítulo 1 desta tese, o escopo da pesquisa se estende à gestão do processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em UENs de uma empresa, tomando por base o compartilhamento das experiências adquiridas e lições aprendidas pelas unidades que obtiveram sucesso na implantação. Um dos grandes diferenciais do modelo de UEN é o elevado grau de colaboração entre as UEN e para se manterem competitivas, também precisam buscar e implantar tecnologias e estratégias inovadoras em suas operações, compartilhar experiências adquiridas em tecnologias envolve não apenas investir em tecnologias, mas também em estratégias que facilitem o

compartilhamento de lições aprendidas para uma implementação mais assertiva (SILVA, 2020).

O escopo do trabalho está em desenvolver um método para gerenciar o processo de implantação do conceito indústria 4.0 em diversas UEN com a contribuição de se utilizar as experiências adquiridas nos casos de sucesso de implantação e no compartilhamento de informações.

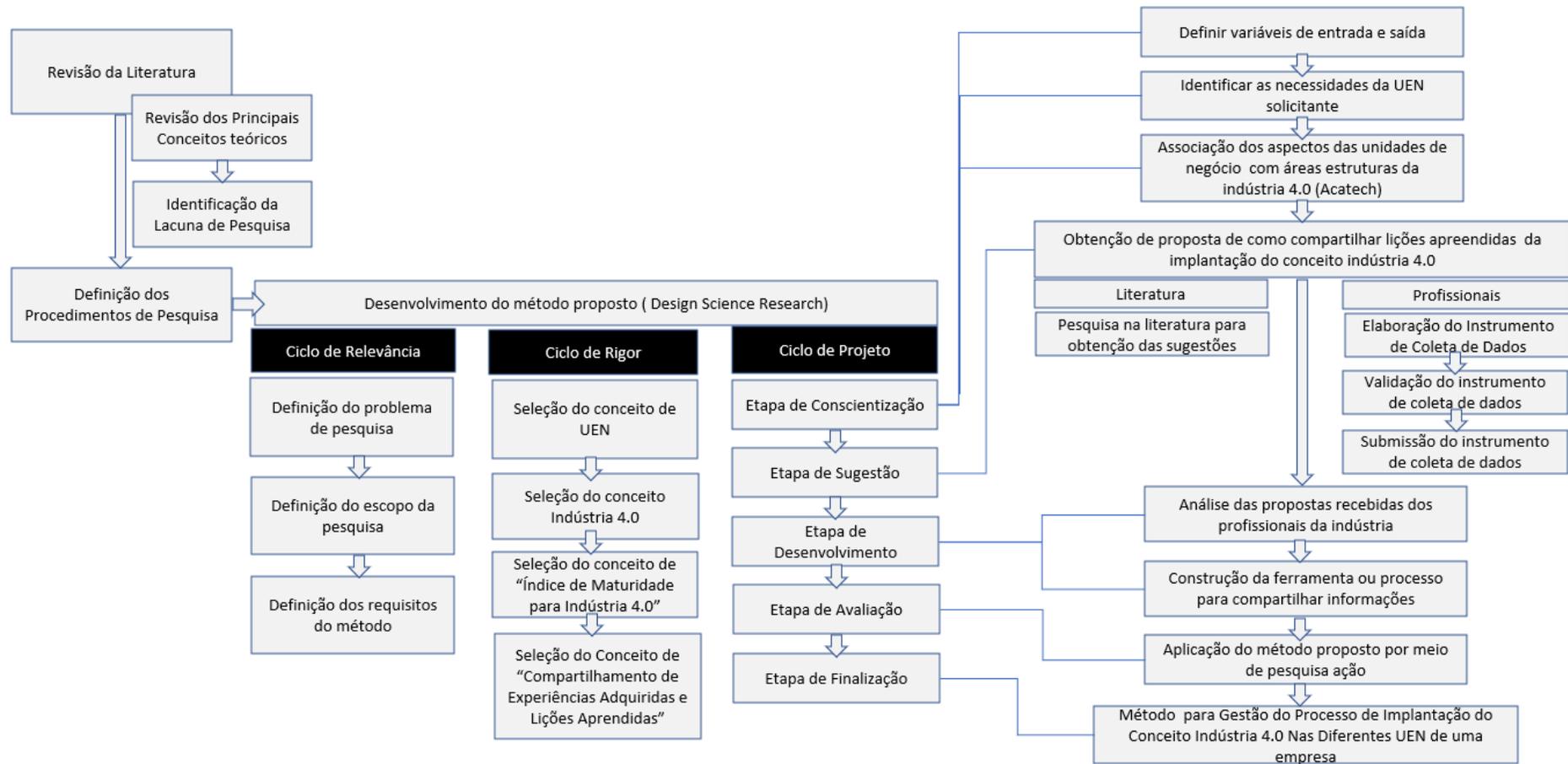


FIGURA 6. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO

4.1.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO MÉTODO

Pesquisas indicam que a do conceito indústria 4.0 é um processo complexo e muitas empresas, em diferentes países, estão enfrentando problemas devido a diversidade de tecnologias (DALENOGARE *et al.*, 2018).

Schumacher *et al.* (2016) sugerem que o primeiro passo para implantar a Indústria 4.0 em uma empresa é realizar a avaliação da maturidade da empresa com relação à quarta revolução industrial.

Os requisitos definidos estão baseados na lacuna discutida no Capítulo 1 (Introdução), pautada pelas considerações a seguir:

- Um dos grandes diferenciais do modelo de unidades estratégicas de negócio (UEN) é o elevado grau de colaboração entre as Unidades, orientação que pode reduzir custos e maximizar as chances de exequibilidade de uma nova área, já que as demais parceiras serviriam como uma espécie de “primeiros clientes”, enquanto a administração corporativa ofereceria uma estrutura de incubadora ao projeto (SILVA, 2020).

- A aplicação do conceito Indústria 4.0 é fundamental para a otimização de um negócio global, baseado em unidades estratégicas de negócio, e tem capacidade de fornecer um serviço tecnológico similar globalmente significativo. Além disso, a oportunidade de desenvolver soluções, padronizar e garantir uma “versão única de dados” globalmente contribui para uma solução abrangente da Indústria 4.0 (TELUKDARIE *et al.*, 2018).

- O conhecimento relevante da Indústria 4.0 deve ser desenvolvido utilizando resultados de experiências internas, pesquisas, experiências e recomendações de associações ligadas ao segmento industrial da empresa. Compartilhar conhecimento com, por exemplo, instituições de pesquisa, deve ser um processo contínuo. Projetos piloto e casos de uso pavimentam o caminho para construir conhecimento centralmente e, posteriormente, permitem a transferência do conceito Indústria 4.0 para outros contextos e cenários de aplicação. Tanto as abordagens sistemáticas quanto os métodos de tentativa e erro ajudam a desenvolver soluções orientadas a objetivos (VEILE *et al.*, 2018)

Com base nessas considerações foram adotados os seguintes grupos conceituais-teóricos: Unidades Estratégicas de Negócio, Indústria 4.0 e Índice de Maturidade (apresentados no segundo ciclo, o de Rigor).

Fundamentado por esses grupos conceituais-teóricos, estabelecem-se os requisitos do método proposto neste trabalho:

1. Identificar os aspectos a serem implantados na UEN solicitante. Os aspectos são definidos como: áreas, recursos, tecnologias, estrutura organizacional, ações e atividades identificadas nas UEN que podem ser avaliadas e utilizadas como referência entre elas para implantação do conceito Indústria 4.0.
2. Associação dos aspectos das UENs com as áreas estruturais da Indústria 4.0 (referência da Acatech). A associação dos aspectos das UENs com a Acatech torna-se importante para um melhor entendimento do conceito I 4.0 durante a implementação dos aspectos, o modelo da Acatech é o mais utilizado e difundido na indústria;
3. Identificar a UEN mais bem sucedida na implantação de cada aspecto;
4. Identificar o procedimento utilizado (experiência/acertos) pela UEN melhor sucedida em cada aspecto;
5. Estabelecer um plano de ações para implantação do/s aspecto/s na UEN solicitante com base nas lições aprendidas/experiência adquirida pela UEN mais bem sucedida.

Estes requisitos são o alicerce do método. Cada ciclo do DSR desenvolvido por meio de suas etapas e atividades, cada uma adaptada ao estudo realizado nesta pesquisa, fornece um resultado que implica uma parte do método que se está propondo. Cada resultado das etapas ou atividades do DSR envolve uma atividade de controle retroativa para verificação se os requisitos do método estão sendo atendidos. Ao comprovar positivamente este cumprimento, entende-se pela própria lógica de aplicação do DSR, que o método está sendo configurado corretamente e responde ao objetivo geral aqui proposto.

4.2 CICLO DE RIGOR

O segundo ciclo do DSR a ser executado é o Ciclo de Rigor. Neste ciclo a base de conhecimento é analisada, fundamentando toda a pesquisa, incluindo teorias científicas, experiência de profissionais, entre outras fontes. Neste ciclo são selecionadas as teorias e conceitos que são selecionados para sustentar a concepção do artefato (Método) e é verificado o atendimento aos requisitos pré-estabelecidos no Ciclo de Relevância (HEVNER, 2007).

4.2.1 SELEÇÃO DO CONCEITO DE “UNIDADE ESTRATÉGICA DE NEGÓCIO”

A partir da RNL 1 detalhada na Seção 2.1, foram identificados alguns conceitos de “Unidade Estratégicas de Negócio”. Para cumprir esta atividade do Ciclo de Rigor do DSR, o conceito de UEN adotado nesta tese é o apresentado pela GE como indicado por Buzzell e Gale (1991): UEN é uma divisão, linha de produtos ou outro centro de lucro de uma empresa, que é capaz de produzir e comercializar um conjunto bem definido de produtos ou serviços correlatos, que serve um grupo, grupos ou conjuntos de clientes claramente definidos, em uma razoavelmente bem delimitada área geográfica, que enfrenta ou compete com concorrentes específicos e bem identificados.

4.2.2 SELEÇÃO DO CONCEITO DE “INDÚSTRIA 4.0”

Por meio da RNL 2 apresentada na Seção 2.2 foram identificados alguns conceitos de “Indústria 4.0” (I4.0). Para cumprir esta atividade do Ciclo de Rigor do DSR, o conceito de I4.0 adotado nesta tese é: A Indústria 4.0 representa a tendência atual de tecnologias de automação na indústria manufatureira e inclui principalmente tecnologias habilitadoras, como sistemas físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem (HERMANN *et al.*, 2016; JASPERNEITE, 2012; KAGERMANN *et al.*, 2013; LASI *et al.*, 2014; LU, 2017a, 2017b).

4.2.3 SELEÇÃO DO CONCEITO DE “ÍNDICE DE MATURIDADE PARA A I4.0”

Por meio da RNL 3 apresentada na Seção 2.3 foram descritas as principais diretrizes e elementos a considerar para determinação do Índice de

Maturidade para a I4.0. Para cumprir esta atividade do Ciclo de Rigor do DSR, o conceito de Índice de Maturidade para a I4.0 adotado nesta tese é: Modelo baseado numa Estrutura de Produção e Gestão (Boos *et al.*, 2011), composta por quatro áreas estruturais (recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura) que permitem uma análise abrangente e estabelecem uma série de princípios orientadores e as capacidades necessárias a serem adquiridas para apoiar as áreas estruturais de uma empresa na implantação da Indústria 4.0 (SCHUH *et al.*, 2020).

4.2.4 SELEÇÃO DO CONCEITO DE “COMPARTILHAMENTO DE EXPERIÊNCIAS E LIÇÕES APRENDIDAS”

As lições aprendidas se desdobram do conhecimento obtido no processo de execução ou implantação dos aspectos em diferentes seus níveis. Aprende-se com experiências próprias com a melhoria no nível dos aspectos, bem como com a experiência de outros. Compartilhar lições aprendidas entre os membros da equipe evita que uma organização repita os mesmos erros e permite que ela aproveite as melhores práticas organizacionais. Abordagens inovadoras e boas práticas de trabalho podem ser compartilhadas com outros. As lições aprendidas podem ser usadas para melhorar os níveis futuros dos aspectos atuais.

Segundo o guia PMBoK (PMI, 2017), o processo de lições aprendidas inclui 5 etapas que foram adaptadas para neste estudo para coletar as lições aprendidas durante as entrevistas com as 26 UEN:

- 1) Identificar comentários e recomendações para implantação do conceito indústria 4.0 que podem adicionar valor para a UEN,
- 2) Documentar e compartilhar as experiências adquiridas e lições aprendidas com as diferentes UEN,
- 3) Analisar e organizar para aplicação dos resultados,
- 4) Armazenar as informações das experiências adquiridas e lições aprendidas,
- 5) Utilização das experiências adquiridas e lições aprendidas em implementações atuais.

4.3. CICLO DE PROJETO

O Ciclo de Projeto é o terceiro ciclo do DSR a ser executado e também o mais complexo. É suportado pelas definições dos ciclos de relevância e rigor e contempla cinco etapas que estão representadas na Figuras 4 e Figura 6. O propósito da execução deste ciclo é propor o Método para gestão do processo de implantação do conceito Indústria 4.0 nas diferentes UENs de uma empresa com base nas experiências adquiridas e lições aprendidas. O resultado deste ciclo, com definido anteriormente, também deve responder ao atendimento dos requisitos do método que se propõe (objetivo desta pesquisa).

4.3.1 ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO

A etapa de conscientização tem como objetivo definir as variáveis do método de gestão e a relação entre elas visando atender aos requisitos apresentados na subseção 4.1.3, que contribuem para o atendimento ao escopo da pesquisa e à solução do problema definido (Ciclo de Relevância), com apoio da estrutura conceitual definida no Ciclo de Rigor.

4.3.1.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA E SAÍDA DO MÉTODO

As variáveis de entrada do método se traduzem nos dois primeiros requisitos estabelecidos na subseção 4.1.3, a saber:

- 1) Identificar as necessidades da UEN solicitante;
- 2) Associação dos aspectos das UENs com as áreas estruturais da Indústria 4.0 (referência da Acatech).

As variáveis de saída do método se traduzem nos 3 últimos requisitos estabelecidos na subseção 4.1.3, a saber:

- 1) Identificar a UEN mais bem sucedida na implantação de cada aspecto;
- 2) Identificar o procedimento utilizado (experiência/acertos) pela UEN mais bem sucedida em cada aspecto;
- 3) Estabelecer um plano de ações para implantação do/s aspecto/s na UEN solicitante com base nas lições aprendidas/experiência adquirida pela UEN mais bem sucedida.

As variáveis de entrada são os dados relevantes que são levantados no início da condução da pesquisa para, ao serem processados, resultarem nas informações relevantes que se espera obter com as variáveis de saída, as que respondem ao resultado geral da construção do método, pela pesquisa-ação que a abordagem DSR implica.

4.3.2 ETAPA DE SUGESTÃO

A etapa de sugestão apoia-se nas diretrizes da etapa de conscientização e tem a finalidade de definir propostas e estratégias de como atender às variáveis de entrada e saída do método (subseção 4.3.1.1) (requisitos 1 a 5 do método, na subseção 4.1.3).

Primeiramente sugere-se a criação de um núcleo corporativo para a gestão da implantação do conceito Indústria 4.0 nas diferentes UEN, este núcleo tem a função de avaliar qual o ranking das UENs conforme avaliação do nível do aspecto e apoiar o compartilhamento de experiências adquiridas e lições aprendidas.

Como diretrizes para avaliar e atender as variáveis de entrada sugere-se que sejam identificados os aspectos a serem implantados e logo seja verificado o nível de avaliação dos aspectos da UEN campo do estudo (requisitos 1 e 2).

As variáveis de saída são as informações que se espera obter por meio da proposta de aplicação do método (atendimento aos requisitos 3 a 5). Para obter estas informações sugere-se que seja adotado o Nível de Maturidade da Indústria 4.0 associados ao aspecto da UEN; a seleção da UEN com o melhor Nível de Maturidade ao aspecto associado, e estabelecer um plano de ações para implantação das lições aprendidas/experiência adquirida pela UEN.

O Índice de Maturidade da Indústria 4.0 (Quadro 3), se determina tendo como referência o documento da Acatech, de Schuh *et al.* (2017). Logo deve ser realizada a associação dos aspectos das UEN com as áreas estruturas do Índice de Maturidade da Acatech e a associação dos aspectos das UEN com os níveis de avaliação do Índice de Maturidade da Acatech, as que devem ser realizadas a partir da análise qualitativa das variáveis de entrada determinadas.

Para o compartilhamento de experiências e lições aprendidas sugere-se a estruturação de um questionário, cuja análise deve estar suportada por

entrevistas estruturadas com os especialistas em I4.0, para consolidação e verificação dos resultados.

4.3.3 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

A etapa de desenvolvimento do Ciclo de Projeto é baseada no que foi definido na etapa de sugestão e tem como objetivo definir a construção do método para Gestão do Processo de Implantação do conceito Indústria 4.0 nas diferentes UENs de uma empresa. Para completar a aplicação do método proposto, algumas etapas precisam ser praticadas. O desenvolvimento de cada etapa é mostrado nas seções a seguir

4.3.3.1 CRIAÇÃO DO NÚCLEO CORPORATIVO PARA IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

A primeira etapa do método é a criação do núcleo corporativo para implantação do conceito indústria 4.0. O núcleo tem como objetivo avaliar o ranking do nível do aspecto que está sendo avaliado das UEN e ajudar a padronizar as ferramentas de implantação do conceito indústria 4.0, replicar e escalar soluções para implantação dos aspectos. Este núcleo é composto por especialistas no conceito indústria 4.0 das 26 UEN. Os especialistas se reúnem de forma virtual para discutir planos de ação para implantação dos aspectos.

4.3.3.2 IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

Os aspectos a serem considerados no processo de implantação do conceito Indústria 4.0 foram definidos e selecionados com base nas práticas que estão sendo utilizadas por uma empresa multinacional do setor automotivo que já implantou de forma não sistematizada alguns conceitos da Indústria 4.0 em algumas de suas UENs.

A empresa conta com aproximadamente 40.000 funcionários e 150 fábricas para manufatura de autopeças para setor automotivo e industrial. O processo de implantação do conceito da Indústria 4.0 se encontra em um nível de maturidade inicial conforme avaliação de maturidade da Acatech, com o desafio de definir e padronizar um método de implantação.

A empresa tem interesse em atender esta problemática dando total apoio no desenvolvimento de um método para gerenciar o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 em diversas UENs, com base nas experiências adquiridas nos casos de sucesso de implantação em outras UENs e no compartilhamento de informações, o que fez possível o desenvolvimento desta pesquisa como estudo preliminar para atender à lacuna de pesquisa identificada nesta tese.

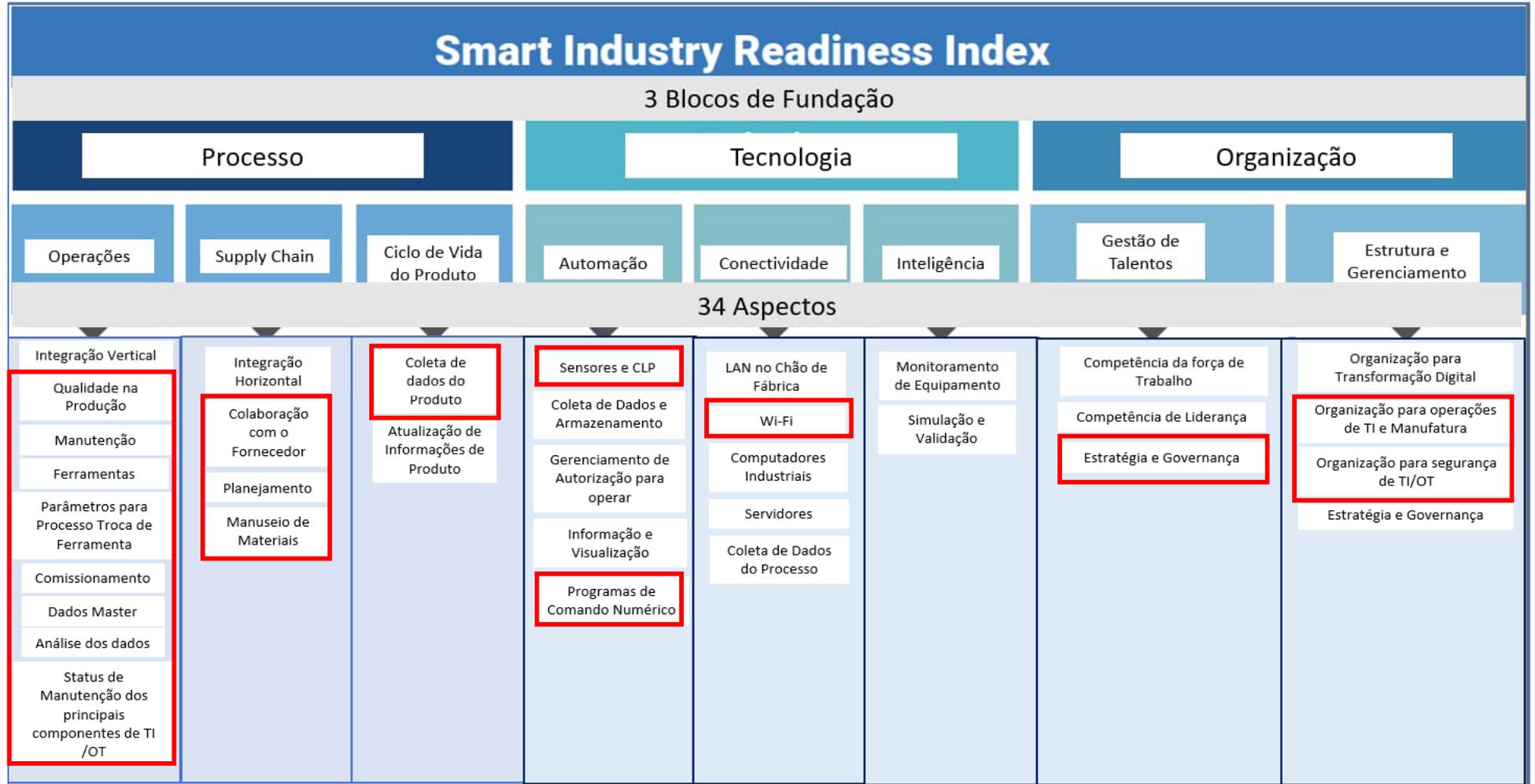
Foram identificados 34 aspectos, a saber:

1. Organização para a transformação digital
2. Organização para operações de TI e manufatura
3. Competência da força de trabalho
4. Sensores e CLP (Controladores Lógicos Programáveis)
5. Organização para segurança de TI/OT
6. Status de manutenção dos principais componentes de TI/OT
7. Instalações e utilidades
8. LAN de chão de fábrica
9. Wi-fi
10. Computadores Industriais
11. Servidores
12. Coleta de dados e armazenamento
13. Manuseio de Materiais
14. Monitoramento de Equipamento
15. Qualidade na produção
16. Ferramentas
17. Manutenção
18. Gerenciamento de autorização para operar
19. Coleta de dados de processo
20. Coleta de dados do produto
21. Informação e visualização
22. Planejamento
23. Programas de comando numérico
24. Parâmetros de processo e troca de ferramenta
25. Atualização de Informações de produto
26. Integração Horizontal
27. Integração Vertical

28. Simulação e Validação
29. Comissionamento
30. Colaboração com o fornecedor
31. Dados master
32. Análise dos dados
33. Competência de liderança
34. Estratégia e governança

A definição dos 34 aspectos se baseou no *The Singapore Smart Industry Readiness Index* (SIRI). Este índice foi desenvolvido pela *Singapore Economic Development Board* (SEDB) em parceria com a empresa TÜV SÜD (EDB SINGAPORE) e validado por um painel consultivo de especialistas da indústria e academia. A utilização do índice da SIRI foi definida para ser adotado na empresa campo deste estudo devido a que ao especialista responsável pela implantação do conceito Indústria 4.0 na UEN piloto ter utilizado em experiências profissionais anteriores. A definição para utilização do índice SIRI é uma delimitação deste trabalho, outras empresas podem utilizar outros métodos de análise de maturidade.

O cálculo do índice apoia-se em três etapas. A primeira etapa é composta dos três blocos fundamentais da Indústria 4.0: Processo, Tecnologia e Organização. Sustentando esses três blocos estão 8 pilares de foco. Os 8 pilares então incluem os 16 aspectos de avaliação, que as empresas podem usar para avaliar suas próprias instalações. Além destes aspectos foram identificados outros 18, como proposta para avaliação nesta tese, a partir do campo de ação estudado. Na Figura 7 se apresenta a estrutura esquemática que permite avaliar o índice proposto pela SEDB, incluindo além dos 16 aspectos propostos pela SIRI, os 18 aspectos identificados nesta pesquisa que estão delimitados por um quadrado vermelho.



4.3.3.3 DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

Uma etapa precedente à associação dos aspectos a serem considerados na implantação do conceito Indústria 4.0 é a determinação dos níveis de avaliação de cada aspecto. Durante a avaliação dos aspectos (identificação dos níveis), por se tratar de uma avaliação qualitativa, podem ocorrer avaliações em que aspecto apresente um nível intermediário, por exemplo, classificar o aspecto entre 0 e 1, pode se adotar 0,5, ou seja, se atende parcialmente o nível do aspecto e assim para os demais níveis. Deve-se notar que, embora todos os aspectos devam ser levados em consideração, a relativa importância de cada um varia de acordo com as necessidades das UENs. Os níveis de avaliação de cada aspecto (SIRI) estão apresentados na Figura 8.

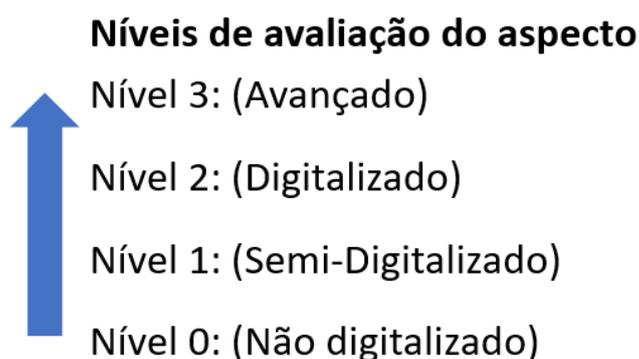


FIGURA 8. NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE CADA ASPECTO DAS UENs ADAPTADO (SIRI)

No Quadro 11 é possível observar a descrição dos 34 aspectos e os respectivos níveis de avaliação. No Quadro 10 percebe-se que alguns aspectos não têm avaliação no nível 3, devido ao nível 2 atender os requisitos máximos do aspecto em avaliação para suportar a implantação do conceito da indústria 4.0. Esta avaliação do nível do aspecto será posteriormente comprovada (etapa de Avaliação do Ciclo de Projeto do DSR).

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
1. Organização para transformação Digital	Organização da fábrica e funções designadas para executar a estratégia e o mapa para a transformação digital	As funções de transformação digital necessárias não foram identificadas e formalizadas	As funções de transformação digital necessárias foram reconhecidas e identificadas, mas ainda não formalizadas	Os papéis necessários de transformação digital foram reconhecidos e formalizados. As pessoas foram nomeadas dentro da organização.	
2. Organização para operações de TI e Manufatura	Organização para operar e manter com sucesso as soluções digitais para ter um ambiente de fabricação estável	Falta a competência de TI a manufatura para manter o ambiente de TI atual	A competência de TI disponível na manufatura é suficiente para manter a operação estável no cenário atual de TI/OT, mas sem funções e responsabilidades formalizadas	A organização de gerenciamento de TI disponível é formalizada e suficiente para manter o cenário atual de TI/OT	A organização de TI na manufatura disponível é formalizada e suficiente para receber e manter soluções futuras
3. Competência da Força de Trabalho	Estruturas, planos e conteúdo de treinamento para fornecer competência suficiente da força de trabalho em soluções digitais	A competência digital só é alcançada usando canais informais	Existem alguns treinamentos disponíveis para o desenvolvimento de habilidades	Existem estruturas em vigor para a aprendizagem contínua e a reaprendizagem de competências novas e existentes.	Existem estruturas em vigor e em uso para o aprendizado contínuo e a reaprendizagem de habilidades novas e existentes. O funcionário tem isso em seu plano de desenvolvimento.
4. Sensores e CLP	Sensores e CLP para capturar dados das máquinas	Nenhuma máquina tem CLP e sensores conectados	Algumas máquinas têm CLPs modernos e/ou sensores	A maioria das máquinas tem CLPs modernos e/ou sensores	Todas as máquinas têm capacidade de conectar e fornecer dados utilizando CLPs e sensores

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
5. Organização para segurança de TI/OT	Organização para gerenciar, projetar e implementar práticas, processos e tecnologias de segurança.	As funções de segurança de TI/OT necessárias não foram identificadas e formalizadas	As funções de segurança de TI/OT necessárias foram reconhecidas e identificadas, mas ainda não formalizadas	As funções de segurança de TI/OT necessárias foram reconhecidas e formalizadas. As pessoas foram nomeadas.	
6. Status de manutenção dos principais componentes de TI/OT	Principais componentes de TI de fabricação (infraestrutura de TI/OT, aplicativos e sistemas) e como eles são mantidos	Quase todos os componentes de TI/OT estão sem manutenção adequada	Poucos componentes-chave de TI/OT estão com manutenção adequada	A maioria dos principais componentes de TI/OT está com manutenção adequada	Todos os principais componentes de TI/OT do chão de fábrica são mantidos adequadamente
7. Instalações e utilidades	Nível de digitalização para serviços de instalações, como consumo de energia, painéis solares, aquecimento e resfriamentos arrefecimento	Os ativos de instalação e utilidades não estão conectados	Alguns ativos de instalação e utilidades estão conectados	Os ativos de instalações e utilidades estão conectados e podem ser controlados de forma automatizada	Os ativos de instalações e utilidades são automatizados para coleta e otimização do consumo
8. LAN de chão de fábrica	Conectividade de rede no chão de fábrica	Sem LAN de chão de fábrica	Rede de escritórios disponível no chão de fábrica	LAN de chão de fábrica disponível	LAN de chão de fábrica industrial com conexão em nuvem
9. Wi-fi	Wi-Fi no chão de fábrica	Sem Wi-fi	Rede de escritório Wi-Fi	Wi-Fi padrão de chão de fábrica	
10. Computadores Industriais	Computadores disponíveis no chão de fábrica	Sem computadores industriais no chão de fábrica	Computadores de escritório disponível no chão de fábrica	Computadores de industriais disponível no chão de fábrica	
11. Servidores	Servidores armazenam aplicações utilizadas pela manufatura	Sem servidores disponíveis para a manufatura	Servidor gerenciado por aplicação local	Servidor Hyper V ou solução padrão disponível	Servidores com serviço de gerenciamento em nuvem

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
12. Coleta de dados e armazenamento	Métodos de coleta de dados e serviços, como os dados são armazenados e disponibilizados para utilização	Os dados não são coletados e armazenados	Os dados são coletados e armazenados de forma não estruturada	Os dados são coletados e armazenados de forma estruturada, conforme padrão definido	
13. Manuseio de Materiais	Matéria-prima, produtos semiacabados, componentes	Nenhuma informação digital sobre a disponibilidade de material no chão de fábrica.	Monitoramento de buffer digital (buffer cheio, buffer vazio)	Informações digitais sobre o tempo e consumo de buffers. O conteúdo do buffer é conhecido, qual material e quantidade existem.	Reposição automática e em tempo real de material (puxar).
14. Monitoramento de Equipamento	Monitoramento de máquinas, dispositivos, sensores no chão de fábrica	Sem monitoramento e informação digital de forma geral.	Algumas máquinas são conectadas e é possível visualizar qual o motivo não estão operando.	A maioria das máquinas estão conectadas e é possível visualizar qual o motivo não estão operando	Máquinas utilizando o conceito de <i>machine learning</i> , pode abrir ordens de reparo para manutenção automático
15. Qualidade na produção	Inspeções de qualidade, liberações de máquinas, como as informações estão disponíveis e os resultados são armazenados	Nenhum suporte do sistema para a qualidade da produção. Instruções e resultados de qualidade são capturados em papel	Informações sobre tolerâncias, instruções iniciais disponíveis e capturadas em uma IHM digital.	As tolerâncias são transferidas manualmente digitalmente para a máquina ou sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA)	As tolerâncias dos produtos e instruções de trabalho são disponibilizadas e executadas pela máquina ou sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA)
16. Ferramenta	Como a preparação de ferramentas de máquinas, programas e manutenção são gerenciados	Sem sistema para gerenciar ferramentas de máquina	Utilização de sistema para gerenciamento das ferramentas de máquinas	As informações das ferramentas são transferidas de forma digital para as máquinas	

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
17. Manutenção	Como a manutenção é planejada e gerenciada	Sem sistema para suportar a manutenção	As ordens de manutenção são gerenciadas em um sistema, incluindo o registro dos ativos	Proposta automática de pedido de peças de reposição Manutenção baseada em planejamento. O sistema cria planos de manutenção com base na utilização dos ativos. manutenção baseada no operador (autônoma)	Manutenção preditiva com conexão baseada em aprendizado de máquina. Toda a documentação está vinculada ao cadastro de ativos sistema.
18. Gerenciamento de autorização para operar	Autorização, matriz de competência e habilidades	Lista de operadores e matriz de habilidade no papel	Lista de operadores com certificados e matriz de habilidade gerenciado por um sistema	O sistema suporta a autorização para operar de forma manual	A autorização para operar ocorre antes de ligar a máquina de forma automática
19. Coleta de dados de processo	Declaração da produção, quebras não planejadas, status da produção, etc.	Sem sistema para suportar a coleta de dados. Os indicadores chaves são coletados e armazenados em papel	O sistema suporta a coleta de informações como perdas de produção, OEE, porém os dados são resumidos de forma manual	Alguns dados de processo são coletados de forma semiautomática	A coleta de dados de processo são 100 % automáticos
20. Coleta de dados do produto	Dados de medição e rastreabilidade	Sem sistema para suportar a coleta de dados. Os dados de produto e rastreabilidade é coletado manual e armazenado no papel	Dados de produto são coletados isolados e utilizando sistemas não integrados	Os dados de produto são armazenados em um sistema central com suporte de rastreabilidade	Rastreabilidade da informação de produto para cada componente

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
21. Informação e visualização	Como a informação no chão de fábrica é visualizada	Sem visualização digital no chão de fábrica. Por exemplo indicadores chave de performance	Telas digitais onde os dados chave podem ser visualizados. Os dados são inseridos manualmente no sistema	Telas digitais onde os dados chave podem ser visualizados e atualizados de forma automática	Telas digitais onde os dados chave podem notificar de forma automática os operadores quando estão fora do limite de controle
22. Planejamento	Lista de sequência de células e operações compartilhadas	Sem Sistema para suportar o sequenciamento de produção no nível de máquinas	Suporte do sistema para sequenciamento, mas feito manualmente.	Sequenciamento manual por sistema, com liberação automática para a máquina	Sequenciamento totalmente automatizado, incluindo liberação automática para a máquina.
23. Programas e comando numérico	Programas de máquinas, tornos, retíficas, máquinas de medição	Os programas são feitos pelo operador no chão de fábrica com a ajuda de desenhos em papel.	Os programas são criados/atualizados usando um sistema. E baixado via memória USB para a máquina.	Os programas são criados/atualizados usando um sistema. Programa baixado via rede.	Download automático para a máquina quando necessário pela máquina e controle de versão. Qualquer alteração no programa é registrada
24. Parâmetros de processo e troca de ferramenta	Dados de retífica, dados de velocidade de corte, etc.	Sem monitoramento e informação digital. Os dados e parâmetros de processo são armazenados em papel	Os dados e parâmetros de processo são baixados com a utilização de memória USB para a máquina	Os dados e parâmetros de processo são baixados via rede industrial	Os dados e parâmetros de processo são automaticamente baixados para as máquinas quando necessário. Qualquer alteração nos parâmetros de processo é registrada
25. Atualização de Informações de produto	Desenhos e dados de produto, como a informação é disponibilizada e atualizada para processo produtivo	Sem sistema para suportar as alterações	Informação sobre o produto são disponíveis e capturadas por IHM	Os dados de produto são enviados manualmente para as máquinas por rede	Os dados de produto são constantemente otimizados e enviados para as máquinas de forma automática

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
26. Integração Horizontal	O fluxo de informação que segue o fluxo do Produto do pedido do cliente, pedido do material, logística de entrada, fabricação, logística de saída, envio ao cliente. E o fluxo de dados também de volta do cliente	Sem integração entre os sistemas e sem sistemas para suportar as etapas do processo	Ordens de produção podem ser rastreáveis para o cliente	Alguns dados de produto e processos estão conectados, sincronizados e atualizados com clientes e fornecedores. Rastreabilidade da aplicação no cliente até a matéria prima	Todos os dados de produto e processos estão conectados, sincronizados e atualizados com clientes e fornecedores. Rastreabilidade da aplicação no cliente até a matéria prima
27. Integração Vertical	Aplicativos conectados, reutilização de dados via integração do sistema. Processo orientado por fluxo de trabalho e automação de engenharia. Integração vertical	Não há integração vertical entre sistemas e fornecedores. Por exemplo. E-mail com PDF para o fornecedor. Desconecte entre a camada PDM e MES e a Máquina	Dados movidos manualmente entre sistemas. Alguns sistemas estão conectados, mas não todos.	Fluxo de trabalho define e conduz o processo. Os dados são reutilizados por meio de conexões de sistemas, incluindo ERP, PDM e MES	Todos os produtos e processos estão conectados. Todos os sistemas atualizados e sincronizados de forma automática
28. Simulação e Validação	Executar experimentos, e cenários sem perturbar a produção. Por exemplo. fluxo de material, custo, energia, rendimento, tripulação e ergonomia.	A coleta de dados e a criação do modelo de máquina e processo são feitas manualmente. Sem padrão de aplicação	Use aplicativos padrão para, por exemplo, simulações de fluxo e custo. Coleta manual dos dados e configuração do modelo.	A alimentação automática dos dados master para o modelo de simulação e os dados em tempo real do MES podem ser coletados e alimentados. Configuração padrão do aplicativo. Temos especialistas internos e rede	Dados em tempo real alimentam o modelo e o modelo pode ajustar a máquina

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
29. Comissionamento	Utilizar ferramentas digitais e gêmeos digitais. Simulações detalhadas de canais, máquinas, layouts, painéis, programas e processos.	Comissionamento é presencial e manual sem ferramentas digitais. Projeto inicia com layouts 2D e toda documentação necessária em texto.	As máquinas são agrupadas no fornecedor e testadas para produção antes da instalação na final. A ferramenta digital está em uso sem seguir o padrão.	O fornecedor coopera com aplicativos e métodos padrão para construir máquinas, processos e layouts. O padrão de aplicativos é o uso e os gêmeos digitais continuam sendo aprimorados.	Utilização de realidade virtual e aumentada para treinamento e design. Os fornecedores estão seguindo nosso padrão de aplicação e temos um processo completo implementado de como trabalhar em conjunto interno e externo.
30. Colaboração com o fornecedor	Como desenho e especificações do produto são distribuídos ao fornecedor e como as atualizações são tratadas.	Sem suporte ao sistema. Desenhos de produtos são compartilhados por e-mail.	Suporte de sistema menor, processo não totalmente conectado.	Processo totalmente conectado entre PDM, MPM, ERP, MES e fornecedor. Orientado por processos e conectado por fluxo de trabalho.	Sistema totalmente automático
31. Dados Master	Como as fontes de dados e os sistemas de dados são gerenciados	Falta de estratégia de dados mestre	Cada sistema tem seus próprios dados mestre, com sobreposição de informações e propriedade	Os dados mestre são coletados manualmente e distribuídos/agregado. Apenas uma única fonte de informação	As fontes de dados são integradas e com distribuição estável. Com gerenciamento de versões. Apenas uma única fonte de informação
32. Análise dos dados	Capacidade de fazer análise dos dados	Nenhuma maneira padronizada de visualizar dados.	Os dados são visualizados (relatórios)	A análise dos dados é realizada	A análise de dados é feita por meio de uma maneira padronizada de trabalho

QUADRO 11. DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS E NÍVEIS DE AVALIAÇÃO

Aspectos	Descrição do Aspecto	Nível de Avaliação			
		0	1	2	3
33. Competência de liderança	Conscientização e competência da gestão fabril para entender as possibilidades e desafios com a digitalização	A gestão não está familiarizada com as possibilidades e desafios da digitalização	A gestão está parcialmente familiarizada com as possibilidades e desafios da digitalização	A gestão está totalmente familiarizada com as possibilidades e desafios da digitalização	
34. Estratégia e governança	Estratégia e governança da fábrica para a transformação digital	A digitalização não é identificada como foco estratégico da fábrica	A estratégia e o mapa de digitalização foram iniciados	A estratégia e o mapa de digitalização foram desenvolvidos	A estratégia e o mapa de digitalização estão sendo implementados, com uma governança bem definida

4.3.3.4 ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM AS ÁREAS ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)

Os 34 aspectos em comum das UENs são associados às áreas estruturais do modelo de maturidade da Acatech para identificar quais aspectos estão relacionados a cada área estrutural da Acatech, contribuindo para um melhor entendimento do conceito indústria 4.0 durante a implantação dos aspectos.

O Índice de Maturidade da Acatech considera quatro áreas estruturais:

- Recursos,
- Sistemas de informação,
- Cultura,
- Estrutura organizacional.

Estas áreas compõem a estrutura da organização e estão conectadas pelos seis níveis de avaliação para o desenvolvimento da Indústria 4.0, que são: Informatização, Conectividade, Visibilidade, Transparência, Capacidade Preditiva e Adaptabilidade.

A área estrutural Recursos refere-se a recursos físicos tangíveis, como: força de trabalho, máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e produto. É composta por dois princípios e suas respectivas capacidades, conforme o Índice de Maturidade da Acatech:

- Capabilidade Digital
 - Competência digital,
 - Aquisição automatizada de dados através de sensores e atuadores,
 - Processamento descentralizado de dados do sensor.
- Comunicação Estruturada
 - Comunicação eficiente,
 - Design de interface baseado em tarefas.

No Quadro 12 se apresenta a associação entre os aspectos das UEN e a área estrutural Recursos, e o Nível de Maturidade segundo o estágio alcançado, conforme a Acatech.

QUADRO 12. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS E A ÁREA ESTRUTURAL RECURSOS, DA ACATECH

Área Estrutural (Acatech)	Subáreas (Acatech)	Área associada (Acatech)	Aspectos	Descrição dos Aspectos
Recursos	Capabilidade Digital	Capabilidade Digital	Disponibilizar Competência Digital	Organização da fábrica e funções designadas para executar a estratégia e o mapa para a transformação digital
		Disponibilizar Competência Digital	Organização para operações de TI e Manufatura	Organização para operar e manter com sucesso as soluções digitais para ter um ambiente de fabricação estável
			Competência da Força de Trabalho	Estruturas, planos e conteúdo de treinamento para fornecer competência suficiente da força de trabalho em soluções digitais
		Aquisição de dados através de sensores e atuadores	Sensores e CLP	Sensores e CLP para capturar dados das máquinas

Segundo o Índice de Maturidade da Acatech a área estrutural Sistemas de Informação, contempla sistemas sociotécnicos nos quais a informação é fornecida, com base em critérios econômicos, por pessoas e tecnologia da informação e comunicação. A integração dos sistemas de informação é fundamental para garantir que os dados e informações disponíveis podem ser usados para tomar decisões. A área estrutural Sistemas de Informação é dividida nos princípios a seguir e suas respectivas capacidades:

- Processamento de informação
 - Análise de dados automatizadas,
 - Entrega contextualizada dos dados,
 - Aplicação,

- Interface de usuário específica do aplicativo,
- Infraestrutura de TI resiliente.
- Integração
 - Integração horizontal e vertical,
 - Governança dos dados,
 - Interface padrão dos dados,
 - Segurança em TI.

No Quadro 13 é possível observar a associação entre os aspectos das UEN e a área estrutural Sistemas de Informação, e o Nível de Maturidade segundo o estágio alcançado, conforme a Acatech.

QUADRO 13. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS E A ÁREA ESTRUTURAL SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DA ACATECH (CONTINUA)

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Dos Aspectos	
Sistemas de Informação	Integração do sistema de informação	Segurança de TI	Organização para segurança de TI/OT	Organização para gerenciar, projetar e implementar práticas, processos e tecnologias de segurança.	
	Capabilidade Digital	Disponibilizar Competência Digital	Status de manutenção dos principais componentes de TI/OT	Principais componentes de TI de fabricação (infraestrutura de TI/OT, aplicativos e sistemas) e como eles são mantidos	
	Processamento de informações de autoaprendizagem	Análise de dados automatizada	Instalações e utilidades	Nível de digitalização para serviços de instalações, como consumo de energia, painéis solares, aquecimento e resfriamentos arrefecimento	
			Infraestrutura de TI Resiliente	LAN de chão de fábrica	Conectividade de rede no chão de fábrica
				Wi-fi	Wi-Fi no chão de fábrica
Sistemas de Informação	Processamento de informações de autoaprendizagem	Infraestrutura de TI Resiliente	Computadores Industriais	Computadores disponíveis no chão de fábrica	

QUADRO 13. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UEN E A ÁREA ESTRUTURAL SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DA ACATECH (CONTINUA)

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Do Aspecto
Sistemas de Informação	Processamento de informações de autoaprendizagem	Análise de dados automatizada	Ferramenta	Como a preparação de ferramentas de máquinas, programas e manutenção são gerenciados
		Fornecer informações contextualizadas	Manutenção	Como a manutenção é planejada e gerenciada
		Análise de dados automatizada		
			Coleta de dados de processo	Declaração da produção, quebras não planejadas, status da produção, etc.
	Integração do sistema de informação	Integração horizontal e vertical	Coleta de dados do produto	Dados de medição e rastreabilidade

QUADRO 13. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UEN E A ÁREA ESTRUTURAL SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DA ACATECH (CONTINUA)

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Do Aspecto	
Sistemas de Informação	Processamento de informações de autoaprendizagem	Interface de usuário específica do aplicativo	Informação e visualização	Como a informação no chão de fábrica é visualizada	
		Análise de dados automatizada	Planejamento	Lista de sequência de células e operações compartilhadas	
	Integração do sistema de informação	Integração horizontal e vertical		Programas e comando numérico	Programas de máquinas, tornos, retíficas, máquinas de medição
				Parâmetros de processo troca de ferramenta	Dados de retífica, dados de velocidade de corte, etc.
				Atualização de Informações de produto	Desenhos e dados de produto, como a informação é disponibilizada e atualizada para processo produtivo
				Integração Horizontal	O fluxo de informação que segue o fluxo do Produto do pedido do cliente, pedido do material, logística de entrada, fabricação, logística de saída, envio ao cliente. E o fluxo de dados também de volta do cliente

QUADRO 13. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS E A ÁREA ESTRUTURAL SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DA ACATECH (CONCLUSÃO)

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Do Aspecto
Sistemas de Informação	Integração do sistema de informação	Integração horizontal e vertical	Integração Vertical	Aplicativos conectados, reutilização de dados via integração do sistema. Processo orientado por fluxo de trabalho e automação de engenharia. Integração vertical
	Processamento de informações de autoaprendizagem	Forneça informações contextualizadas	Simulação e Validação	Executar experimentos, e cenários sem perturbar a produção. Por exemplo. fluxo de material, custo, energia, rendimento, tripulação e ergonomia.
		Análise de dados automatizada		
		Interface de usuário específica do aplicativo	Comissionamento	
	Integração do sistema de informação	Integração horizontal e vertical	Colaboração com o fornecedor	Como desenho e especificações do produto são distribuídos ao fornecedor e como as atualizações são tratadas.
		Governança dos dados	Dados Master	Como as fontes de dados e os sistemas de dados são gerenciados
Sistemas de Informação	Integração do sistema de informação	Governança dos dados	Análise dos dados	Capacidade de fazer análise dos dados

A terceira área estrutural, segundo o Índice de Maturidade da Acatech é a Estrutura Organizacional. Os colaboradores das empresas têm um elevado grau de responsabilidade individual quando a organização não é mecanicista ou vertical, ou seja, a organização é orgânica. A área Estrutura Organizacional é dividida nos princípios a seguir e suas respectivas capacidades:

- Organização interna orgânica
 - Comunidades flexíveis,
 - Gerenciamento da decisão,
 - Sistemas de metas motivacional,
 - Gerenciamento Ágil.
- Colaboração dinâmica na rede de contatos
 - Foco no benefício para o cliente,
 - Cooperação da rede de contatos.

No Quadro 14 é possível observar a associação entre os aspectos das UEN e a área estrutural Estrutura Organizacional, e o Nível de Maturidade segundo o estágio alcançado, conforme a Acatech.

QUADRO 14. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS E A ÁREA ESTRUTURAL ESTRUTURA ORGANIZACIONAL, DA ACATECH

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Do Aspecto
Estrutura Organizacional	Organização interna orgânica	Sistemas de metas motivacionais	Estratégia e governança	Estratégia e governança da fábrica para a transformação digital

A última área estrutural, segundo o Índice de Maturidade da Acatech é a área estrutural Cultura. Apenas a introdução de novas tecnologias não garante a agilidade desejada pelas empresas. A implementação do *Lean Manufacturing*, durante a década de 2000, mostrou que a chave para uma implementação bem-sucedida em toda a gestão implica mudar a cultura ou mudar a mentalidade dos funcionários. Isto também se aplica para a transformação digital e implantação

de novas tecnologias. Torna-se importante as empresas decidirem como desenvolver as habilidades para utilizar as novas tecnologias. A área estrutural Cultura é dividida nos princípios a seguir e suas respectivas capacidades:

- Colaboração social
 - Liderança democrática,
 - Comunicação Aberta,
 - Confiança em processo e sistemas de informação.
- Vontade de mudar
 - Reconhecer o valor dos erros,
 - Abertura para inovação,
 - Aprendizagem baseada em dados e tomada de decisão,
 - Desenvolvimento profissional contínuo,
 - Velocidade na gestão de mudança.

No Quadro 15 é possível observar a associação entre o aspecto da UEN e a área estrutural Cultura, e o Nível de Maturidade segundo o estágio alcançado, conforme a Acatech.

QUADRO 15. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DA UENS E A ÁREA ESTRUTURAL CULTURA, DA ACATECH

Área Estrutural Acatech	Subáreas Acatech	Área Associada Acatech	Aspectos	Descrição Do Aspecto
Cultura	Vontade de mudar	Abertura para inovação Aprendizagem baseada em dados e tomando uma decisão	Competência de liderança	Conscientização e competência da gestão fabril para entender as possibilidades e desafios com a digitalização

4.3.3.5 ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM OS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)

Para a identificação do nível de avaliação de maturidade da Indústria 4.0 em que a empresa se situa, são utilizados como referência os estágios da trajetória de desenvolvimento da Indústria 4.0 da ACATECH (SCHUH *et al.*, 2017). De acordo com o que foi explorado no Capítulo 2, na Seção 2.3, a trajetória de desenvolvimento da Indústria 4.0 se baseia em seis estágios (Informatização, Conectividade, Visibilidade, Transparência, Capacidade

Preditiva e Adaptabilidade), cada estágio é dependente da consistência de implantação do estágio anterior (Quadro 3).

A associação entre os aspectos e os níveis de avaliação da maturidade da ACATECH foram realizados em conjunto com três especialistas em Indústria 4.0 de UENs diferentes. Os parâmetros utilizados foram a descrição do aspecto e seu último nível de avaliação, como descrito no Quadro 11. O resultado da associação feita pelos especialistas se apresenta no Quadro 16. Os especialistas sugerem, que para alcançar cada estágio para a I4.0 os aspectos se distribuíram conforme a relação que segue: Informatização – 9 aspectos; Conectividade – 13 aspectos; Visibilidade – 5 aspectos; Transparência – 5 aspectos; Capacidade Preditiva – 1 aspecto; Adaptabilidade – 1 aspecto. Esta associação será posteriormente comprovada (etapa de Avaliação do Ciclo de Projeto do DSR).

QUADRO 16. ASSOCIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS UENS COM OS NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 (ACATECH)

Nível de Avaliação	Aspectos
1 Informatização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Organização para a transformação digital: Organização da fábrica e funções designadas para executar a estratégia e o mapa para a transformação digital 2. Organização para operações de TI e Manufatura: A organização de TI na manufatura disponível é formalizada e suficiente para receber e manter soluções futuras 3. Organização para segurança de TI/OT: A organização de TI na manufatura disponível é formalizada e suficiente para receber e manter soluções futuras 4. Competência da Força de Trabalho: Existem estruturas em vigor e em uso para o aprendizado contínuo e a reaprendizagem de habilidades novas e existentes. O funcionário tem isso em seu plano de desenvolvimento 5. Competência de liderança: Conscientização e competência da gestão fabril para entender as possibilidades e desafios com a digitalização 6. Estratégia e governança: A estratégia e o mapa de digitalização estão sendo implementados, com uma governança bem definida 7. Status de manutenção dos principais componentes de TI/OT: Todos os principais componentes de TI/OT do chão de fábrica são mantidos adequadamente 8. Dados Master: As fontes de dados são integradas e com distribuição estável. Com gerenciamento de versões. Apenas uma única fonte de informação 9. Análise dos dados: A análise de dados é feita por meio de uma maneira padronizada de trabalho
2 Conectividade	<ol style="list-style-type: none"> 10. Instalações e utilidades: Os ativos de instalações e utilidades são automatizados para coleta e otimização do consumo 11. LAN de chão de fábrica: LAN de chão de fábrica industrial com conexão em nuvem 12. Wi-fi: Wi-Fi no chão de fábrica 13. Computadores Industriais: Computadores disponíveis no chão de fábrica 14. Servidores: Servidores com serviço de gerenciamento em nuvem 15. Coleta de dados e armazenamento: Métodos de coleta de dados e serviços, como os dados são armazenados e disponibilizados para utilização 16. Sensores e CLP: Todas as máquinas têm capacidade de conectar e fornecer dados utilizando CLPs e sensores 17. Qualidade na produção: As tolerâncias dos produtos e instruções de trabalho são disponibilizadas e executadas pela máquina ou sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA) 18. Ferramenta: Como a preparação de ferramentas de máquinas, programas e manutenção são gerenciados 19. Coleta de dados de processo: A coleta de dados de processo são 100 % automáticos 20. Coleta de dados do produto: Rastreabilidade da informação de produto para cada componente 21. Programas e comando numérico: Download automático para a máquina quando necessário pela máquina e controle de versão. Qualquer alteração no programa é registrada

	22. Parâmetros de processo e troca de ferramenta: Os dados e parâmetros de processo são automaticamente baixados para as máquinas quando necessário. Qualquer alteração nos parâmetros de processo é registrada
3 Visibilidade	<p>23. Manuseio de Materiais: Reposição automática e em tempo real de material no WIP</p> <p>24. Gerenciamento de autorização para operar: Autorização para operar ocorre antes de ligar a máquina de forma automática</p> <p>25. Informação e visualização: Telas digitais onde os dados chave podem notificar de forma automática os operadores quando estão fora do limite de controle</p> <p>26. Planejamento da produção: Planejamento do sequenciamento da produção totalmente automatizado, incluindo liberação automática para a máquina.</p> <p>27. Colaboração com o fornecedor: Sistema totalmente automático de distribuição e atualização de desenhos e especificações para o fornecedor</p>
4 Transparência	<p>28. Atualização de Informações de produto: Os dados de produto são constantemente otimizados e enviados para as máquinas de forma automática</p> <p>29. Integração Horizontal: Todos os dados de produto e processos estão conectados, sincronizados e atualizados com clientes e fornecedores. Rastreabilidade da aplicação no cliente até a matéria prima.</p> <p>30. Integração Vertical: Todos os produtos e processos estão conectados. Todos os sistemas atualizados e sincronizados de forma automática</p> <p>31. Simulação e Validação: Dados em tempo real alimentam o modelo do processo e o modelo pode ajustar a máquina.</p> <p>32. Comissionamento: Utilização de realidade virtual e aumentada para treinamento e design. Os fornecedores estão seguindo nosso padrão de aplicação e temos um processo completo implementado de como trabalhar em conjunto interno e externo</p>
5 Capacidade Preditiva	33. Manutenção: Manutenção preditiva com conexão baseada em aprendizado de máquina. Toda a documentação está vinculada ao cadastro de ativos sistema.
6 Adaptabilidade	34. Monitoramento de Equipamento: Máquinas utilizando o conceito de <i>machine learning</i> , podem abrir ordens de reparo de forma automática para manutenção

Nesta fase do método é identificado o nível de avaliação dos aspectos (subseção 4.3.3.3, Figura 8) mapeados das 26 UENs associado ao nível de avaliação da maturidade para implantação do conceito Indústria 4.0, da Acatech, como apresentado na subseção 2.3.1 no Quadro 3.

Como principal atividade cada UEN realizou uma autoavaliação que foi pelos especialistas em Indústria 4.0 de cada UEN. O resultado desta autoavaliação pode-se observar no Quadro 17.

QUADRO 17. NÍVEL DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS DAS 26 UENS ASSOCIADO AO NÍVEL DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

Aspectos	Nível de Avaliação Acatech	Unidades Estratégicas de Negócio																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Organização para a transformação digital	1-Informatização	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	0	0	1	0
Organização para operações de TI e Manufatura		2	1	0	2	2	0	2	1	2	2	0	0		2	2	0	2	1	0	1	1	1	0	0	1	0
Status de manutenção dos principais componentes de TI/OT		2	2	2	1	3	1	3	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	0
Competência da Força de Trabalho		1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
Competência de liderança		2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Estratégia e governança		3	2	2	1	2	3	2	3	3	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	3	2	1	1	1	1
Organização para segurança de TI/OT		2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Dados Master		3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Análise de Dados		2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Qualidade na produção	2-Conectividade	3	1	1	1	2	1	2	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferramenta		1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
Coleta de dados de processo		3	2	1	1	2	1	2	2	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0
Coleta de dados do produto		3	1	1	1	2	2	2	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Programas e comando numérico		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	1	2	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
Parâmetros de processo troca de ferramenta		1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAN de chão de fábrica		2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	0	3	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1
WiFi		2	1	1	0	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2	0	1	1	0	1
Computadores Industriais		2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Servidores	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	0	1	
Coleta de dados e armazenamento	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1	1	1	0	1	0	0	
Sensores e CLP	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	3	1	2	0	1	1	1	2	1	1	0	3	2	1	0	0	
Instalações e Utilidades	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Manuseio de Materiais	3-Visibilidade	2	2	0	1	0	1	0	2	1	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Gerenciamento de autorização para operar		1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Informação e visualização		3	2	0	1	0	3	0	2	1	0	2	1	1	0	0	1	1	0	2	0	0	0	1	1	0	0
Planejamento da Produção	3	1	1	2	1	0	1	0	0	2	1	1	1	0	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	
Colaboração com o fornecedor	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Atualização de Informações de produto	1	1	1	0	1	1	1	2	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
Integração Horizontal	4-Transparência	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Integração Vertical		0	2	1	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Simulação e Validação		0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Comissionamento		0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Manutenção	5-Capacidade Preditiva	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	3	1	0	0	2	1	1	2	2	1	0	0	1	1	1	1
Monitoramento de Equipamento	6-Adaptabilidade	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	1	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0

Nível de Avaliação do Aspecto

Somatória do nível de avaliação de todos os aspectos de cada UEN

60	49	41	41	38	40	35	38	31	30	34	33	34	26	25	27	26	25	26	23	21	20	18	18	16	17
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4.3.3.6 IDENTIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DE LIÇÕES APRENDIDAS E COMPARTILHAMENTO DE EXPERIÊNCIAS

O procedimento utilizado para relacionar as experiências adquiridas foi a pesquisa de campo exploratória. De acordo com Mattar (1996), para se obter velocidade no processo de levantamento de experiências é necessária uma escolha cuidadosa das pessoas a serem pesquisadas. Sendo assim, foram realizadas entrevista nas 26 UENs, com 26 especialistas e/ou responsáveis por implementar o conceito Indústria 4.0 em cada UEN.

Para a coletar as informações nesta etapa foi elaborado um questionário estruturado simples fundamentado nos requisitos do método (subseção 4.1.3) que por sua vez visa-se que sejam atendidos pela consecução de todas as etapas anteriores a esta; nas variáveis de entrada e premissas para a obtenção das variáveis de saída (subseção 4.3.1)

O conteúdo do questionário foi baseado no detalhamento dos facilitadores para implantação do conceito I4.0 em UENs, seção 2.4, sendo dividido em três seções:

- 1** Caracterização da UENs: número de colaboradores, região em que está instalada, mercado que atende (automotivo ou industrial)
- 2** Qualificação do respondente: relaciona os dados para identificação do profissional que está respondendo o questionário, solicitando o nome do respondente, departamento de atuação na empresa, cargo e o tempo de atuação na empresa (em anos);
- 3** Lições aprendidas associadas aos aspectos das UENs: os 34 aspectos foram apresentados aos respondentes de acordo com a associação dos níveis de avaliação da Indústria 4.0 (Quadro 15), da Acatech. Adicionalmente, solicitou-se que os respondentes indicassem lições aprendidas durante a implementação do aspecto.

Conforme ilustra a Figura 9, o questionário foi estruturado com base nos seguintes blocos:

- Caracterização da UEN
- Qualificação do respondente

- Solicitação de sugestão de como coletar lições aprendidas na melhor UEN.

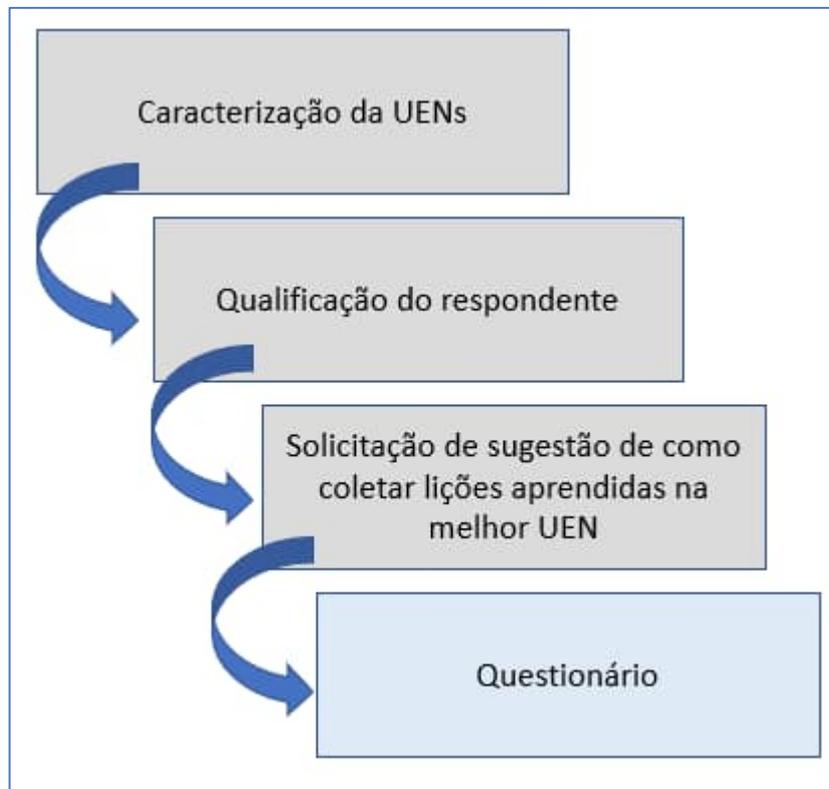


FIGURA 9. ELEMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO QUESTIONÁRIO

4.3.3.6.1 AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O questionário foi submetido para análise e avaliação de profissionais da indústria e da academia. A análise e avaliação realizadas por profissionais de campo é uma etapa importante a se considerar para obter e entender situações em contextos que não foram manifestados anteriormente pelas suposições do pesquisador. O objetivo da análise e avaliação é de compreender a visão de campo sobre a clareza, compreensão e factibilidade do questionário levando em consideração as informações nele contidas.

Quanto à seleção dos profissionais foram levadas em consideração a experiência no assunto (anos). Foram selecionados 3 profissionais:

- 01 pesquisador da área de Indústria 4.0 e logística
- 01 pesquisador da área de Engenharia de Produção

- 01 especialista em implantação do conceito Indústria 4.0 de um fabricante multinacional de equipamentos agrícolas com mais de 15 anos de experiência.

As recomendações realizadas pelos profissionais de campo foram relacionadas a:

- Durante as entrevistas (como suporte ao questionário) com os especialistas das UEN, recomendou-se solicitar qual forma de trabalho considerando o aspecto em seu nível 0.
- Gravar as entrevistas para uma análise mais detalhada se necessário.

A Figura 10 apresenta o questionário utilizado.

QUESTIONÁRIO

Proposta de um Método para Gestão do Processo de Implantação do Conceito indústria 4.0 nas diferentes Unidades Estratégica de Negócio de uma Empresa

Seção 1 – Qualificação dos entrevistados:

- Nome do Respondente
- Departamento de atuação na empresa
- Cargo e tempo de atuação na empresa

Seção 2 – Caracterização da UEN:

- Nome do Especialista ou responsável pela implantação do conceito “Industria”
- Número de colaboradores
- Região em que está instalada a UEN
- Mercado que atende a UEN

Seção 3 – Lições Aprendidas – Solicitação de sugestão de como coletar lições aprendidas

- Para cada aspecto avaliado em seu nível máximo foram realizadas as seguintes perguntas:
- Quais foram os fatores chave para atingir o nível máximo no aspecto?
- Quais foram os requisitos importantes para atingir o nível máximo no aspecto

FIGURA 10. QUESTIONÁRIO RESPONDIDO PELOS ESPECIALISTAS DAS UENS

4.3.3.6.1.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS

As respostas do questionário foram analisadas pelos pesquisadores envolvidos e agrupados segundo o bloco de perguntas. Logo, para um melhor entendimento de algumas questões que não ficaram explícitas nas respostas, foi realizada uma entrevista individual com cada especialista de cada uma das 26 UENs para consolidar o entendimento e agrupamento das lições aprendidas associadas aos aspectos das UNEs. Considerando as informações solicitadas (seção 4.3.2.1), na sequência se apresentam os resultados dos três blocos de perguntas feitas.

1) Caracterização das UENs

A Figura 11 indica que 14 dos especialistas entrevistados estão na região da Europa, 7 especialistas na região das Américas e 5 especialistas na região da Ásia.

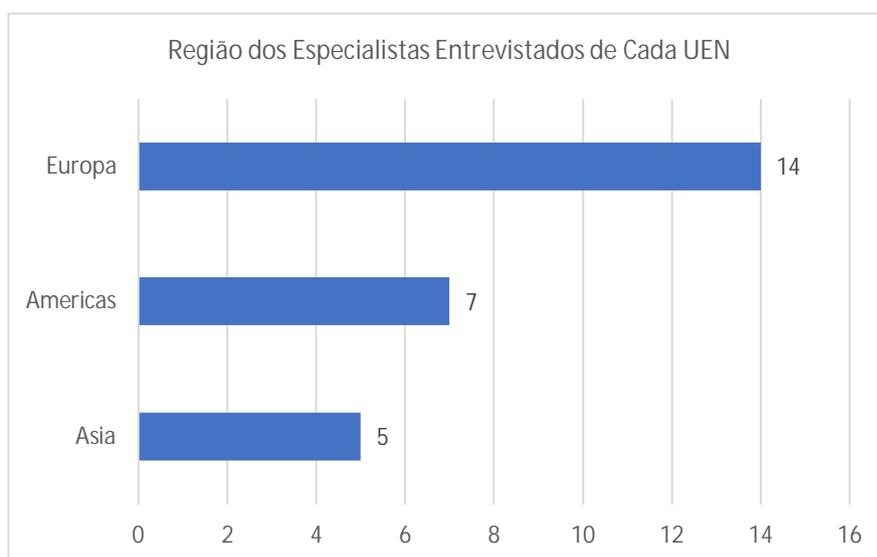


FIGURA 11. REGIÃO DAS UEN ENTREVISTADAS

Na Figura 12 é possível avaliar o número de funcionários de cada UNE sendo:

- 2 UENs que tem entre 1000 e 1500 funcionários – representam 8 % do total de 26 UENs
- 9 UENs que tem entre 500 e 1000 funcionários – representam 34 % do total de UENs

- 15 UENs que tem entre 1 e 500 funcionários – representam 58 % do total de UENs

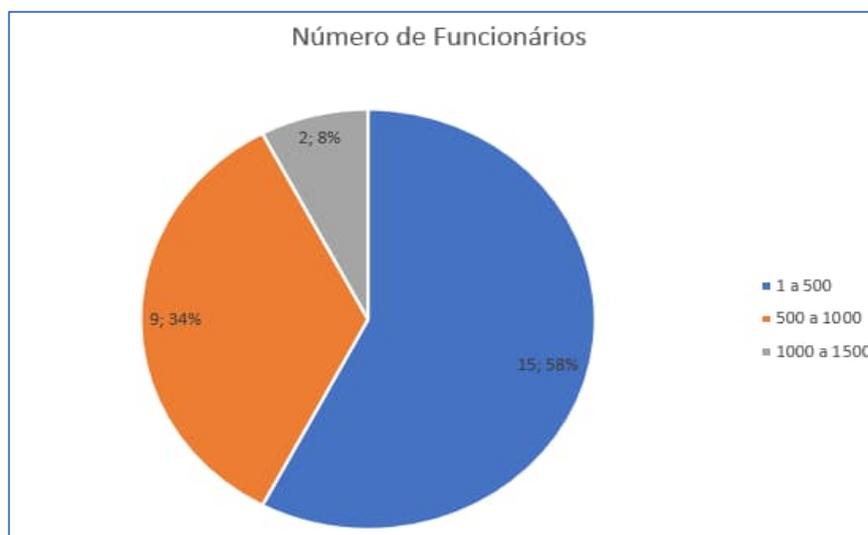


FIGURA 12. NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DAS UENS

A Figura 13 apresenta qual o setor de atuação das 26 UENs. Se observa que 54% produzem componentes para o setor industrial, 27 % para setor automotivo e industrial e 19 % de dedicado para setor automotivo

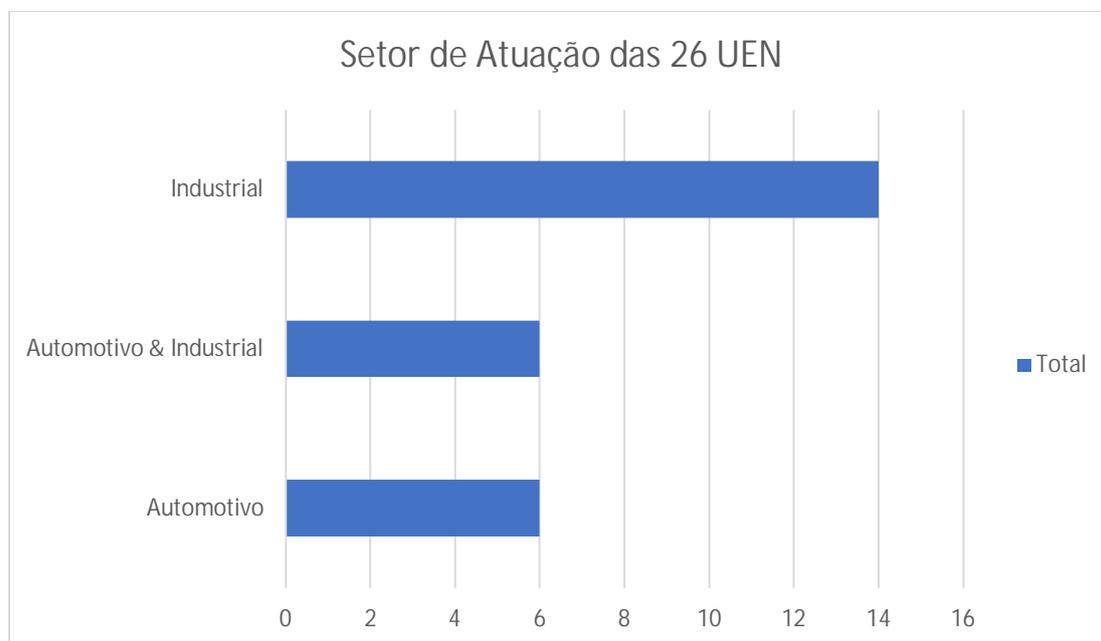


FIGURA 13. SETOR DE ATUAÇÃO DAS 26 UENS

A Figura 14 representa a média da somatória do nível de avaliação dos aspectos de cada UEN por região, utilizando dados do Quadro 17.

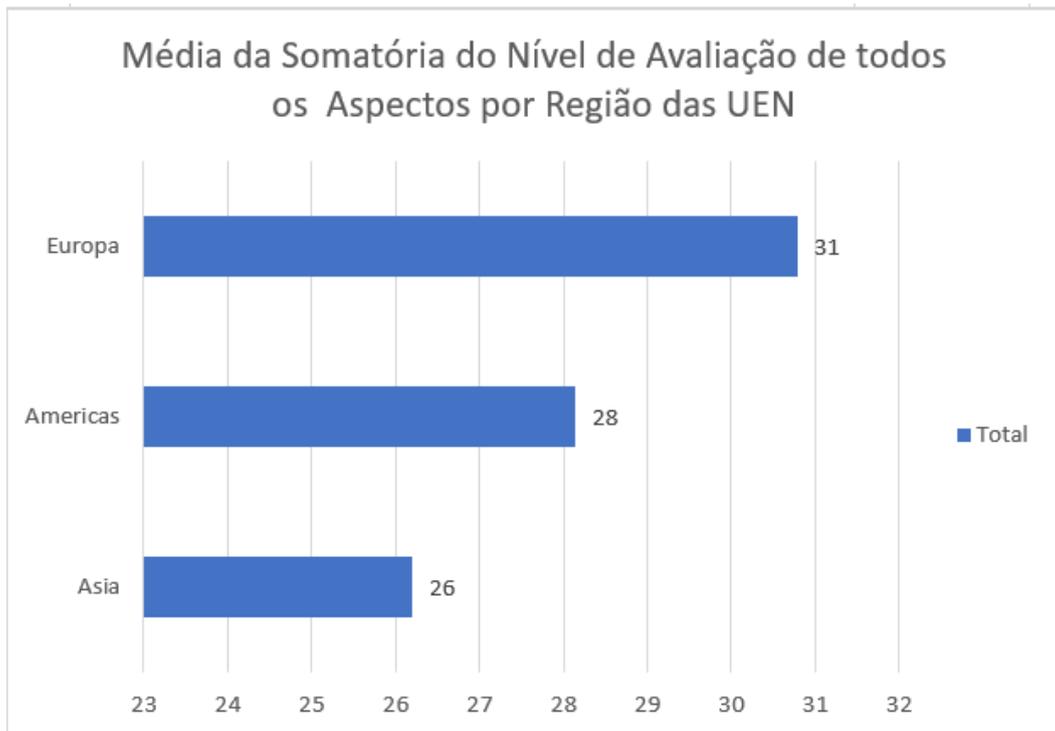


FIGURA 14. MÉDIA DA SOMATÓRIA DO NÍVEL DE AVALIAÇÃO DE TODOS OS ASPECTOS POR REGIÃO DE CADA UEN

2) Qualificação dos entrevistados

Na Figura 15 e Figura 16 é possível observar os dados em relação aos entrevistados. O maior percentual, sendo 54 %, são especialistas com no máximo 5 anos no cargo de atuação, 10 UENs, que representam 38 % das 26, têm um especialista com o cargo Engenheiro de Digitalização o que se encontra dedicado à implantação.

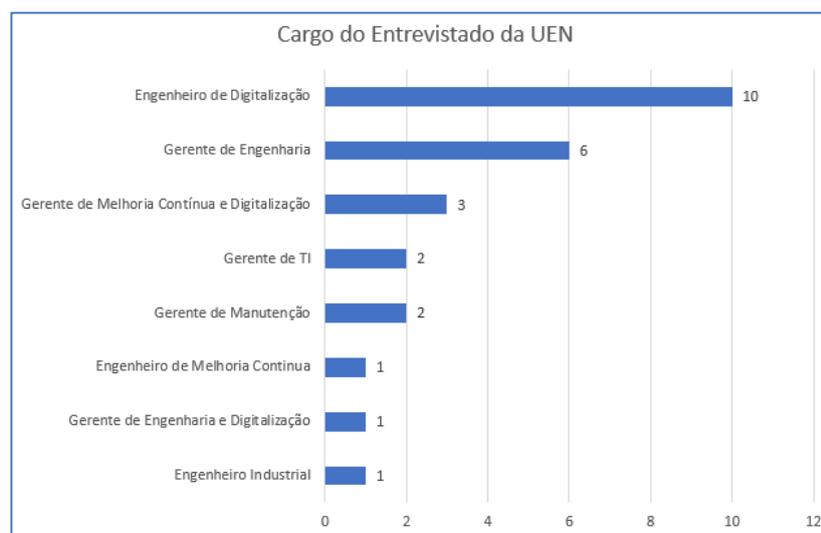


FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO POR CARGOS DOS ENTREVISTADOS EM CADA UEN

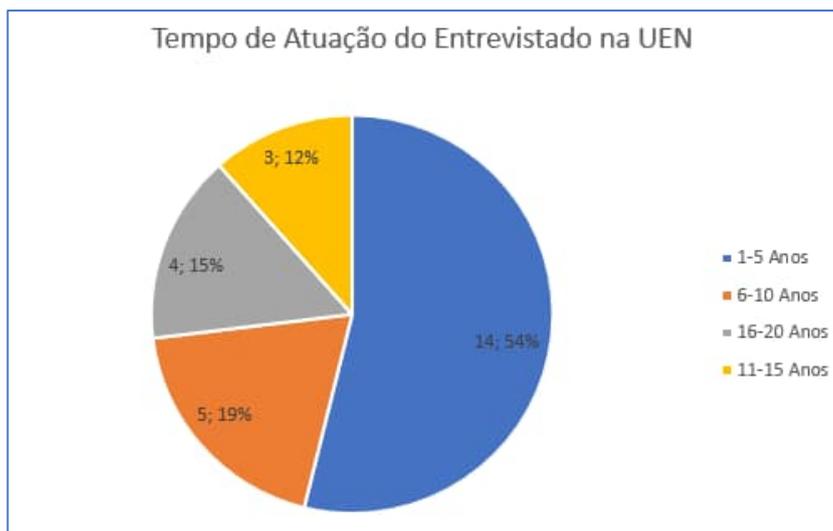


Figura 16. Tempo de atuação dos entrevistados nas UENs

4.3.3.6.1.2 LIÇÕES APRENDIDAS

A partir das repostas dos questionários foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os especialistas das 26 UENs foram mapeadas as lições aprendidas para cada aspecto em que a UEN obteve o nível de avaliação máximo e associado aos níveis de avaliação da maturidade para a implantação do conceito I4.0 (Quadro 17), da Acatech. Estas lições estão detalhadas no Quadro 18 para o nível de informatização, no Quadro 19 para o nível de conectividade e no Quadro 19 para o nível de Visibilidade, Transparência e Adaptabilidade. O conceito de lições aprendidas permeia todas as seções anteriores do trabalho apresentado.

QUADRO 18. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL INFORMATIZAÇÃO

Aspecto	Descrição do Aspecto	Associação com o nível de Avaliação da Acatech	Lições Aprendidas
1. Estratégia e governança	Estratégia e governança da fábrica para a transformação digital	1) Informatização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ser dono da propriedade intelectual dos desenvolvimentos de software e sistemas 2. Plano de comunicação com todos os stakeholders da UEN sobre digitalização e Indústria 4.0 3. Trabalhar desde o início do projeto de implantação das novas tecnologias o gerenciamento de mudança envolvendo toda média e alta liderança da UEN 4. Antes de iniciar a implantação de qualquer tecnologia, software e sistemas, entender os requisitos do negócio e quantificar os reais benefícios. 5. É mandatório ter estabilidade nos processos de manufatura e transacionais, a UEN deve implementar o <i>lean manufacturing</i> antes de escalar a implementação de tecnologias 6. Utilizar o assessment da tecnologia atual instalada como premissa para definir as melhorias necessárias no plano de investimento da UEN 7. Alinhar plano de investimento da UEN com a necessidade de infraestrutura 8. Não escalar implementação de soluções sem criar a fundação para conectividade na UEN 9. Começar com projetos onde o nível de conhecimento técnico em tecnologias do departamento é maior, é facilitador para implementar a tecnologia e começar a ter os benefícios. Por exemplo, manutenção preditiva com monitoramento de equipamento, o usuário final é o técnico de manutenção 10. Plano detalhado de implantação dos sistemas <i>legacy</i> e novos

QUADRO 19. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL INFORMATIZAÇÃO

2. Dados Master	Como as fontes de dados e os sistemas de dados são gerenciados	1) Informatização	11. Integrar todas as informações dos sistemas em um único data-base
3. Organização para operações de TI e Manufatura	Organização para operar e manter com sucesso as soluções digitais para ter um ambiente de fabricação estável		12. Treinar o time da manutenção para os temas técnicos de infraestrutura e conectividade. Utilizar
			13. Os conceitos e gerenciamento de manutenção preventiva devem estar considerados para todos os assuntos de infraestrutura e TI
4. Competência da Força de Trabalho	Existem estruturas em vigor e em uso para o aprendizado contínuo e a reaprendizagem de habilidades novas e existentes. O funcionário tem isso em seu plano de desenvolvimento.		14. Parcerias com instituições de ensino e empresas que fornecem tecnologia para a execução de workshops com os diferentes níveis da UEN
			15. Utilizar os centros de treinamento e criar simuladores das estações de trabalho utilizando as tecnologias habilitadoras para acelerar o treinamento e desenvolvimento do time operacional
			16. Desenvolver parceiros locais para desenvolvimento de softwares e sistemas
5. Organização para a transformação digital	Organização da fábrica e funções designadas para executar a estratégia e o mapa para a transformação digital		17. Focar no desenvolvimento e treinamento da média gerência no chão de fábrica, vai agilizar o processo de implementação como as tecnologias geram mais transparência das informações de processos, muitos gerentes entendem esta transparência como ameaça
			18. Estrutura organizacional dedicada em cada UEN com engenheiros de digitalização e dentro do mesmo organograma do responsável de implantação do <i>lean manufacturing</i> facilita a gestão da mudança
			19. Durante processo de implantação de sistemas como MES deixar claro qual papel e responsabilidade de cada departamento para utilização no processo de manufatura da UEN
			20. O principal fator para habilitador a rastreabilidade dos componentes no chão de fábrica é <i>change management</i> robusto para que todas as áreas utilizem o sistema implementado
		21. UEN com novos processos: iniciar o processo de produção com a maioria das tecnologias habilitadoras implementada, reduz problemas de <i>change management</i>	
		22. UEN com processos <i>legacy</i> : Alinhar estratégia de digital <i>change management</i> com o time de Lean Manufacturing	

QUADRO 20. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA NÍVEL CONECTIVIDADE

Aspecto	Descrição do Aspecto	Associação com o nível de Avaliação da Acatech	Lições Aprendidas
6. Sensores e CLP	Sensores e CLP para capturar dados das máquinas	2) Conectividade	23. Alinhar as especificações técnicas de IT/OT da UEN com as especificações do time central
7. Qualidade na produção	Inspeções de qualidade, liberações de máquinas, como as informações estão disponíveis e os resultados são armazenados		24. Para aquisição ou reforma de novas máquinas para o processo produtivo, incluir na especificação técnica da máquina os protocolos de IOT padrão, isto habilita a conectividade para extrair dados de parâmetros de processo.
8. LAN de chão de fábrica	Conectividade de rede no chão de fábrica		25. Treinar todo o time de engenharia de manufatura, engenharia industrial, qualidade para utilizar o sistema com as informações disponíveis. Após implementação desinstalar sistema antigos, utilizar os sistemas antigos apenas com autorização da gerência
9. Coleta de dados de processo	Declaração da produção, quebras não planejadas, status da produção etc.		26. Infraestrutura resiliente para evitar problemas de conexão, e perder a "credibilidade" no chão de fábrica dos novos sistemas
10. Coleta de dados de produto	Dados de medição e rastreabilidade		27. Utilizar os dados nas reuniões diárias para tomada de decisão ajuda o time entender a importância da coleta dados, melhora a gestão da mudança
11. Instalações e Utilidades	Nível de digitalização para serviços de instalações, como consumo de energia, painéis solares, aquecimento e resfriamentos		28. Integrar os sistemas de manutenção, produção com o ERP utilizado pela UEN
			29. Padronizar os parâmetros de processo para serem coletados e analisados
			30. Definir uma máquina piloto para coletar os dados antes de escalar a solução
			31. Antes de implementar sistemas de rastreabilidade e coleta de dados definir com o time do projeto qual será o propósito e objetivo com a análise dos dados, para evitar desperdícios com armazenamento
			32. Iniciar a coleta de dados na área onde tem o maior consumo e impacto financeiro, vai ajudar os mostrar para a alta liderança a aprovar investimentos para conectar toda as utilidades. Padronizar os protocolos de conectividade da área de utilidades.

QUADRO 21. LIÇÕES APRENDIDAS MAPEADAS PARA OS NÍVEIS VISIBILIDADE, TRANSPARÊNCIA E ADAPTABILIDADE

Aspecto	Descrição do Aspecto	Associação com Nível de Avaliação da Acatech	Lições Aprendidas
12. Informação e visualização	Como a informação no chão de fábrica é visualizada		33. Digitalizar todos os indicadores do chão de fábrica e utilizar apenas uma data base
			34. Compartilhar com o time da operação do "chão de fábrica" qual informação é mais relevante antes da implantação. Importante não saturar com informações que não agregam valor.
13. Planejamento	Sequenciamento totalmente automatizado, incluindo liberação automática para a máquina.	3) Visibilidade	35. Após a implementação definir uma cadeia de ajuda com papel e responsabilidade para suporte quando ocorrer desvios no sistema
			36. Qualquer alteração e/ou de tempos de ciclo, OEE, dos processos devem comunicadas para todo time e atualizar a base de dados do sistema, esta ação evita problemas no algoritmo que calcula sequenciamento automático
14. Integração Vertical:	Todos os produtos e processos estão conectados. Todos os sistemas atualizados e sincronizados de forma automática	4) Transparência	37. O principal habilitador para alinhar a funcionalidade de visualização em tempo real das operações do armazém de componentes integrada com a gestão de materiais no chão de fábrica e gestão do estoque é a rastreabilidade de todas as movimentações dos componentes entre cada operação no chão de fábrica.
			38. O principal habilitador o planejamento e programação da produção é a rastreabilidade de todas as movimentações dos componentes entre cada operação no chão de fábrica.
15. Monitoramento de Equipamento	Monitoramento de máquinas, dispositivos, sensores no chão de fábrica	6) Adaptabilidade	39. Definir quais parâmetros críticos para o processo que devem ser coletados Trabalhar com provas de conceitos

Com as entrevistas realizadas com os especialistas das 26 UENs, foi possível realizar um agrupamento das lições aprendidas para orientar a etapa de compartilhamento de experiências na estruturação do método de gestão do processo de implantação nas diferentes UENs de uma empresa. Como apresentado no Quadro 17 a maioria das UENs se encontra no estágio inicial para implantação do conceito Indústria 4.0, sendo assim, grande parte das lições aprendidas estão nos níveis de informatização e conectividade.

No total foram listadas 39 lições aprendidas. Um dos desafios durante as entrevistas foi identificar os fatores chave para melhorar o nível do aspecto da UEN, estes fatores podem ser observados nas descrições das lições aprendidas nos Quadros 18 a 21. As entrevistas foram gravadas para uma melhor análise dessas lições. Em resumo, segue a quantidade de lições aprendidas para cada nível de avaliação da Acatech: Informatização – 22; Conectividade – 10; Visibilidade – 4; Transparência – 2; Adaptabilidade – 1.

Foram mapeados 15 aspectos com o nível máximo de avaliação, sendo este o valor 3, os demais aspectos com nível de avaliação abaixo de 3 não foram considerados no escopo desta pesquisa.

4.3.3.7 Plano de ação para implantar o aspecto utilizando lições aprendidas das UEN com nível de avaliação máximo no aspecto

O plano de ação é geralmente um documento contendo informações como objetivos, ações e responsáveis com as suas respectivas datas de entrega. Esta ferramenta tem o objetivo de descrever algumas das atividades da implantação do aspecto, contendo: o aspecto a ser implantado, descrição do aspecto, a descrição do nível atual e proposto da avaliação do aspecto. Como apresentado na seção (4.2.4), o processo de implantação do conceito Indústria 4.0 da empresa se encontra em um nível de maturidade inicial, existem atualmente planos de ação para implantação dos aspectos que não consideravam as lições aprendidas de outras UEN.

No Quadro 22 se apresenta um exemplo de plano de ação para aspecto “Qualidade na Produção”, incluído as lições aprendidas mapeadas nos quadros 19 e 20.

QUADRO 22. EXEMPLO DE PLANO DE AÇÃO PARA MELHORIA DO ASPECTO UTILIZANDO LIÇÕES APRENDIDAS DE UNE COM NÍVEL DE AVALIAÇÃO MÁXIMO NO ASPECTO

Aspecto: Qualidade na Produção						
Descrição: Inspeções de qualidade, liberações de máquinas, como as informações estão disponíveis e os resultados são armazenados	Nível Atual (0): Nenhum suporte do sistema para a qualidade da produção. Instruções e resultados de qualidade são capturados em pape	Nível Proposto (3) : As tolerâncias dos produtos e instruções de trabalho são disponibilizadas e executadas pela máquina ou sistema de supervisão e aquisição de dados				
Atividades	Status	Data	Duração	Comentários	Área responsável	Lições Apreendidas de outras UEN
Definir o Estado Atual						
Elaborar mapa de processo atual com as entradas e saídas das informações						
Fazer avaliação de servidores e infraestrutura, verificar aspectos de conectividade						Alinhar as especificações técnicas de IT/OT da UEN com as especificações do time central Para aquisição ou reforma de novas máquinas para o processo produtivo, incluir na especificação técnica da máquina os protocolos de IOT padrão, isto habilita a conectividade para extrair dados de parâmetros de processo.
Verificar os sistemas atuais que estão em utilização						
Definir o Estado Futuro						
Elaborar mapa de processo Futuro com as entradas e saídas das informações relacionados ao aspecto						
Desenvolver business case com devido melhoria do aspecto						
Plano de Implementação						
Definir os recursos necessários dentro da UEN						
Definir estações de trabalho pilotos						
Definir plano de treinamento						Treinar todo o time de engenharia de manufatura, engenharia industrial, qualidade para utilizar o sistema com as informações disponíveis. Após implementação desinstalar sistema antigos, utilizar os sistemas antigos apenas com autorização da gerência
Executar o "usar <u>acceptance test</u> " e <u>sign-off</u> dos usuários						

4.3.4 ETAPA DE AVALIAÇÃO

Com base nos resultados das etapas anteriores se realiza a etapa de Avaliação do método. Após a definição das principais diretrizes para executar as atividades que vão formar parte da estrutura (fases) do método (na etapa de Desenvolvimento) e da obtenção de cada resultado ilustrado, esta etapa tem o objetivo de verificar por meio de uma análise qualitativa como se deu a experimentação das fases e atividades do método e se estas atenderam os requisitos de aceitação definidos no Ciclo de Relevância.

Algumas considerações sobre o núcleo corporativo para implantação do conceito Indústria 4.0, pôde se verificar durante a reunião com os especialistas de cada UEN que torna se importante o alinhamento nas estratégias e que muitas estratégias são comuns entre as UEN. Este núcleo corporativo realiza reuniões virtuais que são gravadas e podem ser utilizadas como entrada de informação para compartilhamento das estratégias como descrito na seção 4.3.3.1.

Sobre a identificação e seleção dos aspectos a serem considerados no processo de implantação do conceito indústria 4.0, como apresentado na seção 4.3.3.2, os 34 aspectos mapeados, ajuda a empresa a padronizar e a sistematizar forma de analisar as áreas, recursos, tecnologias, estrutura organizacional, ações e atividades.

Baseado nos 34 aspectos da fase anterior se determina os níveis de avaliação dos aspectos a serem considerados no processo de implantação do conceito indústria 4.0, como apresentado na seção 4.3.3.3, torna-se importante avaliar e entender de forma padronizada o nível de cada aspecto, para comparar os níveis dos aspectos diferentes UEN.

Definido os níveis de avaliação dos aspectos, se realiza a associação dos aspectos das UEN com as áreas estruturais da indústria 4.0 (Acatech), como apresentado na seção 4.3.3.4 durante a realização desta etapa do método pode se observar que 9% dos aspectos estão associados área estrutural recursos, 91% dos aspectos foram associados área estrutural Sistemas de informação, 3% dos aspectos foram associados a área estrutural Estrutura organizacional e 3% dos aspectos foram associados a área estrutural Cultura.

Definido associação dos aspectos com as áreas estruturais da indústria 4.0 (Acatech), realiza-se a associação dos aspectos das UEN e com os níveis de avaliação de Maturidade da indústria 4.0, como apresentado na seção 4.3.3.5, durante a realização desta etapa do método pode se observar que 26% dos aspectos estão associados ao nível de avaliação de informatização, 38% dos aspectos foram associados ao nível de avaliação conectividade, 15% dos aspectos foram associados ao nível de avaliação de visibilidade, 11% dos aspectos foram associados ao nível de avaliação transparência, 3% dos aspectos foram associados ao nível de avaliação capacidade preditiva e 3% dos aspectos foram associados ao nível de avaliação adaptabilidade.

Como também apresentado na seção 4.3.3.5, pode se observar no Quadro 17 o resultado do nível de avaliação dos aspectos das 26 UEN associado ao nível de avaliação da maturidade para implantação do conceito indústria 4.0. Atualmente nenhuma das UEN se encontram com 100% dos aspectos implementados em seu nível máximo. Utilizando os dados do quadro 17 a figura 17 apresenta os aspectos mais desenvolvidos nas UEN e também indica os aspectos onde se tem mais potencial para se desenvolver.

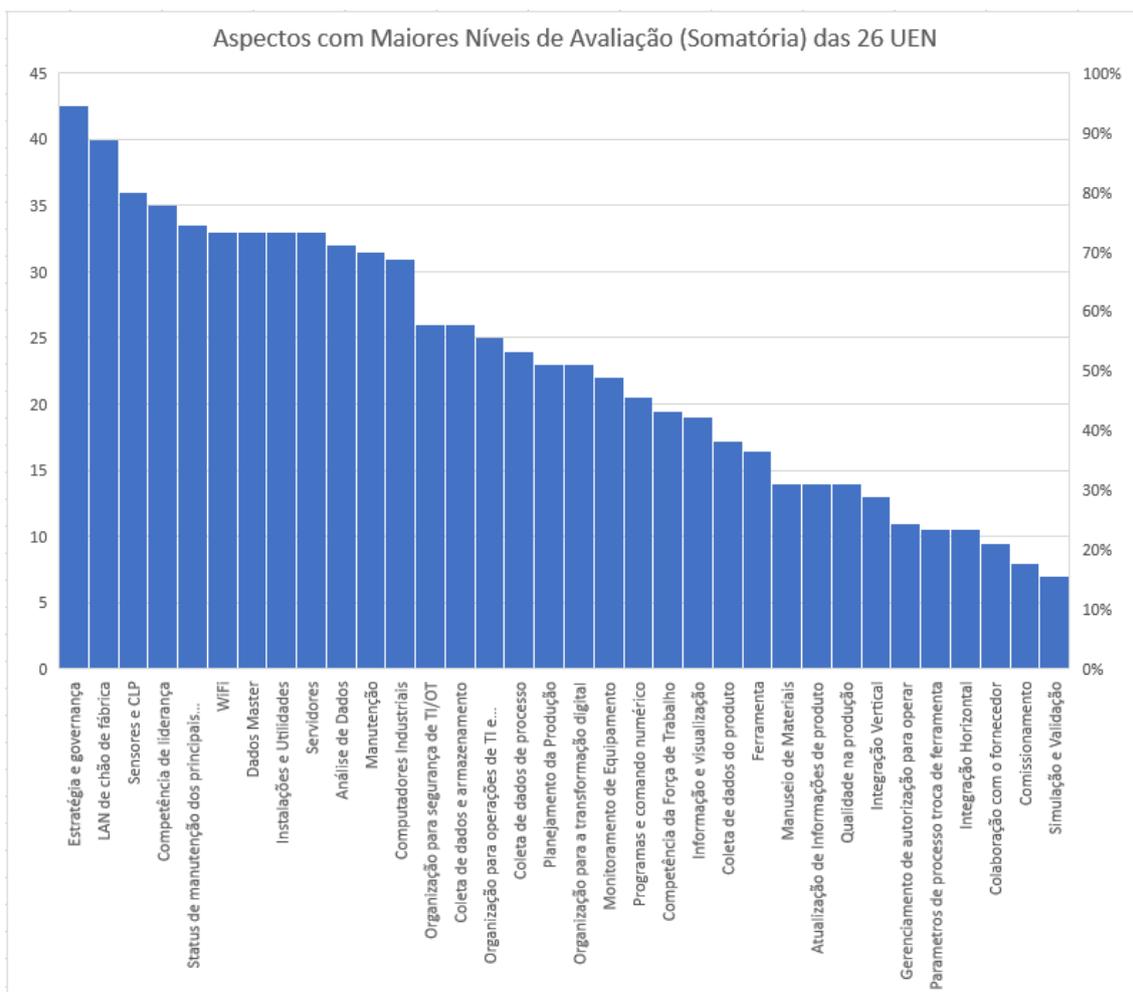


FIGURA 17. ASPECTOS COM MAIORES NÍVEIS DE AVALIAÇÃO (SOMATÓRIA) DAS 26 UEN

Sobre a etapa de Identificação e agrupamento de lições aprendidas e compartilhamento de experiências com a análise dos questionários e entrevistas realizadas com as 26 UEN, um dos desafios das sessões de lições aprendidas foi extrair os fatores chave e requerimentos para implantar o aspecto em seu nível máximo, como apresentado no quadro 17. A UEN da empresa tem a autonomia para definir qual aspecto melhorar e solicitar para UEN com o nível máximo no aspecto as lições aprendidas.

A última etapa do método é a elaboração do plano de ação para implantar os aspectos utilizando lições aprendidas de UEN com nível de Avaliação máximo no aspecto. Como apresentado na seção 4.3.3.7, durante as entrevistas com as 26 UEN foi validado um modelo de plano de ação considerando as lições aprendidas, como apresentado na Quadro 21.

4.3.5 ETAPA DE FINALIZAÇÃO

Esta etapa visa concluir o ciclo da DSR apresentando o resultado principal deste trabalho que é a proposta de um Método de gerenciamento da implantação do conceito Indústria 4.0 em UEN de uma empresa com base nas experiências adquiridas. Sendo assim, a partir de todos os resultados obtidos nas etapas anteriores pode-se apresentar uma representação esquemática do método proposto como ilustrado pela Figura 18.

A Figura 18, apresenta o fluxograma que compõe o Método para Gestão do Processo de Implantação do Conceito Indústria 4.0 nas Diferentes UENs de uma Empresa estruturado após o cumprimento das etapas dos três ciclos do *Design Science Research*.

O método proposto integra as 7 etapas em um único planejamento. A aplicação do método inicia-se com a etapa da criação do núcleo corporativo para implantação do conceito indústria 4.0, nesta etapa os especialistas de reúnem de forma virtual para discutir planos de ação para implantação dos aspectos. Passa-se à etapa de Identificação e Seleção dos Aspectos a Serem Considerados no Processo de Implantação do Conceito Indústria 4.0, nesta etapa utiliza-se o índice EDB Singapore adaptado para definir os aspectos a serem avaliados nas diferentes UENs. A terceira etapa é composta pela Determinação dos Níveis de Avaliação dos Aspectos a Serem Considerados no processo de Implantação do Conceito Indústria 4.0, a saída nesta etapa se tem o nível de avaliação de cada aspecto definido, sendo possível a avaliação em 4 níveis, como apresentado na seção 4.3.3.3. Após a definição dos níveis de avaliação do aspetos nas etapas 4 e 5 se realizam a Associação dos Aspectos das UENs com as Áreas Estruturais da Indústria e Associação dos Aspectos das UENs com os níveis de avaliação de Maturidade da Indústria 4.0 (Acatech), estas duas etapas de associação são importante para um melhor entendimento do conceito Indústria 4.0 durante a implantação dos aspectos, a saída desta etapa a gestão do núcleo corporativo faz o ranking das UENs com melhor nível no Aspecto.

Na etapa 6 é a Identificação e Agrupamento de Lições Aprendidas e Compartilhamento de Experiências, a UEN identifica o aspecto que precisa melhorar e solicita lições aprendidas para a UEN com melhor nível no aspecto.

A última etapa do método é a aplicação do Plano de Ação para Implantar o Aspecto Utilizando Lições Aprendidas de UEN com Nível de Avaliação Máximo no Aspecto.

Ressalta-se que para a aplicação do método proposto, conforme descrito na subseção 4.3.22, cada usuário deve ter os conhecimentos mínimos sobre o conceito indústria 4.0. O Método fornece as etapas e sequência em que estas devem ser desenvolvidas para o planejamento e execução efetiva, cabendo a cada usuário escolher, organizar e ajustar as atividades pertinentes a cada etapa. O método apresentando não tem o objetivo de nivelar o conhecimento e cultura da indústria 4.0 sendo este assunto mais abrangente que envolver a gestão do conhecimento.

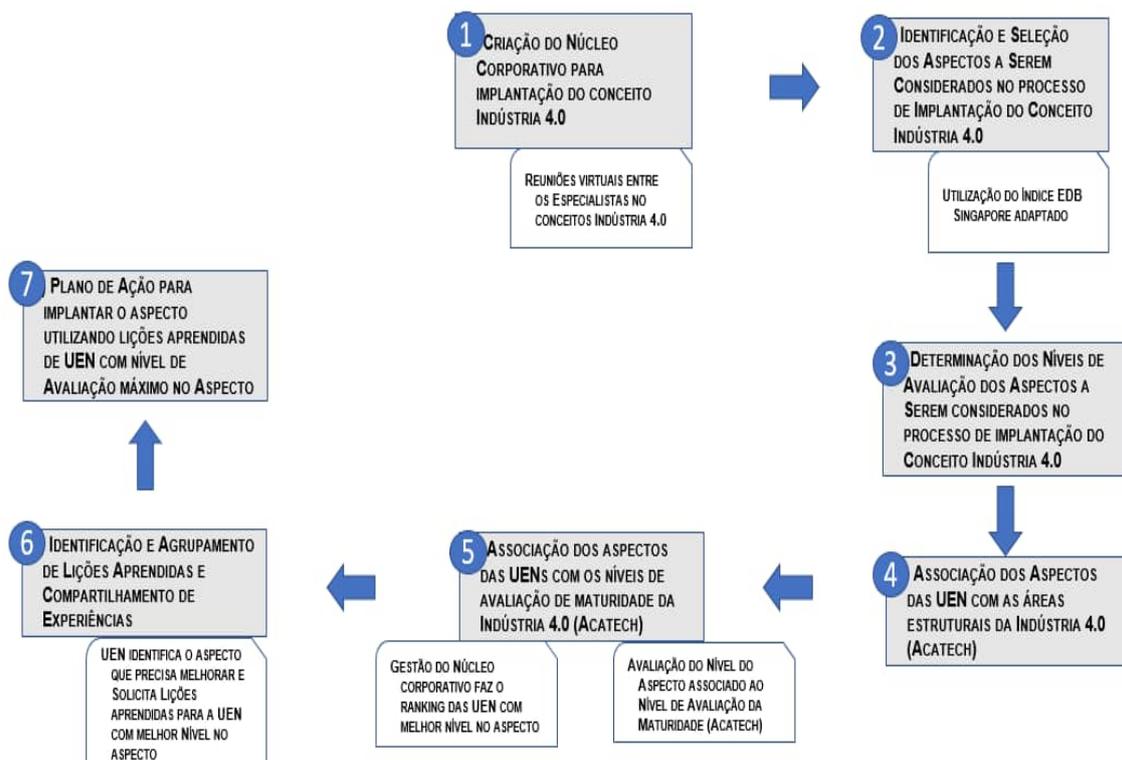


FIGURA 18. MÉTODO PARA GESTÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0 NAS DIFERENTES UENS DE UMA EMPRESA

5 CONCLUSÕES

O propósito deste capítulo é apresentar as conclusões obtidas a partir do desenvolvimento de um método para gestão do processo de implantação do conceito indústria 4.0 nas diferentes UEN de uma empresa. Adicionalmente, são apresentadas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

O conceito Indústria 4.0 une as principais inovações tecnológicas aplicadas a processos de manufatura aos processos de fabricação com objetivo de criar processos que gerenciam e integram pessoas, processos e tecnologia e que possam ter uma previsibilidade e adaptabilidade para suportar o aumento da variedade e complexidade com menor custo factível.

A implantação do conceito indústria 4.0 em diferentes UEN é um processo complexo e tem sido realizado de forma lenta. A maioria das indústrias não obtém progresso devido não traçar planos de ações, programas e projetos de implantação. Pesquisas sugerem que, para uma implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 em diferentes UEN, é preciso um método para compartilhar informações e experiência adquiridas entre as UEN.

Por outro lado, a literatura não apresenta pesquisas específicas sobre métodos de compartilhamento de experiências e lições aprendidas em diferentes UEN, os modelos pesquisados apresentam uma abordagem geral sem explorar de forma adequada e sem apresentar propostas de como utilizar as lições aprendidas e experiências adquiridas.

Dadas tais considerações, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para gerenciar o processo de implantação do conceito I4.0 em diversas UEN com base nas experiências adquiridas nos casos de sucesso de implantação e no compartilhamento de informações.

O desenvolvimento do método apoiou-se nos três ciclos do *Design Science Research* e resultou em um processo que contempla sete etapas. Na primeira etapa cria-se um núcleo corporativo para implantação do conceito Indústria 4.0. Na segunda etapa são identificados e selecionados os aspectos a serem considerados no processo de implantação do conceito indústria 4.0. A terceira etapa determina-se os níveis de avaliação dos aspectos a serem

considerados no processo de implantação. Na quinta etapa realiza-se a associação dos aspectos das UEN com os níveis de avaliação de maturidade da indústria 4.0 (Acatech). A sexta etapa identifica e agrupa-se as lições aprendidas e compartilhamento de experiências. Por fim, a sétima etapa realiza-se um plano de ação para implantar o aspecto utilizando lições aprendidas e experiências adquiridas da UEN com nível de avaliação máximo no aspecto.

O método mostrou-se adequado e sua validação e aplicabilidade foram verificadas em uma empresa do setor automotivo por meio questionário e entrevistas.

Durante a aplicação foram identificadas oportunidades para que os profissionais da empresa pudessem refletir e se atualizarem em relação diferentes ações e estratégias para a implantação dos aspectos com as discussões com diversas UEN.

O método aqui apresentado é um referencial inicial para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao compartilhamento de experiências e lições aprendidas em diferentes UEN para implantação do conceito indústria 4.0.

Esta pesquisa contribui para o desenvolvimento da teoria em relação a identificação, compreensão e sistematização das lições aprendidas e experiências adquiridas relacionadas a implantação do conceito indústria 4.0 em diferentes UEN de uma mesma empresa.

Como contribuição prática, o método desenvolvido se apresenta como um guia para as empresas que se propõem a implantar o conceito Indústria 4.0 nas diversas unidades de negócio e também se caracteriza como um complemento aos modelos de implantação do conceito indústria 4.0 existentes, promovendo uma implementação mais rápida e mais assertiva.

Por ser um conceito ainda em fase de construção, a literatura ainda apresenta muitas lacunas e questões que precisam ser esclarecidas. Observa-se que estas questões se estendem para o domínio das aplicações práticas nas empresas. Considerando-se tais fatos a complexidade e a abrangência do assunto, verifica-se que, no atual estágio do conhecimento, não é possível criar um método que seja efetivo e completo o suficiente para contemplar todas as lições aprendidas e experiências adquiridas em diferentes UEN, o que justifica trabalhos futuros. Uma outra limitação é o fato de o nível de avaliação dos

aspectos das UEN em sua grande maioria não estarem em seu nível máximo de implantação, outra limitação do método foi a utilização do índice de maturidade SIRI. No entanto, entende-se que isso não seja uma limitação significativa.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como oportunidades para trabalhos futuros citam-se as seguintes:

- Desenvolver uma sistemática que permita integrar o método proposto aos modelos de implantação do conceito indústria 4.0
- Criar, a partir do método proposto, aplicações específicas para várias áreas funcionais da UEN como, por exemplo logística.
- Aplicar o método utilizando outro índice de maturidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSSON, B. Why organizations? How and why people organize. Newbury Park, CA: Sage Publications, 1993.

ACATECH – National Academy of Science and Engineering. German Federal Government and the Länder. <https://en.acatech.de/>

ACATECH – National Academy of Science and Engineering. Índice de Maturidade para Implantação da I4.0. Disponível em: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf. Acesso em: 2023

AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M., AYYASH, M. Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.

ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). Journal of Innovation Management JIM, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2015.

ANDERL, R. Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In: 19th International Seminar on High Technology, Technological Innovations in the Product Development, Piracicaba, October 9, p. 1-14, 2014.

ANDERL, R. Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt am Main: VDMA-Verlag, 2015.

ANDERL, R., ANOKHIN, O. ARNDT, A. Efficient Factory 4.0 Darmstadt-Industrie 4.0 implementation for midsize industry. In: Sendler, U. (Ed.), The Internet of Things, Springer, Heidelberg, pp. 117-131, 2018.

ANSOFF, H. I.; DE CLERCK, R. P.; HAYES, R. L. Do Planejamento Estratégico à Administração Estratégica. São Paulo, Editora Atlas, 1981.

ANSOFF, I. The New Business Strategy. Atlas, São Paulo, 1990.

ATZORI, L., IERA, A., MORABITO, G. The internet of things: a survey. Computer Networks, Vol. 54 No. 15, pp. 2787-2805, 2010.

BABICEANU, R. F.; SEKER, R. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook. Computers in Industry, Vol. 81 No. 1, pp. 128-137, 2016.

BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; NOR, N. H.; AZLI, M. F. T. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, eISSN 2180–3722, p. 137–143, 2016.

BAUERNHANSL, T. Komplexität bewirtschaften: Die Einführung von Industrie 4.0 in Produktionssysteme. *mav Innovationsforum*. Universität Stuttgart. 2014. Online: http://www.mav-online.de/c/document_library

BAUERNHANSL, T.; KRÜGER, J.; REINHART, G.; SCHUH, G. WGP-Standpunkt Industrie 4.0. Hg. v. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik Wgp e. V. 2016. Disponível em: <https://wgp.de/de/wgp-standpunktpapier-fuehrt-durchs-schluesselloch-zu-industrie-4-0/>

BAUMEISTER, R. F., LEARY, M. R. Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, v. 1, n. 3, p. 311–320, 1997. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311>

BECKER, T., BURGHART, C., NAZEMI, K., NDJIKI-NYA, P., RIEGEL, T., SCHÄFER, R., WISSMANN, J. Core technologies for the internet of services. In Wahlster, W., Grallert, H.-J., Wess, S., Friedrich, H. and Widenka, T. (Eds), *Towards the Internet of Services: The THESEUS Research Program*, Springer, Heidelberg, pp. 59-88, 2014.

BEINHOCKER, E. D. The adaptable corporation. *McKinsey Quarterly*, n. 2, p. 76, 2006.

BELL, M., FIGUEIREDO, P. N. Innovation capability building and learning mechanisms in latecomer firms: recent empirical contributions and implications for research. *Canadian Journal of Development Studies*, v. 33, n. 1, p. 14–40, 2012.

BLAU, P., SCOTT, W. R. *Formal organizations*. San Francisco: Chandler, 1962.

BOOS, W.; VÖLKER, M.; SCHUH, G. Grundlagen des Managements produzierender Unternehmen. In: Schuh, G., Kampker, A. (eds.) *Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1*. VDI-Buch, p. 1–62. Springer, Heidelberg, 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14502-5_1

BUCKLEY, P., CASSON, M. A theory of cooperation in international business. *Management International Review*, 28, 19–38, 1988.

BUZZELL, R. D.; GALE, B. T. *PIMS – O Impacto das Estratégias de Mercado no Resultado das Empresas*. São Paulo, Livraria Editora Pioneira, 1991.

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 35, p. 77-87, 2011.

CALARGE, A.F.; MAIA, A. G.; LIMA, P.C. Um estudo de caso analisando a influência de unidades estratégicas de negócio no gerenciamento da qualidade total. *Revista de Negócios*, v. 4, n.4, p. 37- 43, 1999.

CHESBROUGH, H. Business model innovation: it's not just about technology anymore. *Strategy Leadership*, v. 35, n. 6, p. 12–17, 2007.

CHIAVERSIO, M.; ROMANELLO, R. Industry 4.0 Technologies and Internationalization: Insights from Italian Companies. *International Business in the Information and Digital Age*, 2018.

CIUPEK, M. Neues Leben für alte Maschinen. In: *VDI nachrichten*, 2016. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Neues-Leben-fuer-alte-Maschinen>.

COLE, M. L., COX, J. D., STAVROS, J. M. Building collaboration in teams through emotional intelligence: Mediation by SOAR (strengths, opportunities, aspirations, and results). *Journal of Management & Organization*, v. 25, n. 2, p. 263–283, 2019.

CONTI, M., PASSARELLA, A., DAS, S.K. The Internet of People (IoP): a new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 41 No. 1, pp. 1-27, 2017.

CONTRERAS, J. A. Unidad Estratégica de Negocio. Recuperado de <http://www.joseacontreras.net/direstr/cap94.htm>. Acesso em 2022.

DE SILVA, P., P. DE SILVA. Ipanera: An Industry 4.0 Based Architecture for Distributed Soil-less Food Production Systems. *Proceedings of the 1st Manufacturing and Industrial Engineering Symposium*, Colombo, Sri Lanka, 2016.

DEAN, J. W., SUSMAN, G. I. Strategic responses to global competition. In C. Snow (Ed.), *Strategy, organization design, and human resource management*, p. 297-331. Greenwich, CT: JAI Press, 1989.

DEVEZAS, T. AND SARYGULOV, A. *Industry 4.0: Entrepreneurship and Structural Change in the New Digital Landscape*. Springer, Heidelberg, 2017.

DILLENBOURG, P., BAKER, M., BLAYE, A., O'MALLEY, C. The evolution of research on collaborative learning. In E. Spada & P. Reiman (Eds.), *Learning in humans and machine: Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 189–211). Oxford: Elsevier, 1996.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; SOKOLOV B. Ripple effect in the supply chain: An analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 1–2, p. 414–430, 2018.

DOSHI, A., SMITH, R.T., THOMAS, B.H., BOURAS, C. Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for

automotive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 89 Nos 5-8, pp. 1279-1293, 2017.

ELIA, V., GNONI, M.G., LANZILOTTO, A. Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: an AHP based model. *Expert Systems with Applications*, Vol. 63 No. 1, pp. 187-197, 2016.

EPPEL, E. Collaborative governance: Framing New Zealand practice. Institute for Governance and Policy Studies, Victoria University of Wellington. Wellington, New Zealand, 2013.

ERDOGAN, S. A.; ŠAPARAUSKAS, J.; TURSKIS, Z. Decision Making in Construction Management: AHP and ExpertChoice Approach. *Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. *Procedia Engineering*, v. 172, p. 270 – 276, 2017.

EROL, S., SCHUMACHER, A., SIHN, W. Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model. *Proc. of International Conference on Competitive Manufacturing (COMA16)*, Stellenbosch, South Africa, 2016.

ESMAEILIAN, B., BEHDAD, S., WANG, B. The evolution and future of manufacturing: a review. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 39 No. 1, pp. 79-100, 2016.

FUSCO, J. P. A. Considerações Sobre Gestão Competitiva de Preços. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

FUSCO, J. P. A. Desenvolvimento de UEN's para uma empresa de prestação de serviços do setor de informática - A KLC Data Teleinformática Ltda. In: *ENEGEP - XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, São Carlos, 1995. *Anais*, São Carlos, ABEPRO, 1995.

FUSCO, J. P. A. Unidades Estratégicas de Negócios - uma ferramenta para gestão competitiva de empresas. *Gestão & Produção*, v.4, n.1, p. 36-51, abr. 1997.

GALBRAITH, J. R. *Designing complex organizations*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.

GARVIN, D. A. *Gerenciando a Qualidade: A Visão Estratégica e Competitiva*. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1982.

GE. General Electric Company. *Background Note On Management Systems*. (Case) Boston: Harvard Business School, 1981. Case 111.

GERWIN, D. Manufacturing flexibility in the CAM era. *Business Horizons*, v. 32, n. 1, p. 78-84, 1989.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>

GILCHRIST, A. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Springer, Heidelberg, 2016.

GLOVA, J.; SABOL, T.; VADJA, V. Business Model for the Internet of Things Environment. *Procedia Economics and Finance*, v.15, p.1122-1129, 2014. [https://doi:10.1016/S2212-5671\(14\)00566-8](https://doi:10.1016/S2212-5671(14)00566-8).

GOECKS, L. S.; DE SOUZA, M.; LIBRELATO, T. P.; TRENTO, L. R. Design Science Research in practice: review of applications in Industrial Engineering. *Gestão & Produção*, v.28, n.4, p.e5811, 2021.

GOVINDARAJAN, V. Decentralization, Strategy, and Effectiveness of Strategic Business Units in Multibusiness Organizations. *The Academy of Management Review*, v. 11, n. 4, p. 844–56, 1986. <https://doi.org/10.2307/258401>

GTAI (Germany Trade & Invest). 2014. *Industries 4.0-Smart Manufacturing for the Future*. Berlin: GTAI.

GULATI, R., WOHLGEZOGEN, F., ZHELYAZKOV, P. The two facets of collaboration: Cooperation and coordination in strategic alliances. *The Academy of Management Annals*, v. 6, n. 1, p. 531–583, 2012.

GÜRDÜR, D., J. EL-KHOURY, T. SECELEANU, L. LEDNICKI. Making Interoperability Visible: Data Visualization of Cyber-physical Systems Development Tool Chains. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 4, p. 26–34, 2016. doi: 10.1016/j.jii.2016.09.002.

HAX, A. C.; MAJLUF, N. S. *The concept of strategy and process. A pragmatic approach*. Prentice Hall, Cliffs of Englewood, 1991.

HAYES, R. H., WHEELWRIGHT, S. C. Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, v. 57, n. 1, p. 133-140, 1979a.

HAYES, R. H., WHEELWRIGHT, S. C. The dynamics of product-process life cycles. *Harvard Business Review*, v. 57, n. 2, p. 127-136, 1979b.

HE, W., XU, L. A state-of-the-art survey of cloud manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 28 No. 3, pp. 239-250, 2015.

HERMANN, M., T. PENTEK, B. OTTO. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios." *Proceedings of 2016 49th Hawaii International Conference on Systems Science*, January 5–8, Maui, Hawaii, 2016. doi:10.1109/HICSS.2016.488.

HEVNER, A. R. A three-cycle view of design science research. *Scandinavian journal of information systems*, v.19, n.2, p.4, 2007.

HEVNER, A., MARCH, S. T., PARK, J., RAM, S. Design science research in information systems. *MIS Quarterly*, v.28, n.1, p.75-105, 2004.

HILL, C. W., JONES, G. R., SCHILLING, M. A. Strategic management: Theory: An integrated approach. Connecticut (CT), USA: Cengage Learning, 2014.

HILL, T. Manufacturing Strategy: Text and Cases. Irwin, Nova York, 1989.

HORVÁTH, D., SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, v. 146, p. 119–132, 2019.

HU, H., WEN, Y., CHUA, T.-S. AND LI, X. Toward scalable systems for big data analytics: a technology tutorial. *IEEE Access*, Vol. 2 No. 1, pp. 652-687, 2014.

HUBER, W. Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. In *Ein Praxisbuch*; Springer Vieweg: Wiesbaden, Germany, 2016; p. 16.

IVARI, J. A. A Paradigmatic Analysis of Information Systems as a Design Science. *Scandinavian Journal of Information Systems*, v.19, n.2, p. 39-64, 2007.

JASPERNEITE, J. Was Hinter Begriffen Wie Industrie 4.0 Steckt. *Computer & Automation*, v.12, p. 24–28, 2012.

JESCHKE, S., BRECHER, C., MEISEN, T., ÖZDEMİR, D., ESCHERT, T. Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. In Jeschke, S., Brecher, C., Song, H. and Rawat, D.B. (Eds), *Industrial Internet of Things*, Springer, Heidelberg, pp. 3-19, 2017.

JOHNSON, G.; SCHOLE, K.; WHITTINGTON, R. *Exploring Corporate Strategy*. Eighth edition, Prentice Hall, 2008.

KAGERMANN, H., LUKAS, W.-D., WAHLSTER, W. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*, 13, 2-3, 2011.

KAGERMANN, H., W. WAHLSTER, J. HELBIG. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. *Acatech-National Academy of Science and Engineering*, Germany, 2013.

KAGERMANN, H.; NONAKA, Y. (Eds.). Revitalizing Human-Machine Interaction for the Advancement of Society. Perspectives from Germany and Japan (*acatech DISCUSSION*), Munich, 2019.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, v. 101, p. 107–119, 2018.

KAUFMANN, T.; FORSTNER, L. Die horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie. Chancen und Herausforderungen. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B., Vogel-Heuser, B. (eds.). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, p. 359–367. Springer, Wiesbaden, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_18

KHAN, W.A., RAOUF, A., CHENG, K. Augmented reality for manufacturing. In Khan, W.A., Raouf, A. and Cheng, K. (Eds), *Virtual Manufacturing*, Springer, Heidelberg, pp. 1-56, 2011.

KIEL, D.; MÜLLER, J.; ARNOLD, C. VOIGT, K-I. Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. XXVIII ISPIIM Innovation Conference – Composing the Innovation Symphony, Austria, Vienna on 18-21 June 2017.

KIM, J. A Review of Cyber-physical System Research Relevant to the Emerging IT Trends: Industry 4.0, IoT, Big Data, and Cloud Computing.” *Journal of Industrial Integration and Management*, v. 2, n. 3, 2017. doi: 10.1142/S2424862217500117

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.

KOCIAN, J., TUTSCH, M., OZANA, S., KOZIOREK, J. Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. In Sambath, S. and Zhu, E. (Eds), *Frontiers in Computer Education*, Springer, Heidelberg, pp. 491-499, 2012.

KOWNATZKI, M., WALTER, J., FLOYD, S. W., LECHNER, C. Corporate control and the speed of Strategic Business Unit decision making. *Academy of Management Journal*, v. 56, n. 5, p. 1295–1324, 2013. <http://dx.doi.org/10.5465/amj.2011.0804>

KRISTIANTO Y., GUNASEKARAN A., HELO P. Building the ‘triple R’ in global manufacturing. *International Journal of Production Economics*, v. 183, p. 607–619, 2017.

KUMAR, V., VERMA, P., SHARMA, R. R. K., KHAN, A. F. Conquering in emerging markets: Critical success factors to enhance supply chain performance. *Benchmarking: An International Journal.*, v. 24, n. 3, p. 570–593, 2017.

LACERDA, D.P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J.A.V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, v.20, n.4, p.741-761, 2013.

LAI, E. R. Critical thinking: A literature review. *Pearson's Research Reports*, v. 6, p. 1–49, 2011.

LASI, H., F. PETER, F. THOMAS, M. HOFFMANN. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LAVALLE, S., LESSER, E., SHOCKLEY, R., HOPKINS, M.S., KRUSCHWITZ, N. Big data, analytics and the path from insights to value”, MIT Sloan Management Review, Vol. 52, No. 2, pp. 21-32, 2011.

LAVIE, D.; STETTNER, U.; TUSHMAN, M. L. Exploration and Exploitation Within and Across Organization. The Academy of Management Annals, v. 4, n. 1, p. 109–155, 2010.

LEE, J., BAGHERI, B., KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, Vol. 3, No. 1, pp. 18-23, 2015.

LEINEWEBER, S.; WIENBRUCH, T.; LINS, D.; DIETER, K. Concept for an evolutionary maturity based Industry 4.0 migration model, Procedia CIRP, v. 72, p. 404-409, 2018.

LEMENEN, S., WESTERLUND, M., RAJAHONKA, M., SIURUAINEN, R. Towards IOT ecosystems and business models. In Andreev, S., Balandin, S. and Koucheryavy, Y. (Eds), Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking, Springer, Heidelberg, pp. 15-26, 2012.

LIAO, Y., DESCHAMPS, F., LOURES, E.D.F.R., RAMOS, L.F.P. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. International Journal of Production Research, Vol. 55, No. 12, pp. 3609-3629, 2017.

LICHTBLAU, K.; STICH, V.; BERTENRATH, R.; BLUM, M.; BLEIDER, M.; MILLACK, A.; SCHMITT, K.; SCHMITZ, E.; SCHRÖTER, M. IMPULS - Industrie 4.0-Readiness. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln; 2015.

LORSCH, J., ALLEN, S. Managing diversity and interdependence. Boston: Division of Research, Harvard Business School, 1973.

LU, Y. Cyber Physical System (CPS)-based Industry 4.0: A Survey. Journal of Industrial Integration and Management, v. 2, n. 3, 2017b. doi: 10.1142/S2424862217500142

LU, Y. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. Journal of Industrial Information Integration, v. 6, p. 1–10, 2017a. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.

MAGALHÃES, M.; PEREIRA, M.; D`OREY, F. The marketing strategy and implementation of Strategic Business Units - How to choose a methodology of segmentation strategic marketing? International Journal of Entrepreneurship, v. 23, n. 3, 2019.

MAHDIRAJI, H. A.; ZAVADSKAS, E. K.; SKARE, M.; KAFSHGAR, F. Z. R.; ARAB, A. Evaluating strategies for implementing industry 4.0: a hybrid expert oriented approach of BWM and interval valued intuitionistic fuzzy TODIM. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, v. 33, n. 1, p.1600-1620, 2020. DOI: 10.1080/1331677X.2020.1753090

MANSON, N. J. Is operations research really research? *Orion*, v.22, n.2, p.155-180, 2006.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, v.15, n.4, p.251-266, 1995.

MARKIDES, C. Disruptive reality. *Business Strategy Review*, v. 24, n. 3, p.36-43, 2013.

MEREDITH, J. R. The strategic advantages of the factory of the future. *California Management Review*, v. 29, n. 3, p. 27-41, 1987.

MIRANDA, J., MÄKITALO, N., GARCIA-ALONSO, J., BERROCAL, J., MIKKONEN, T., CANAL, C., MURILLO, J.M. From the internet of things to the internet of people. *IEEE Internet Computing*, Vol. 19 No. 2, pp. 40-47, 2015.

MONOSTORI, L. Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, v. 17, p. 9–13, 2014.

MOTTA, G., YOU, L., SACCO, D., MA, T., MICELI, G. Mobility service systems: Guidelines for a possible paradigm and a case study. In: *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, Qingdao, October, IEEE, New York City, NY, pp. 48-53, 2014.

MÜLLER, B.; VOIGT, E. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. 2018.

MÜLLER, J., VOIGT, K.-I. Industry 4.0- integration strategies for SMEs". *International Association for Management of Technology, IAMOT 2017 Conference Proceedings*, (Vienna).

NEUGEBAUER, R., HIPPMANN, V., LEIS, M., LANDHERR, M. Industrie 4.0- Form the perspective of applied research. *49th CIRP Conference On Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016)*, p. 2-7, 2016.

OESTERREICH, T., TEUTEBERG, F. Understanding the Implications of Digitization and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. *Computers in Industry*, v. 83, p. 121–139, 2016.

OLIVEIRA, D. P. *Holding, Administração Corporativa E Unidade Estratégica De Negócio*. São Paulo: Atlas, 2015.

OLIVEIRA, T., THOMAS, M., ESPADANAL, M. Assessing the determinants of cloud computing adoption: An analysis of the manufacturing and services sectors. *Information & Management*, Vol. 51 No. 5, pp. 497-510, 2014.

OOI, K.-B., LEE, V.-H., TAN, G.W.-H., HEW, T.-S., HEW, J.-J. Cloud computing in manufacturing: the next industrial revolution in Malaysia? *Expert Systems with Applications*, Vol. 93, No. 1, pp. 376-394, 2018.

OVERBY, E.; BHARADWAJ, A.; SAMBAMURTHY, V. Enterprise agility and the enabling role of information technology. *European Journal of Information Systems*, v. 15, n. 2, p.120-131, 2006. DOI: 10.1057/palgrave.ejis.3000600

PARTHASARTHY, R., SETHI, S. P. The Impact of Flexible Automation on Business Strategy and Organizational Structure. *The Academy of Management Review*, v. 17, n. 1, p. 86–111. JSTOR, 1992. <https://doi.org/10.2307/258649>.

PENROSE, E. *The theory of the growth of the firm*. Oxford: Blackwell, 1959.

PERUZZINI, M., GREGORI, F., LUZI, A., MENGARELLI, M., GERMANI, M. A Social Life Cycle Assessment Methodology for Smart Manufacturing: The Case of Study of a Kitchen Sink. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 7, p. 24–32, 2017. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.001.

PETERSON, N. L. Interagency collaboration under part H: The key to comprehensive, multidisciplinary, coordinated infant/toddler intervention services. *Journal of Early Intervention*, v. 15, n. 1, p. 89–105, 1991.

PFOHL, H. C., YAHSI, B., KURNAZ, T. *Concept and diffusion-factors of Industry 4.0 in the supply chain*. Dynamics in Logistics. Springer International Publishing, pp. 381–390, 2017.

PORTER, M. E. *Competitive Strategy: Techniques For Analyzing Industries And Competitors*. New York: The Free Press, 1980.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição*. Editora Feevale, 2013.

QIN, J., LIU, Y., GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing FOR INDUSTRY 4.0 AND BEYOND. *PROCEDIA CIRP*, V. 52, P. 173–178, 2016.

RADOSEVIC, S., YORUK, E. Technology upgrading of middle-income economies: a new approach and results. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 129, p. 56–75, 2018.

RADOSEVIC, S., YORUK, E. Why do we need a theory and metrics of technology upgrading? *Asian J. Technol. Innov.* V. 24, (sup1), p. 8–32, 2016.

RENNUNG, F., LUMINOSU, C. T., DRAGHICI, A. Service Provision in the Framework of Industry 4.0. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 221, p. 372–377, 2016.

ROBERTS, J., O'CONNOR, P. The inter-agency services collaboration project. Toronto: The Wellesley Institute, 2008.

RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., HARNISCH, M. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, 2015. Disponível em: www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx

SABZIAN, H., GHARIB, H., NOORI, J., SHAFIA, M. A., SHEIKH, M. J. Forecasting the successful execution of horizontal strategy in a diversified corporation via a DEMATEL-supported artificial neural network — A case study. *arXiv arXiv:1805.10307*, 2018.

SANTOS, C., MEHRSAI, A., BARROS, A., ARAÚJO, M., ARES, E. Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, No. 1, pp. 972-979, 2017.

SCHOLTE, J. A. Defining Globalisation. *World Economy*, v. 31, p. 1471-1502, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2007.01019.x>

SCHUH, G., ANDERL, R., GAUSEMEIER, J., TEN HOMPEL, M., SILVA, A. C. Mudança organizacional: um modelo de transição. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 6, e22963464, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3464>.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; TEN HOMPEL, M. (Eds.). *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY)*, Munich 2020. www.acatech.de

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN-HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. (eds.). *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten (Acatech Studie)*. Ed. by W. Wahlster. Herbert Utz Verlag. München; 2017.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; THOMAS, C.; HAUPTVOGEL, A. Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (eds.). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, p. 277–296. Springer, Wiesbaden, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_14

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. In: Nassehi, A.; Newman, S. (Ed.): *The Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2016)*. CIRP - Procedia CIRP, Vol. 52; p. 161-166, 2016.

SIKORSKI, J.J., HAUGHTON, J., KRAFT, M. Blockchain technology in the chemical industry: machine-to-machine electricity market. *Applied Energy*, Vol. 195, No. 1, pp. 234-246, 2017.

SILVA, A. C. Organizational change: a transition model. *Research, Society and Development*, v. 9, p. e22963464, 2020b.

SILVA, A. C. Unidades estratégicas de negócios: uma pesquisa exploratória. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 2, e158922226, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2226>

SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SIPSAS, K.; ALEXOPOULOS, K.; XANTHAKIS, V.; CHRYSOLOURIS, G. Collaborative maintenance in flow-line manufacturing environments: An Industry 4.0 approach. In 5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production. *Procedia CIRP*, v. 55, p. 236 – 241, 2016.

SIRI – The Smart Industry Readiness Index. Índice de maturidade para implantação da I4.0. Disponível em:

<https://siri.incit.org/>

Acesso em: 2023

SLACK, N. *Vantagem Competitiva em Manufatura*. São Paulo, Atlas, 1993.

STAWIARSKA, E.; SZWAJCA, D.; MATUSEK, M.; WOLNIAK, R. Diagnosis of the Maturity Level of Implementing Industry 4.0 Solutions in Selected Functional Areas of Management of Automotive Companies in Poland. *Sustainability*, v. 13, p. 4867, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13094867>

STEFAN, L., THOM, W., DOMINIK, L., DIETER, K., BERND, K. Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 404-409, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.155>

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, v. 40, p. 536-541, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>

STRANDHAGEN, J.; ALFNES, E.; STRANDHAGEN, J.; SWAHN, N. Importance of production environments when applying Industry 4.0 to production logistics - a multiple case study. *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*. Manchester: Atlantis Press. p. 241-247, 2016.

STRAUS, D. *How to make collaboration work*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publishers, 2002.

STRÖMBLAD, J.; TOH, J. The theatrical rules in collaborative consumption - a case of Airbnb. Master thesis in International Marketing and Brand Management, 2017. Lund University, School of Economics and Management, 2017.

SUSMAN, G. I., DEAN, J. W. Strategic use of computer-integrated manufacturing in the emerging competitive environment. *Computer-Integrated Manufacturing Systems*, v. 2, n. 3, p. 133-138, 1989.

SZALAVETZ, A. Industry 4.0 and Capability Development in Manufacturing Subsidiaries. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 145, (May), p. 384–95, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.027>.

TAKAOKA, H. Horizontal strategy in a diversified corporation. (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology, 2011.

TAN, W., XU, Y., XU, W., XU, L., ZHAO, X., WANG, L. A Methodology toward Manufacturing Grid-based Virtual Enterprise Operation Platform. *Enterprise Information Systems*, v. 4, n. 3, p. 283–309, 2010. doi: 10.1080/17517575.2010.504888.

TELUKDARIE, A., BUHULAIGA, E., BAG, S., GUPTA, S., LUO, Z. Industry 4.0 Implementation for Multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 118, p. 316–29, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.030>.

THAMES, L., SCHAEFER, D. Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges”. In Thames, L. and Schaefer, D. (Eds), *Cybersecurity for Industry 4.0*. Springer, Heidelberg, pp. 1-33, 2017.

THAMES, L., SCHAEFER, D. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 12–17, 2016.

THOMPSON, J. D. *Organizations in action*. New York: McGraw-Hill, 1967.

TODEVA, E., KNOKE, D. Strategic alliances and models of collaboration. *Management Decision*, v. 43, n. 1, p. 123–148, 2005.

TRAPPEY, A., TRAPPEY, C., GOVINDARAJAN, U., CHUANG, A., SUN, J. A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for the Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, v. 33, p. 208–229, 2017.

UNDERWOOD, S. Blockchain beyond Bitcoin. *Communications of the ACM*, Vol. 59 No. 11, pp. 15-17, 2016.

USTUNDAG, A., CEVIKCAN, E. *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Springer, Heidelberg, 2017.

VANCIL, R. F. *Decentralization; Managerial ambiguity by design*. New York: Financial Executives Research Foundation, 1980.

VARGHESE, A., TANDUR, D. Wireless Requirements and Challenges in Industry 4.0. In Proceedings of 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), p. 634–638, 2014. Mysore: IEEE.

VEILE, J. W., KIEL, D., MÜLLER, J. M., VOIGT, K. I. Lessons Learned from Industry 4.0 Implementation in the German Manufacturing Industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 31, n. 5, p. 977–97, 2018. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>.

VEILE, J.W., KIEL, D., MÜLLER, J.M. AND VOIGT, K.-I. HOW TO IMPLEMENT INDUSTRY 4.0? AN EMPIRICAL ANALYSIS OF LESSONS LEARNED FROM BEST PRACTICES. International Association for Management of Technology IAMOT, 2018. Conference Proceedings.

VERMA, P., KUMAR, V., JHA, A., MUTHUKUMAAR, V., DO, M., SHARMA, N. K., GUPTA, S. K. The degree of collaboration between business units in diversified corporation: A strategic perspective. *Business Strategy and Development*, v. 2, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1002/bsd2.108>

VERMA, P., SHARMA, R. R. K. Relating leadership, control system and employee attributes to successful implementation of the horizontal strategy in conglomerates. *Review of Business Research, IABE*, v. 14, n.1, p. 105–110, 2014a.

VERMA, P., SHARMA, R. R. K. The linkages between business strategies, culture and compensation using Miles & Snow's and Hofstede culture framework. *International Journal of Business Strategy*, v. 14, n. 3, p. 111–116, 2014b.

VERMA, P., SHARMA, R. R. K. The linkages between horizontal strategy, person-environment fit and horizontal fit: An empirical study. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, v. 28, n. 2, p. 216–239, 2018.

VERMA, P., SHARMA, R. R. K., CHEN, L. H. Measuring organizational capabilities to horizontal strategy implementation for conglomerates. *Business Strategy & Development*, v. 3, n. 1, p. 64–76, 2020.

VOGEL-HEUSER, B. Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (eds.). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, p. 37–48. Springer, Wiesbaden, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_2

VOGEL-HEUSER, B., HESS, D. Guest editorial Industry 4.0—prerequisites and visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13 No. 2, pp. 411-413, 2016.

WAHLSTER, W. *Industrie 4.0 Maturity Index*. Acatech STUDY 60. 2017.

WANG, G., GUNASEKARAN, A., NGAI, E.W., PAPADOPOULOS, T. Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for

research and applications. *International Journal of Production Economics*, Vol. 176, No. 1, pp. 98-110, 2016.

WANG, S., WAN, J., ZHANG, D., LI, D., ZHANG, C. Towards smart factory for Industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination. *Computer Networks*, Vol. 101, No. 1, pp. 158-168, 2016.

WANG, W. C.; LIN, C. H.; CHU, Y. C. Types of competitive advantage and analysis. *International Journal of Business and Management*, v. 6, n. 5, p. 100–104, 2011.

WEE, D.; KELLY, R.; CATTEL, J.; BREUNIG, M. Industry 4.0. How to navigate digitalization of the manufacturing sector. Hg. v. McKinsey, 2015.

WOOD, D. J.; GRAY, B. Toward a comprehensive theory of collaboration. *The Journal of Applied Behavioral Science*, v. 27, n. 2, p. 139–162, 1991.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018. DOI: 10.1080/00207543.2018.1444806

YEW, A., ONG, S., NEE, A. Towards a Griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 39, No. 1, pp. 43-55, 2016.

ZÜHLKE, D. Die Cloud ist Voraussetzung für Industrie 4.0. Präsentation. VDI. VDI Pressegespräch anlässlich des Kongresses "AUTOMATION 2013". Baden-Baden, 25 June 2013.