

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSÉ DANIEL RODRIGUES TERRA

**Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração
do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0.**

São Paulo
2022

JOSÉ DANIEL RODRIGUES TERRA

Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0.

Versão corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Qualidade e Engenharia do Produto - QEP.

Orientador: Prof^o. Dr. Fernando Tobal Berssaneti

São Paulo

2022

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

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

São Paulo, 18 de Agosto de 2022

Assinatura do autor: José Daniel

Assinatura do orientador: J.F.R.

Catlogação-na-publicação

Terra, José Daniel Rodrigues

Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0. / J. D. R. Terra -- versão corr. -- São Paulo, 2022.

165 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Indústria 4.0 2. Eficiência Organizacional 3. Gestão por Processos 4. Análise Multivariada 5. Manufatura Enxuta I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

TERRA, J. D. R. **Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Aprovado em 23/06/222.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando Tobal Berssaneti

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Jose Alberto Quintanilha

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Américo Lopes de Azevedo

Instituição: Universidade do Porto

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Tiago Paggi de Almeida

Instituição: Universidade de Leicester

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Bruno Sanches Masiero

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Julgamento: Aprovado

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Fernando Tobal Berssaneti pelo apoio e orientação para a elaboração desta tese.

Aos docentes das disciplinas cursadas durante o curso e aos trabalhadores da Escola Politécnica da USP.

À Lídia, secretária da pós-graduação do Departamento de Engenharia de Produção.

Aos revisores do texto final.

À minha família, meus pais e minha esposa Jaqueline, pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

RESUMO

TERRA, J. D. R. **Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Nos últimos dez anos, as organizações têm sido conduzidas a reorganizar seus arranjos produtivos e de serviços, considerando a evolução tecnológico associada a seus processos. Esta tese analisou como o sistema de gestão integrado *World Class Manufacturing* e as práticas da Indústria 4.0 podem contribuir para esta mudança. O método utilizado para a pesquisa foi o *survey*. A coleta de dados ocorreu através de um questionário semiestruturado, elaborado a partir da revisão da literatura. Contribuíram 91 organizações, em dez países diferentes. Foi realizada análise quantitativa dos resultados, através da análise multivariada de componentes principais e análise qualitativa de proposições. Os objetivos da pesquisa foram identificar as barreiras entre a integração do sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0, apresentar uma estrutura de trabalho que permita mitigar as barreiras entre eles e identificar as variáveis que impactam no desempenho dos processos das organizações, quando direcionadas para as práticas da Indústria 4.0 e para o sistema de gestão integrado WCM, buscando traçar um perfil que sintetize estas transformações. Os resultados mostram que a eficiência nas organizações está atrelada ao desenvolvimento de recursos humanos qualificados, direcionado para as tecnologias, e ao amadurecimento de políticas que prezam pela manutenção destes recursos, enfatizando três vertentes: i) tecnologia, com destaque para a integração digital da manufatura, o uso incremental de tecnologias e a análise de dados; ii) processos, com destaque para o desenvolvimento de processos interativos, sustentáveis e que prezam pela integração entre diferentes áreas e iii) qualidade, com destaque para as políticas da qualidade de longo prazo e o uso de ferramentas e aplicação de diferentes métodos para a melhoria continuada.

Palavras-chave: *World Class Manufacturing*; Indústria 4.0; Eficiência em processos; Gestão de operações; Análise estatística multivariada; Análise de componentes principais.

ABSTRACT

TERRA, J. D. R. **Proposal of a framework to mitigate barriers in the integration of world class manufacturing method with Industry 4.0 practices.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

In the last ten years, organizations have been led to reorganize their production and service arrangements, considering the technological evolution associated with their processes. This thesis analyzed how the World Class Manufacturing integrated management system and Industry 4.0 practices can contribute to this change. The method used for the research was the survey. Data collection took place through a semi-structured inquiry, elaborated from the literature review. Contributed 91 organizations in ten different countries. Quantitative analysis of the results was performed, through multivariate analysis of principal components and qualitative analysis of propositions. The research objectives were to identify the barriers between the integration of the WCM integrated management system and the practices of Industry 4.0, to present a work structure that allows to mitigate the barriers between them and to identify the variables that impact the performance of the organizations' processes, when directed to Industry 4.0 practices and to the WCM integrated management system, seeking to outline a profile that summarizes these transformations. The results show that efficiency in organizations is linked to the development of qualified human resources, focused on technologies, and to the maturation of policies that value the maintenance of these resources, emphasizing three aspects: i) technology, with emphasis on the digital integration of manufacturing, the incremental use of technologies and data analysis; ii) processes, with emphasis on the development of interactive, sustainable processes that value integration between different areas and iii) quality, with emphasis on long-term quality policies and the use of tools and application of different methods for improvement continued.

Keywords: World Class Manufacturing; Industry 4.0; Processes efficiency; Operations management; Multivariate statistical analysis; Principal components analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrência das palavras-chave utilizadas nos artigos da base de dados.	45
Figura 2 - Artigos da base de dados: evolução no período 1984 a 2022.	47
Figura 3 - Número de publicações, por journal.	52
Figura 4 - Ocorrência de palavras-chave.	54
Figura 5 - Rede de relacionamento entre os autores mais citados.	56
Figura 6 – Estrutura metodológica da pesquisa.	65
Figura 7 - Critério para escolha do método de análise quantitativo.	88
Figura 8 - Critério para escolha do método de análise qualitativo.	92
Figura 9 - Faturamento das organizações que responderam ao questionário da pesquisa.	94
Figura 10 - Aplicação do WCM e das práticas da Indústria 4.0 pelas organizações.	95
Figura 11 - Definição do número de componentes pelo critério do teste scree.	99
Figura 12 - Contribuição das variáveis para a formação de cada componente.	100
Figura 13 - Variáveis para a formação da componente 1.	101
Figura 14 - Variáveis para a formação da componente 2.	103
Figura 15 - Variáveis para a formação da componente 4.	104
Figura 16 – Panorama das organizações quanto à implantação do sistema de gestão integrado WCM e das práticas da Indústria 4.0.	107
Figura 17 - Tendências estratégicas para a qualidade.	107
Figura 18 - Vetores que auxiliam o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 com políticas estratégicas.	108
Figura 19 - Condições para a implantação das práticas da Indústria 4.0 nas organizações.	108
Figura 20 - Mecanismos tecnológicos que proporcionam vantagem competitiva para as organizações.	109
Figura 21 - Vetores que influenciam na eficiência dos processos.	110
Figura 22 – Aspectos estratégicos para o desenvolvimento dos processos.	110
Figura 23 - Barreiras que influenciam na gestão de operações para os processos de melhoria continuada.	120

Figura 24 – Estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do sistema de gestão integrado WCM com as práticas da Indústria 4.0.	121
Figura 25 - Variáveis que impactam no processo de implantação do WCM, considerando as práticas da Indústria 4.0.	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quesitos para uma organização ser classe mundial.	29
Quadro 2 - Artigos da base de dados separados por temas abordados em cada ano e a representatividade do tema na amostra total.	46
Quadro 3 - Artigos mais citados, journal, ano da publicação e número de citações.	49
Quadro 4 - Resumo do referencial teórico.....	60
Quadro 5 - Variáveis (V), constructos das variáveis e os respectivos referenciais teóricos.....	72
Quadro 6 - Premissas (P), categorias para as premissas e respectivos referenciais teóricos.....	75
Quadro 7 - Constructos, referencial teórico, itens a serem avaliados e escalas para o questionário de pesquisa.....	79
Quadro 8 - Caracterização da amostra: por país, setor de atividade e percentagem amostral.....	94
Quadro 9 - Primeira análise do índice MSA individual, considerando todas as variáveis.	95
Quadro 10 - Segunda análise do índice MSA individual, considerando a exclusão da variável 7.	96
Quadro 11 - Matriz de correlação linear entre as variáveis.	97
Quadro 12 - Variância amostral das variáveis.	97
Quadro 13 - Variâncias individual e acumulada das variáveis.....	98
Quadro 14 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 1.	101
Quadro 15 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 2.	102
Quadro 16 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 3.	103
Quadro 17 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 4.	104
Quadro 18 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 5.	105
Quadro 19 - Quadro resumo das componentes.	106
Quadro 20 - Correspondência entre componentes e premissas.	117

LISTA DE SIGLAS

BPM	<i>Business Process Management</i>
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CP	Componentes Principais
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
POLI/USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EFQM	<i>European Foundation for Quality Management</i>
FC	Fatores Comuns
IoT	<i>Internet of Things</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
MSA	<i>Measure of Sampling Adequacy</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i>
P	Premissas
QEP	Qualidade e Engenharia do Produto
RPA	<i>Robotic Process Automation</i>
TPM	<i>Total Production Management</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
V	Variáveis
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo.....	21
1.2 Relevância e escopo da pesquisa.....	22
1.3 Estrutura da tese	24
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	26
2.1 World Class Manufacturing – WCM.....	27
2.2 Lean Manufacturing - lean	33
2.3 Indústria 4.0	39
2.4 Estudo bibliométrico.....	44
2.4.1 Análise de redes sociais.....	53
2.4.1.1 Rede de palavras-chave.....	53
2.4.1.2 Rede de autores mais citados	56
2.5 Resumo do quadro teórico	59
2.6 Análise crítica do referencial teórico	61
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	65
3.1 Abordagem metodológica da pesquisa.....	66
3.2 Procedimentos para a realização da pesquisa	69
3.3 Variáveis e premissas da pesquisa.....	71
3.4. Seleção da unidade de análise	77
3.5 Procedimentos para a pesquisa de campo	78
3.6 Questionário da pesquisa de campo	84
3.7 Modelo teórico quantitativo	85
3.8 Modelo teórico qualitativo	91
4. RESULTADOS.....	93
4.1 Resultados quantitativos.....	93
4.1.1 Caracterização da amostra	93
4.1.2 Análise descritiva das variáveis.....	95
4.1.3 Estudo das componentes.....	97
4.1.3.1 Definição do número de componentes.....	98
4.1.3.2 Contribuição das variáveis para a formação das componentes	99
4.1.3.3 Análise da componente 1	100
4.1.3.4 Análise da componente 2	102

4.1.3.5 Análise da componente 3	103
4.1.3.6 Análise da componente 4	104
4.1.3.7 Análise da componente 5	105
4.1.3.8 Síntese da formação das componentes	105
4.2 Análise qualitativa	106
4.2.1 Relações entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0.....	107
4.2.2 Impacto do sistema de gestão integrado WCM e das práticas da Indústria 4.0 nos processos organizacionais e produtivos.....	109
5 DISCUSSÃO.....	111
6.CONSEQUÊNCIAS PARA A GESTÃO DE OPERAÇÕES.....	120
7.CONCLUSÃO.....	123
7.1 Contribuição teórica	128
7.2 Limitações do estudo e continuidade da pesquisa.....	130
APÊNDICE 1 – Carta de apresentação e questionário da pesquisa (português)....	139
APÊNDICE 2 – Carta de apresentação e questionário da pesquisa (inglês)	147
APÊNDICE 3 – Resultados da Análise Fatorial Exploratória.....	155
APÊNDICE 4 – <i>Software R</i>	165

1 INTRODUÇÃO

O sistema de gestão integrado *World Class Manufacturing* (WCM) se constitui de um conjunto de ferramentas e procedimentos que tem por objetivo melhorar o desempenho operacional das organizações, tornando-os mais eficientes e integrando toda a organização, desde a gestão operacional até a estratégica.

O termo 'WCM' foi citado, pela primeira vez, por Hays e Wheelwright (1984) e envolvia um conjunto de métodos e ferramentas da qualidade que, quando utilizadas em conjunto, aumentavam a eficiência nos processos produtivos, com foco direcionado para a gestão das operações. Este sistema de gestão integrado, assim como a metodologia *Lean Manufacturing* (LM), tem suas origens no *Toyota Production System* (TPS). O WCM adota a redução de desperdícios como referência.

Para isso, se sustenta em uma estrutura de pilares técnicos - grupos de especialistas que tem por objetivo o desenvolvimento do sistema de gestão integrado, cada qual em sua área de aplicação e pilares gerenciais, formados pela alta direção das organizações (FCA GROUP, 2022):

- a) pilares técnicos: são direcionados para a identificação de desperdícios e desempenho operacional. São dez: segurança; desdobramento de custos; melhoria focada; organização do posto de trabalho; manutenção profissional; controle da qualidade; logística; gestão antecipada de produtos e equipamentos; desenvolvimento de pessoas e meio ambiente e energia;
- b) pilares gerenciais: são direcionados para a inclusão das pessoas e a disponibilidade dos melhores recursos a serem utilizados. São dez: comprometimento da alta gestão; definição de objetivos claros; *roadmap*; alocação de pessoal altamente qualificado em áreas modelo; comprometimento da organização; competência organizacional; disponibilidade de recursos; atenção aos detalhes; planejamento e expansão e motivação dos operadores.

A disseminação da estrutura em pilares e o uso massivo de ferramentas da qualidade tem por objetivo fazer com que as organizações atinjam níveis elevados de qualidade em seus produtos e serviços, fazendo com que estas se diferenciem nos mercados

em que atuam, tornando-se organizações classe mundial, ou seja, organizações capazes de competir em qualquer mercado (FCA GROUP, 2022).

Paranitharan et al. (2017) afirmam que, para competir no mercado atual, as organizações precisam reprojeter suas estratégias, possibilitando não apenas a melhor alocação de recursos, mas também projetar os ganhos ao longo do tempo. A fim de atingir tais objetivos, é necessário investir na infraestrutura e no sistema de gestão da qualidade, através de uma necessária mudança de paradigmas nas estratégias de fabricação, bem como na mentalidade dos fabricantes, para que possam competir globalmente. Rifqi *et al.* (2021) afirmam que existem diferentes abordagens de gestão de operações que permitem a melhoria dos processos, entre eles o WCM.

O questionamento quanto ao desenvolvimento contínuo de distintas formas de atuação maximiza as possibilidades e os resultados organizacionais, sendo cada vez mais estrutural o comprometimento entre a expansão do conhecimento e a necessidade de quadros que correspondam às novas demandas das organizações.

Costa e Patricio (2018) afirmam que os métodos disruptivos fazem com que as organizações aumentem o nível de inovação aplicado a seus produtos e serviços, oferecendo algo diferenciado aos clientes, gerando soluções mais completas, modificando a visão de produto centrado no cliente para solução centrada no cliente.

Com a constante transformação das organizações, com alto valor agregado a seus produtos e serviços, se tem alavancado a aplicação e uso de um conjunto considerável de ferramentas, métodos e procedimentos que visem o aumento da produtividade, a melhoria continuada nos processos e a redução de custos operacionais - a essência do *Lean Manufacturing*, aqui denominado *lean*. O *lean* é uma metodologia das mais conhecidas nos sistemas fabris, englobando um conjunto de ferramentas que pode resultar em melhoria na produtividade, tornando-se uma tendência visível na maioria das organizações de manufatura (Ng e Ghobakhloo, 2017).

Também oriundo do TPS, o *lean* é uma metodologia de gestão que se fundamenta na redução de desperdícios, aumento da produtividade e da melhoria da qualidade. Para

que isso ocorra de forma contínua, faz uso de diferentes ferramentas e se sustenta em cinco fundamentos: determinar o que é valor, sob a ótica do cliente; fluxo de valor; realizar atividades em fluxo contínuo, sem interrupção; produção puxada e melhoria continuada.

A melhoria em processos inclui atividades de modificação e refinamento de produtos e serviços associados, equipamentos, tecnologias de processos e práticas operacionais existentes e envolve o uso de ferramentas e técnicas estatísticas para eliminar a variação nestes processos e aumentar a estabilidade das operações (Furlan and Vinelli, 2018), principais fundamentos do WCM. Isso impacta nos processos de produção, desempenho e modelos de negócios, definidos como um sistema de atividades interligadas e interdependentes que determinam a forma como a empresa atua com seus clientes, parceiros e fornecedores (D'Orazio *et al.*, 2020).

A combinação de aquisição de serviços, gestão de informações, design e diferentes métodos de manufatura e serviços permite às organizações captar novas tendências de mercado, respondendo rapidamente a estas mudanças (Ghobakhloo and Azar, 2018). Mesmo assim, essa abordagem encontra diversas dificuldades para lidar com todos os tipos de produção, especialmente aquelas que tem alta variedade e baixo volume (Gómez e Godinho Filho, 2017).

O arranjo entre estas duas abordagens, lean e WCM, busca aliar os resultados imediatos com o aperfeiçoamento das condições mínimas para se atingir níveis de desempenho operacional satisfatório, ou seja, para que se atinja as metas estabelecidas pelas organizações, com aumento da eficiência em manufatura e serviços.

Sartal *et al.*, (2017) afirmam que, para manter sua competitividade, as organizações precisam incorporar novos recursos para atender a essas demandas sem prejudicar a eficiência ou ainda, quando possível, melhorá-la. Entende-se por novo recurso não somente a incorporação de máquinas e ferramentas que auxiliem no processo produtivo, mas também os recursos humanos associados ao processo. As diferentes combinações entre os diversos tipos de recursos são fundamentais para que todo o

processo atinja os níveis desejados de produtividade, de tal modo que toda a cadeia produtiva seja incluída em um ciclo de evolução constante.

Um dos métodos de modernização é o rearranjo da estrutura organizacional e a redistribuição de competências (Mróz, 2018), de tal forma que a abordagem do processo de mudança seja forçada a se adaptar a um conjunto diverso, onde necessitam:

- a) conciliar a melhoria de processos com questões organizacionais, modificações estruturais e promulgação de políticas e diretrizes;
- b) orientar os processos em direção a objetivos claros: redução de custos e melhorias globais de qualidade em produtos e serviços;
- c) realizar mudanças cada vez mais rápidas e eficazes.

A integração entre os diferentes recursos é fundamental. A manifestação da quarta revolução industrial - Indústria 4.0, tem impulsionado um conjunto de ações que são determinantes para a sobrevivência estratégica de diversos setores industriais. Teoh *et al.* (2021) afirmam que o impacto dos avanços tecnológicos minimizará significativamente os processos ineficientes.

Bouchard *et al.* (2022) definem Indústria 4.0 como sendo a interconectividade de tecnologias emergentes que visam aumentar a agilidade dos sistemas e processos industriais existentes para atender às demandas cada vez mais dinâmicas, enquanto Park e Bae (2022) tem uma visão mais direcionada, afirmando que Indústria 4.0 engloba o acúmulo de avanços tecnológicos em áreas como internet das coisas, inteligência artificial, big data e process mining, cujo objetivo está direcionado para o aumento radical da produtividade e eficiência dos processos.

Entretanto, o conceito ainda não está totalmente definido e estabelecido na literatura. Esta tese assume o conceito da Indústria 4.0 como sendo uma política estratégica, adotada por diferentes países e organizações, utilizada como vetor propulsor para o desenvolvimento através do uso de tecnologias e dados, capazes de gerar mudanças significativas nos processos produtivos, agregando valor a produtos e serviços e capaz de ultrapassar as barreiras, padrões e modelos já estabelecidos.

O termo Indústria 4.0 teve sua origem no início de 2011, através de um projeto cujo objetivo foi traçar uma política estratégica dupla para o desenvolvimento da indústria alemã: a promoção e informatização da manufatura. Como resultado, esperava-se impulsionar as exportações, gerando vantagem competitiva e tecnológica para a indústria alemã, cada vez mais sufocada pelas indústrias japonesas e chinesas.

O governo alemão desejava promover mudanças em relação à maneira como as fábricas operavam. Para entender e melhorar este coeficiente, contou com o apoio de diversos centros de pesquisas e organizações de tecnologias, que traçaram um perfil das diretrizes associadas a esta nova realidade, entre as quais se destacaram a descentralização de processos, o uso maciço da automação, interoperabilidade, capacidade de rápida adaptação, análise de dados em tempo real e virtualização de processos.

Nos Estados Unidos, o processo das práticas da Indústria 4.0 ocorre de outra forma, em uma vertente menos descentralizada. O objetivo dos Estados Unidos aponta, em maior grau, no fomento da indústria para o uso das tecnologias disruptivas e, em menor grau, no desenvolvimento de políticas estratégicas.

No Japão, as políticas estão direcionadas para o desenvolvimento, disseminação e utilização mais densa do uso da robótica, voltado para a eficiência em processos fabris, independente da escala.

Na China, o governo lançou um programa de industrialização digital que tem por meta colocar o país asiático entre os mais desenvolvidos do mundo, através da modernização da indústria e desenvolvimento de pesquisas avançadas em diferentes tecnologias, fazendo uma combinação entre as políticas adotadas no Japão e na Alemanha.

De forma simplificada, independente do país e das políticas adotadas, o núcleo central para as práticas da Indústria 4.0 está no aumento da eficiência produtiva e em tornar as organizações competitivas a nível mundial, através do uso maciço das tecnologias digitais.

Ślusarczyk (2018) afirma que esta revolução é capaz de causar um grande impacto na indústria e nos mercados, afetando de forma eficiente todo o ciclo de vida de produtos e serviços, proporcionando uma nova forma de produção e condução de negócios, que permite uma melhoria nos processos e aumento da competitividade das organizações. A transformação digital da indústria desloca a atenção na busca por melhorias em eficiência, desde os processos físicos de produção até o gerenciamento dos dados nela envolvidos (Gölzer e Fritzsche, 2017). O cuidado em identificar barreiras nos processos operacionais facilita o avanço no desenvolvimento de novas tecnologias, assim como a adoção de políticas que auxiliam os sistemas organizacionais, adotando fontes de inovação e impulsionando o desempenho das operações (Mutasa e Telukdarie, 2021).

Ramadan *et al.* (2022) afirmam que quando a estratégia da organização é baseada nas novas fontes de inovação e na capacidade de realizar grandes transformações, os processos devem permitir a integração perfeita entre os conceitos das práticas da Indústria 4.0 e as atualizações e mudanças que acompanham os processos organizacionais, como um agente de suporte rumo ao sucesso; caso contrário, a organização não conseguirá sustentar os ganhos esperados com a adoção dessa estratégia e, assim, impedirá que ela atinja os objetivos potenciais.

O fato de muitas organizações incorporarem mais de uma área de gerenciamento de operações e usarem várias tecnologias simultaneamente mostra a abrangência da implementação das práticas da Indústria 4.0, indo além de uma aplicação específica, de qualidade, estendendo-se a uma abordagem holística e integrada a tecnologias que atendam a todas as necessidades de um sistema de produção digital (Fettermann *et al.*, 2018).

A qualidade dos produtos e serviços passa a ser medida por uma variedade de dados não estruturados, tais como serviço de entrega, segurança, velocidade de processamento, todos sob a perspectiva da análise do impacto de qualidade de serviço na estratégia competitiva (Han *et al.*, 2018), fazendo com que as organizações invistam em modernas tecnologias e modelos de gestão para alcançar novos clientes (Ślusarczyk, 2018).

O processo de transformação nas práticas da Indústria 4.0 não afeta apenas os sistemas de produção, mas também a natureza do trabalho, alterando as expectativas da indústria (Kazancoglu e Ozkan-ozen, 2018). As práticas baseadas no ser humano se tornam importantes: treinamento, envolvimento e empoderamento dos trabalhadores, trabalho em equipe, pessoas qualificadas e com características multifuncionais (Sangwa and Sangwan, 2018) são vistos como um diferenciador estratégico para as organizações.

Entretanto, a associação entre a aplicação de diferentes métodos, com a mais alta eficiência e a modernização das operações nas organizações, ainda carece de estudos que asseverem a sua eficácia (Teoh *et al.*, 2021), sendo a literatura pouco explorada quando considerada a interação entre WCM e as práticas da Indústria 4.0 (D’Orazio *et al.*, 2020).

Rødseth *et al.* (2019) afirmam que, com o início da digitalização e as tecnologias inovadoras da Indústria 4.0, análises mais avançadas podem vir a serem desenvolvidas para o WCM, corroborando Furlan e Vinelli (2018), que afirmam que mesmo que haja coexistência de melhoria e inovação em organizações classe mundial, ou seja, que tem o WCM enraizado, a literatura ainda não forneceu um entendimento sobre como essa coexistência pode ser alcançada: a relação entre parâmetros mínimos de eficiência e resultados significativos ainda não foi demonstrado de modo satisfatório.

As consequências são ainda piores quando as aplicações são destinadas a analisar os níveis de maturidade na gestão de operações e a monitorar e relatar informações do ambiente em tempo real, o que é um estado incipiente em relação à implementação das práticas da Indústria 4.0 (Fettermann *et al.*, 2018). Segundo os mesmos autores, a gestão da qualidade apresenta a mais baixa frequência no uso de tecnologias, enfatizando a necessidade de estudos avançados que relacionam o WCM e as aplicações na vertente das práticas da Indústria 4.0.

Considerando o panorama de pesquisa apresentada, ainda não há um consenso na literatura sobre como os vetores aqui propostos se relacionam e quais são as variáveis dos processos fabris, quer sejam elas internas ou externas, que influenciam no

desenvolvimento de organizações para o nível classe mundial. Com a complexidade do tema e dos estudos fragmentados e considerando o âmbito deste trabalho, há poucos textos de referência entre WCM e as práticas da Indústria 4.0, em específico. Esta pesquisa busca contribuir com respostas para as lacunas apresentadas, através de estudos que identifiquem as variáveis que atuam nos processos e que impactam na adaptação, gestão de operações e desempenho organizacional, quando considerada a integração entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0.

Os métodos apresentados têm acompanhado a evolução da indústria voltada para produtos, processos e serviços. Com isso, se torna importante discutir as principais barreiras encontradas pelas organizações nesta integração, com o objetivo de direcionar para os resultados esperados.

A abordagem adotada será a de múltiplos casos, através da análise quali-quantitativa, com a aplicação de questionários (*survey*), em organizações que aplicam ou têm a intenção de aplicar o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0. O objetivo é mostrar as relações entre as variáveis que atuam na gestão das operações, considerando o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0. Como resultado, elaborar uma estrutura de trabalho com os vetores resultantes do estudo. No esforço de encontrar respostas para estas relações, esta tese se fundamenta na seguinte questão:

Quais as barreiras organizacionais que dificultam a integração do sistema de gestão integrado *World Class Manufacturing* com as práticas da Indústria 4.0, influenciando no desempenho da eficiência dos processos?

1.1 Objetivo

Esta tese está situada no escopo de linha de pesquisas em Qualidade e Engenharia do Produto (QEP), do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP).

Abrange organizações que se classificam como classe mundial, que aplicam ou tem a intenção de aplicar o sistema de gestão integrado WCM e que direcione seus programas de qualidade e processos para a filosofia *lean*, apontando para uma integração entre estes vetores.

Os objetivos principais da pesquisa se dividem em:

- a) identificar as barreiras entre a integração do sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0;
- b) apresentar uma estrutura de trabalho que permita mitigar as barreiras identificadas.

Estes objetivos principais se desdobram nos seguintes objetivos secundários:

- a) identificar as variáveis que impactam no desempenho dos processos das organizações, quando direcionadas para as práticas da Indústria 4.0;
- b) identificar as variáveis que impactam no desempenho dos processos das organizações, quando direcionadas para o sistema de gestão integrado WCM, integrado às práticas da Indústria 4.0, buscando traçar um perfil que sintetize estas transformações.

1.2 Relevância e escopo da pesquisa

A partir de 2011, após a Alemanha cunhar o termo Indústria 4.0 e adotá-lo como política estratégica na evolução de sua economia, muito se tem discutido sobre quais os impactos que esta fase da transformação industrial pode ter na sociedade. Mesmo que o conceito das práticas da Indústria 4.0 ainda não esteja totalmente definido, esta tese adota o que foi definido no item 1.

Esta definição força a mudança de paradigmas do na busca por meios produtivos mais eficientes, com maior agilidade em alcançar diferentes clientes, em um mercado universal. Concomitante a estas transformações, a constante evolução dos meios produtivos e o modo como as ferramentas da qualidade atuam direciona as organizações para métodos que se empenham, cada vez mais, na busca por maior eficiência e produtividade. O WCM se encaixa neste perfil. As organizações que

almejam atingir o nível classe mundial – processos eficientes, baixos índices de desperdício e padrões de qualidade em seus produtos e serviços, que a destaquem das demais competidoras, estão em constante evolução.

Se por um lado as organizações buscam alcançar níveis excelentes de eficiência e produtividade, através dos métodos existentes, por outro, também tentam associar as novas tecnologias em seus processos. Um ponto relevante é que estas organizações têm se destacado em seu mercado de atuação sem, necessariamente, ter que se submeter ao uso massivo de tecnologias. Entretanto, novos *players* têm condicionado as organizações a saírem da zona de conforto, a buscar novas tecnologias para modernizar seus processos. Na maioria dos casos, os novos *players* têm uma grande carga tecnológica associada a seus produtos e serviços, se destacando no mercado.

A necessidade imperativa de melhorar o *status* das organizações é sentida pelas partes interessadas: governos, clientes, proprietários de empresas, parceiros comerciais, fornecedores, concorrentes, sociedade e investidores, para atender às necessidades em termos de qualidade e eficácia (Paranitharan *et al.*, 2017).

Outro ponto relevante se relaciona com as linhas de pesquisa adotadas: a avaliação contínua do desempenho organizacional (Sangwa e Sangwan, 2018), a resiliência das organizações para as mudanças imprevistas nos ambientes de negócios (Lotfi e Saghiri, 2018), o uso de tecnologias associadas ao *lean* e a capacidade de assimilar novos conhecimentos de forma rápida (Sartal *et al.*, 2017), a variedade e velocidade dos dados que impulsionam as organizações a adotarem e aperfeiçoarem as funções de análise de dados para melhorar os atuais processos e seu desempenho (Dubey *et al.*, 2016).

Todos estes fatores direcionam para um conjunto de ações que, se estudadas de forma separada, geram resultados pouco significativos. Se consideradas de forma simultânea, o uso do WCM como meio de alavancar a eficiência produtiva e as práticas da Indústria 4.0 podem colocar as organizações em patamares diferentes em relação aos concorrentes.

Este estudo se diferencia dos demais na medida em que busca avaliar as variáveis que impactam no desempenho dos processos das organizações através da aplicação do sistema de gestão integrado WCM associado às práticas da Indústria 4.0 e apresenta uma estrutura de trabalho que mostra as principais ações a serem desenvolvidas para mitigar os impactos.

O escopo desta tese é avaliar quais são as variáveis que impactam no desempenho organizacional e quanto isso reflete no modo como elas se relacionam com a tecnologia e a maior eficiência nos processos, buscando traçar um perfil de vetores que sintetize estas relações.

1.3 Estrutura da tese

Este trabalho está estruturado em oito partes: introdução, revisão da literatura, método de pesquisa, resultados, discussão, consequências para a gestão de operações, conclusão e apêndices.

A introdução indica como os principais tópicos se relacionam, mostrando sua relevância e quais as lacunas da pesquisa. A partir disso, foi elaborada a questão da pesquisa, os objetivos, estabelecidos o escopo e os limites do estudo.

A revisão da literatura traça o perfil dos tópicos iniciados na introdução, citando os principais autores. Foi realizada uma busca minuciosa nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, relacionando os temas estudados. A partir da base de dados, foi realizada a análise bibliométrica, associando autores, palavras-chave, estudos mais citados e a evolução do tema ao longo dos anos. A análise das redes permitiu visualizar como os autores se relacionam e influenciam, uns sobre os outros, sobre o tema estudado. Foi elaborado um quadro resumo com os autores e suas obras, mostrando a semelhança entre os temas abordados. Por fim, foi realizada uma análise crítica da revisão da literatura, citando a relação entre as lacunas encontradas e como esta tese pode contribuir para a teoria.

O método de pesquisa aborda como a pesquisa foi feita e quais os procedimentos adotados. Mostra o fluxograma deste procedimento, com as principais abordagens

utilizadas. Sintetiza as análises quantitativa e qualitativa, mostra como foi realizada a seleção da unidade de análise e os procedimentos que foram adotados quando da aplicação do questionário da pesquisa nas organizações estudadas.

O resultado mostra os achados da pesquisa. É dividido em duas partes: análise quantitativa, que mostra os resultados da análise estatística sobre as variáveis consideradas e análise qualitativa, resultante das premissas. A escolha de ambos os métodos foi descrita no capítulo 3. Ao final do capítulo, é mostrado um quadro resumo e as relações entre as premissas e as variáveis resultantes do estudo.

A discussão relaciona os tópicos mostrados nos resultados e quais suas relações com a revisão da literatura proposta, fazendo a conexão entre ambos. As consequências para a gestão de operações mostram a estrutura de trabalho proposta e o que pode resultar da aplicação e uso da pesquisa na prática.

A conclusão apresenta a síntese das variáveis que impactam no processo de implantação do sistema de gestão integrado WCM, quando consideradas as práticas da Indústria 4.0, e como elas se relacionam. Mostra as relações entre os temas abordados, o que resulta na contribuição teórica do estudo, ou seja, o que diferencia esta tese do que foi considerado até o momento dentro desta área específica de pesquisa. Por fim, mostra as limitações do estudo e direcionamentos para pesquisas futuras.

Os apêndices 1 e 2 mostram o questionário de pesquisa, nas versões português e inglês, respectivamente, enviados às organizações. O apêndice 3 mostra os resultados da análise fatorial exploratória, extraídos do *software* utilizado nesta tese. E o apêndice 4 mostra as informações e direitos autorais de citação do *software* R.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O termo 'qualidade' começou a se destacar após a segunda guerra mundial, principalmente no Japão, país que foi seriamente afetado por este conflito. A partir daquele momento a qualidade tem se tornado cada vez mais recorrente, com o surgimento de diferentes ferramentas, programas e métodos que auxiliam na sua difusão.

As organizações, em diferentes ramos de atividade e com diferentes perfis adotam a qualidade como um dos critérios fundamentais para estabelecer uma relação de confiança e credibilidade com consumidores, garantindo um vínculo duradouro.

Admitem diferentes programas e métodos de qualidade em seus processos, com o objetivo de alcançar a excelência em seus produtos e serviços, ou seja, superar as expectativas dos clientes.

Implantar, operar programas e métodos da qualidade, com êxito, têm se tornado fundamental. Mais que isso, se torna parte do processo em organizações que prezam pela segurança e credibilidade de sua gestão.

Esta revisão de literatura busca discutir tópicos relacionados à qualidade como função estratégica para as organizações - direcionadas para a eficiência produtiva - e o modo como as mesmas se relacionam com a evolução dos métodos da qualidade e das tecnologias, a saber:

- a) *World Class Manufacturing* – WCM;
- b) *Lean Manufacturing* – LM;
- c) Indústria 4.0.

Como resultado, é apresentado um estudo bibliométrico, que mostra as relações entre os autores, os temas e as áreas estudadas, além de um quadro resumo, que direciona para melhor compreensão das lacunas encontradas e uma análise crítica destes parâmetros.

2.1 World Class Manufacturing – WCM

World Class Manufacturing, algumas vezes também denominado *World Class Business*, se classifica como um sistema de gestão integrado formado por um conjunto de ferramentas utilizadas pelas organizações, de forma sistêmica.

Este sistema de gestão integrado visa estabelecer estratégias capazes de enfrentar a competitividade entre as organizações, principalmente no cenário global (Khan *et al.*, 2007), de tal modo que a manufatura de classe mundial capacite as organizações para esta competitividade. Ciccarelli *et al.* (2022) afirma que as empresas estão implementando o sistema de gestão integrado WCM como forma de aumentar seu mercado, pela maior eficiência em seus processos.

Este pensamento vai de encontro com as diretrizes da *European Foundation for Quality Management* (EFQM), pois preconiza o modelo classe mundial tomando como base um conjunto de fatores que, quando atuam em conjunto, direcionam para as melhores práticas em gestão da qualidade (EFQM, 2019).

Para a EFQM, tais fatores são capazes de gerar os meios necessários para que as organizações adicionem valor a seus produtos e serviços, desenvolvendo a capacidade organizacional, além de criar uma cultura da qualidade sustentável para atingir os resultados esperados.

Este modelo de excelência enfatiza a importância da visão estratégica ágil para as organizações, defendendo uma abordagem na formação de líderes em todos os níveis, para garantir a tomada de decisão, colaboração e trabalho em equipe de forma mais assertiva. Além disso, incentiva uma cultura inovadora, valorizando a qualidade, com o objetivo de fornecer um caminho seguro para o progresso e a transformação (EFQM, 2019).

Este pensamento vai de encontro com o que propaga a fundação Baldrige (2020). O pensamento ágil, ou seja, a capacidade de mudança rápida e flexível nos processos e nas operações, faz parte dos valores e conceitos fundamentais que as organizações devem adotar, considerando que vivemos em um ritmo acelerado de mudanças:

agitação econômica, estresse, grandes eventos climáticos, de saúde, demandas sociais, tecnologias inovadoras e introduções de novos produtos. Como resultado, sugerem que as organizações devem se concentrar na resiliência e integração de seus processos.

O desenvolvimento de novas tecnologias deve ser aprimorado, estabelecido, fortalecido e enriquecido. Os sistemas de gestão, devem garantir o desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços, bem como garantir a qualidade e permitir a melhor maneira de gerir custos, produção, prazos de entrega, vendas, segurança, formação e informatização (Deming Prize, 2020). Em resumo, processos de melhoria continuada.

Muitos negócios tendem a se reorganizar ou a construir um novo sistema e a melhoria das operações se torna o principal objetivo. Mutasa e Telukdarie (2021) afirmam que os desafios enfrentados pelas organizações incluem volatilidade do mercado, aumento da concorrência, crescentes preocupações com a sustentabilidade, demanda por flexibilidade e prazos de entrega curtos, todos exigindo o mais alto nível de eficiência operacional.

Como parte integrante da eficiência operacional, a melhoria continuada almeja resultados mais perceptíveis de serem alcançados, com papel de destaque para a criação de uma cultura da qualidade, que altera o conceito de rendimento a qualquer custo para o conceito de participação entre os envolvidos, cujo objetivo seja atender às crescentes demandas dos clientes e ainda ser competitivas (Rifqi *et al.*, 2021).

Para que a disseminação da cultura da qualidade ocorra de forma efetiva, é fundamental o envolvimento das lideranças, nomeadamente a alta direção, para apoiar e incentivar os programas de qualidade, de modo a participarem ativamente de projetos-chave (Furlan e Vinelli, 2018). O suporte da alta gestão incentiva o desenvolvimento e o uso de equipes multifuncionais que atendam às necessidades dos clientes (Flynn *et al.*, 1997), tanto os internos quanto os externos às organizações.

Por influenciar constantemente a estrutura organizacional, a cultura da qualidade gera uma abordagem proativa, com o envolvimento dos participantes da equipe, cujo

objetivo é melhorar a produtividade, facilitar os processos de inovação e incentivar os trabalhadores a se engajarem no autodesenvolvimento (Mróz, 2018). Esta influência direciona os processos de mudança de uma organização para o modelo classe mundial, impactando em toda a estrutura e em todos os indivíduos que trabalham nela (Farsijani, 2005).

Para que isso ocorra de forma sistêmica, o sistema de gestão integrado se apoia em pilares técnicos e gerenciais, formado por especialistas em diferentes áreas de atuação. Isso permite que um conjunto de atividades atuem em coparticipação, incentivando as pessoas a se adequarem e agirem em prol de um bem comum.

Para executar os processos de fabricação de classe mundial, é necessário usar o trabalho em equipe e preparar os trabalhadores para trabalhar nessas equipes, com o envolvimento contínuo de todos (Mendes e Mattos, 2017), conectando-os com os princípios estratégicos das organizações. Se o foco está na estratégia global, pode ser necessário um elevado grau de adaptação dos processos.

Schonberger (1992) enumera sete quesitos como essenciais para que uma organização se torne classe mundial, direcionados para os princípios estratégicos. O Quadro 1 mostra estes quesitos:

Quadro 1 - Quesitos para uma organização ser classe mundial.

Quesito	Característica
Gerais	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer o próximo cliente e o cliente final; • Conhecer a concorrência direta e os líderes classe mundial (concorrentes ou não); • Dedicar-se à melhoria continuada, qualidade, flexibilidade e custo; • Planejar e implementar mudanças.
<i>Design</i> e organização	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuir o número de componentes e/ou operações; • Organizar os recursos.
Operações	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar as distâncias e espaços ao longo da cadeia de recursos; • Reduzir as mudanças e <i>setup</i> das máquinas.

continua

Quesito	Característica
Desenvolvimento de recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Investir continuamente no desenvolvimento profissional; • Desenvolver os trabalhadores para realizar diferentes tarefas e processos; • Utilizar do artifício de recompensas e reconhecimentos pelas conquistas individuais e coletivas.
Marketing e vendas	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar e ‘vender’ as competências orientadas para o cliente.
Qualidade e melhoria de processos	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar o processo, a fim de minimizar ou eliminar as variações; • Registrar as falhas no processo e sempre buscar melhorar a qualidade; • Assegurar que os trabalhadores que atuam diretamente nos processos tenham a chance de melhorá-los antes dos especialistas da equipe.
Capacidade	<ul style="list-style-type: none"> • Manter e melhorar os recursos humanos antes de pensar em novos equipamentos e automação; • Automatizar, de forma incremental, quando a variabilidade do processo não puder ser reduzida ou estiverem esgotadas todas as possibilidades; • Variabilidade em número de postos de trabalho, máquinas e células para cada produto ou família de produtos.

Fonte: Schonberger (1992). Adaptado.

Os sete quesitos defendidos por Schonberger (1992) mostram relação direta com os princípios básicos do *lean*, pois estão direcionados para a organização do local de trabalho e tem por objetivo facilitar os fluxos produtivos. Com isso, trabalha em conjunto com as operações, buscando maior eficiência produtiva.

O apoio e incorporação da abordagem colaborativa, baseada em equipe, atua de tal forma que os trabalhadores estejam envolvidos em suas tarefas para a solução de problemas (Furlan e Vinelli, 2018). Entretanto, as organizações precisam mais que profissionais qualificados. Necessitam desenvolver estratégias para competir em múltiplos mercados, desenvolvendo e incorporando vantagens competitivas em seus processos, de forma sustentável.

O direcionamento para as políticas estratégicas indica mudanças no paradigma produtivo, pois obriga as empresas a transformarem seus sistemas de produção,

tornando-os mais flexíveis e ágeis (Ebrahimi *et al.*, 2019), mudando o paradigma de produção em massa para a customização em massa.

Nos cenários competitivos, e como diferencial estratégico, as organizações experimentam mudanças inesperadas na demanda da produção. Gölzer e Fritzsche (2017) afirmam que o futuro da transformação não pode ser adequadamente previsto por simples extrapolações de experiências tecnológicas bem sucedidas, sendo que as individualidades de cada organização devem ser respeitadas. Para estes autores, a gestão das operações deve ser organizada em quatro domínios distintos e complementares:

- a) processos de decisão adaptados;
- b) coleta extensiva de dados;
- c) gerenciamento dos dados coletados;
- d) tratamento das informações.

A adaptação de processos e a customização de produtos e serviços, a digitalização industrial e gestão dos dados coletados, além do tratamento destas informações têm forçado as empresas atuais a pensar em adotar abordagens de gestão de operações para gerenciar adequadamente as operações dos diferentes processos que gerenciam (Rifqi *et al.*, 2021). Estes domínios corroboram a visão sistêmica de Schonberger (1992) no quesito 'Capacidade', mostrada no Quadro 1, pois priorizam a automação e as transformações nos processos.

Os sistemas de manufatura passaram a exigir não somente o desenvolvimento de uma operação de classe mundial voltada para o cliente, mas também a melhoria continuada e o gerenciamento global desses sistemas, através de um conjunto de novas práticas de gerenciamento, geralmente associadas ao lean e ao WCM.

As ferramentas de produção enxuta - aqui denominada *lean*, tais como o *Value Stream Mapping* (VSM), kaizen, trabalho padronizado e 5S se destacam pelo seu uso e implementação no ambiente organizacional e facilitam a transição das organizações para um desempenho classe mundial (Satolo *et al.*, 2018), auxiliando as organizações a adotarem como estratégia um conjunto de conceitos e princípios com foco na

melhoria da qualidade, redução nos prazos de entrega, desenvolvimento de fornecedores e melhores métodos de fabricação.

Uma barreira significativa neste modelo é que estes conceitos são introduzidos isoladamente e tratados como soluções amplamente técnicas, uma vez que tem dificuldade de penetração no planejamento estratégico das organizações, prejudicando a integração entre o WCM e o *lean* (Lee e Oakes, 1996). Em muitos casos, os benefícios podem não se concretizar, uma vez que a os processos não estão adaptados.

Se faz necessário um contexto organizacional de apoio e que respeita o julgamento das pessoas no reconhecimento de má qualidade, gerando oportunidades para inovar em produtos, processos e serviços (Furlan e Vinelli, 2018). Em organizações classe mundial, este papel é direcionado para o vetor estratégico e auxilia na transformação dos planos de negócios em planos de ação concretos.

Assim, para se qualificar como uma organização classe mundial é necessário mais do que utilizar as ferramentas e métodos da qualidade disponíveis. Chiarini e Vagnoni (2015) afirmam que o foco deve ser direcionado para a qualidade e economia de recursos, que devem ser alcançadas sem nenhum compromisso com outras estratégias, através de um conjunto de informações que permitam a melhoria continuada em processos.

O foco do WCM se dá na satisfação do cliente através da satisfação dos objetivos de desempenho produtivo, tais como velocidade, flexibilidade, confiabilidade, qualidade e custo, sugerindo a importância de adquirir, armazenar e analisar informações para realizar a correta tomada de decisão (Wamba *et al.*, 2015), inovação, visibilidade, customização de produtos e serviços e, por fim, gerar vantagem competitiva de forma sustentável. Ebrahimi *et al.* (2019) reforçam que a introdução das tecnologias auxilia nestes processos, de forma transversal, a todas as organizações, de diferentes expertises.

A abordagem WCM se torna um fator crítico, uma vez que está fortemente relacionado aos conceitos do *lean* (Oliveira *et al.*, 2016), cujo foco está na redução dos

desperdícios, construindo uma visão voltada em oferecer aos clientes produtos e serviços mais adequados às suas necessidades.

Estes fatores são capazes de determinar o nível de competitividade das organizações e a capacidade de serem flexíveis na produção e entrega de bens e serviços de acordo com as necessidades do cliente (Foit *et al.*, 2020). Isto faz com que a associação entre WCM, *lean* e as práticas da Indústria 4.0 sejam determinantes na mitigação de erros, podendo aumentar o monitoramento e permitir maior flexibilidade para o processo.

Esta constante e desafiante colaboração busca melhorar a eficiência e a qualidade dos processos, levando a mudanças significativas, induzindo os gerentes a aplicar modelos de gestão direcionados para métodos que contemplem estas necessidades: indicadores de desempenho e de fluxo de valor monitorados constantemente, com o objetivo de encontrar os desperdícios e as causas que diminuem a qualidade e competitividade dos produtos e serviços.

2.2 Lean Manufacturing - lean

Holweg (2007) afirma que a metodologia *lean* pode ser considerada uma alternativa radical para o modelo de produção em massa, cujo objetivo é maximizar a eficiência operacional, a qualidade, a velocidade e os custos das operações.

O *lean* e o WCM são complementares, se comparado com as atividades da melhoria continuada, atividades autônomas realizadas pelos operadores, tais como a manutenção não profissional, o controle da qualidade, a logística e o desenvolvimento de pessoas, sendo o *lean* a base atual para o desenvolvimento do WCM nas organizações (Chiarini e Vagnoni, 2015).

A diferença está no modo como é implementado. Enquanto o *lean* pode ser aplicado em diferentes métodos, o WCM tem características próprias e singulares, com objetivos bem definidos e estruturados nos pilares técnicos e gerenciais. D'Orazio *et al.* (2020) afirmam que, embora não haja consenso entre os pesquisadores sobre a definição de um modelo de negócios, a maioria concorda que o *lean* inclui uma

abordagem abrangente para explicar a estratégia das empresas e como o valor é gerado e entregue.

O *lean* se estabeleceu como a principal estratégia de melhoria de processos de negócios por muitas organizações, através de uma abordagem que oferece benefícios significativos através da redução do desperdício e do aumento do valor agregado a produtos e serviços, ao mesmo tempo em que resolve os problemas críticos de qualidade que afetam a consistência e a repetibilidade de um produto ou processo (Hill *et al.*, 2018). Segundo Liker (2020), o *lean* busca estabelecer processos padronizados como base para a melhoria contínua, ou seja, o trabalho padronizado é algo a ser alcançado através da melhoria contínua e de treinamentos rigorosos, baseados na prática, até que a nova forma se torne um hábito.

Satolo *et al.* (2018) afirmam que as ferramentas desenvolvidas durante os processos de melhoria são aplicadas com sucesso em todos os ramos de serviço e produção, em diferentes ambientes, todos interligados, utilizado para diferentes estratégias. Entretanto, para uma organização ser considerada *lean*, ela deve passar por um processo de simplificação obrigatório, removendo as ações que não agregam valor. Ebrahimi *et al.* (2019) destacam que o desenvolvendo dos processos de melhoria continuada, com o objetivo de reduzir os desperdícios, tornam as organizações mais competitivas.

Considerando que a avaliação contínua do desempenho organizacional é necessária para uma organização se manter competitiva (Sangwa e Sangwan, 2018), a vulnerabilidade econômica faz com que as organizações se tornem mais resilientes em suas operações, estratégias, eficiência e capacidade produtiva (Lotfi e Saghiri, 2018). Isso faz com que a implementação do *lean* compreenda uma abordagem de baixa tecnologia que prima pela simplicidade e efetividade, enfatizando a necessidade de envolver e capacitar os trabalhadores para que eles se tornem agentes de mudança em seu local de trabalho (Tortorella e Fettermann, 2018), associado a um nível elevado de conscientização, o que proporciona uma melhor compreensão de suas práticas e princípios.

Entretanto, há uma lacuna entre a teoria e a prática. Patidar *et al.* (2017) afirmam que a maioria das organizações quer implementar o *lean* sem atentar para estas características. Como resultado, depois de alguns anos da implantação do programa *lean* nas organizações, as expectativas iniciais não são atendidas e o programa não é mais sustentável. Em muitas delas, se observa o uso crescente de automação e robotização, para substituem o trabalho humano, sem a devida comprovação de sua eficácia (Barosz *et al.*, 2020).

Dombrowski e Mielke (2014) afirmam que para os resultados da implantação do *lean* serem consistentes, deve se considerar o modelo dos 4P's:

- a) pensamento de longo prazo: os resultados são demorados, porém, têm consequências positivas nos processos;
- b) processo: visa eliminar o desperdício;
- c) pessoas e parcerias: tem por objetivo mostrar as relações de respeito e crescimento, desafiando todos os envolvidos nos processos;
- d) problemas e soluções: processo de aprendizagem contínua.

Para se obter sucesso com o *lean* é fundamental ir além das tecnicidades, focar no modelo 4P, adotar práticas de melhoria continuada e nutrir o desenvolvimento de um perfil de cultura organizacional apropriados (Bortolotti *et al.*, 2015). Este direcionamento para um modelo eficiente facilita a integração entre processos tradicionais e os que exigem um posterior uso de tecnologias, direcionadas para as práticas da Indústria 4.0. Liker (2020) afirma que o uso de tecnologias tem o potencial de se basear nos princípios do TPS e levar as operações a um nível totalmente novo de desempenho, com as pessoas sendo alimentadas com informações contínuas e em tempo real para acelerar e ampliar a melhoria continuada.

A ideia de uma ampla aplicabilidade da abordagem *lean* nas práticas da Indústria 4.0 pode não se materializar de um modo simplista, uma vez que os processos não são projetados com robustez e as práticas de melhoria continuada não são estabelecidas com a velocidade que este modelo tecnológico exige (Rossini *et al.*, 2019). A partir desta perspectiva, se torna necessário estudar caso a caso a implantação das práticas da Indústria 4.0 no modelo de negócio direcionado para o *lean*. Sartal *et al.* (2017)

afirmam que é importante manter uma visão de médio e longo prazos para maximizar o potencial das rotinas organizacionais nos sistemas de manufatura e de serviços, quando consideradas a integração com as práticas da Indústria 4.0.

Além disso, concentrar-se nas atividades que agregam valor e na remoção dos desperdícios, até atingir a competitividade que as organizações denominadas classe mundial ambicionam, uma vez que as práticas da Indústria 4.0 valorizam os benefícios promissores para sustentar as vantagens competitivas nas organizações (Teoh *et al.*, 2021).

Como a concorrência entre as organizações está ficando mais difícil, a maioria delas está sob pressão constante para cortar custos mantendo um alto nível de qualidade para atender às expectativas dos clientes (Sahoo e Yadav, 2018). Isso mostra que o WCM e o *lean* têm se preocupado em promover as melhores práticas nas organizações, destacando a importância de uma estratégia que integre uma configuração de recursos financeiros, físicos, técnicos e humanos, mais flexível e ágil, no processo de tomada de decisão (Ebrahimi *et al.*, 2019).

Gómez e Godinho Filho (2017) afirmam que o uso destes princípios auxilia as organizações a identificar resíduos, com o objetivo de reduzi-los ao máximo. Estas iniciativas permitem as organizações operar com eficiência, desde que os elementos que compõem os processos sejam robustos e a variabilidade seja mitigada, resultando em produtos e serviços de alta qualidade e desempenho consistente (Barker, 1994).

A extinção de tudo que não agrega valor é a base destes métodos. Ching, Fathi e Ghobakhloo (2018) afirmam que a disponibilidade de recursos financeiros, competência em tecnologia da informação, simplicidade no processo de produção, cultura de suporte ao processo produtivo e integração da cadeia de suprimentos são os principais fatores que determinam o nível de sucesso do *lean*. Alpenberg e Scarbrough (2018) complementam estas prerrogativas e afirmam que, quando estas práticas são aplicadas na gestão organizacional, o controle compartilhado e a tomada de decisões terão valor e serão legitimados por todos os envolvidos.

Assim, o desafio está em alinhar estratégia e operação de tal modo que o desempenho organizacional estabeleça relações de autoridade e responsabilidade, integrando toda a organização, em diferentes atividades de produção (Dietz *et al.*, 2013). O esforço para atingir resultados satisfatórios na metodologia *lean* exige uma orientação voltada para a qualidade, em processos transversais, que agregam valor e em tecnologias da informação, direcionados à melhoria continuada (Azevedo, 2017; Ng e Ghobakhloo, 2017), com o objetivo de aumentar a competitividade global e melhorar o desempenho dos sistemas produtivos (Ebrahimi *et al.*, 2019).

Como resultado desta orientação, destaca-se a integração dos indicadores do processo com outras funções da organização, tais como recursos humanos, finanças, administração, fornecedores e clientes (Sangwa e Sangwan, 2018). Sustentar uma mudança nos processos e alinhá-lo à estratégia é o mesmo que sustentar uma inovação, uma vez que destaca a maneira pela qual uma prática é realizada (Malavasi e Schenetti, 2017), ou seja, podem direcionar para as práticas da Indústria 4.0.

Como as organizações precisam aumentar constantemente sua eficiência e produtividade para se manterem competitivas, os processos de produção passam por mudanças caracterizadas pelos avanços na digitalização, pelo uso das tecnologias (Lugert *et al.*, 2018). Como consequência, o ambiente de trabalho tende a evoluir: novas habilidades se tornam necessárias, forçando os trabalhadores a se desenvolverem e adquirirem novos conhecimentos, orientados para as competências individuais e coletivas. Isso pode facilitar o rápido aprendizado, conduzindo mudanças necessárias na rotina, tornando-a mais eficiente.

As rotinas, que são projetadas para garantir a qualidade dos processos, são alteradas de acordo com as práticas da Indústria 4.0 e processos de automação no trabalho humano (Sartal e Vázquez, 2017). Isso permite maior agregação de valor, podendo ser utilizado para eliminar desperdícios.

Este novo tipo de organização, baseada no modelo de fluxo de valor *lean* e nas práticas da Indústria 4.0, permite integrar verticalmente os processos de negócios e horizontalmente as outras áreas, tornando a manufatura de produtos e geração de serviços únicos, possibilitando mudanças de última hora na produção, com a

capacidade de responder de forma mais flexível a interrupções e falhas (Veza *et al.*, 2016).

Estas mudanças bruscas nos processos permitem o *lean* ser introduzido muito rapidamente e, quando combinado com o modelo das práticas da Indústria 4.0, atua como um impulsionador para otimizar a eficiência no desenvolvimento de produtos e serviços, impactando sobre o processo de inovação (Rauch *et al.*, 2017), tornando os processos mais eficientes, gerando crescentes melhorias no desempenho (Tortorella e Fettermann, 2018) e aumentando seus valores agregados (Lugert *et al.*, 2018).

Já as práticas da Indústria 4.0 facilitam a comunicação e a integração das entidades de produção, combinando os benefícios do *lean* e o surgimento de uma interface de comunicação (Kolberg *et al.*, 2017). Além disso, suportam o desenvolvimento das práticas já conhecidas, capitalizando os pontos fortes alinhados às estratégias das organizações (Ramadan *et al.*, 2022).

Dombrowski e Mielke (2014) afirmam que os processos de transformação são estratégicos e devem ocorrer diariamente e em toda a organização, de forma transversal, atenuando os obstáculos burocráticos e incentivando as lideranças, apontando para cinco princípios fundamentais: cultura de melhoria, autodesenvolvimento, qualificação, gestão do processo, capacidade de desenvolvimento de projetos complexos e foco no cliente.

Para tanto, se torna necessária a disponibilidade de capital intelectual capaz de gerir esta demanda e com a competência para conduzir as transformações organizacionais, sendo a aprendizagem um pré-requisito para a inovação, adaptação e mudança (Dietz *et al.*, 2013). Na prática, a disponibilidade das tecnologias para as práticas da Indústria 4.0 tem mudado a forma como os trabalhadores são vistos, de tal forma que são envolvidos em todas as fases do processo, com maior motivação e engajamento (Ciccarelli *et al.*, 2022).

Entretanto, D’Orazio *et al.* (2020) afirmam que as organizações encontram dificuldade para identificar as sinergias entre os possíveis investimentos em tecnologias e as aplicações direcionadas para a excelência operacional, mesmo que as práticas da

Indústria 4.0 atuam como plataforma direcionada para os negócios, conduzindo os processos de comunicação, colaboração e informação entre os trabalhadores, criando uma interação entre a parte técnica e social das equipes (Hong *et al.*, 2016).

Lugert, Batz e Winkler (2018) destacam que há um *trade off* a ser considerado: enquanto as práticas da Indústria 4.0 são tecnologicamente orientadas e se orientam para superar a complexidade através de uma penetração completa em tecnologias da informação, o *lean* utiliza uma abordagem metódica que visa reduzir a complexidade dos processos, se baseando em padronização consistente. Este é o desafio a ser considerado: como adaptar a filosofia *lean* às práticas da Indústria 4.0, considerando o dinamismo desta nova realidade.

2.3 Indústria 4.0

O desenvolvimento dos meios de produção, com o auxílio das tecnologias e a exigência dos mercados pela produção personalizada, direcionou as empresas para sistemas de produção associadas à uma alta carga tecnológica, conhecida como Indústria 4.0 ou transformação digital da manufatura e dos serviços, aqui denominadas práticas da Indústria 4.0.

Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018) afirmam que as práticas da Indústria 4.0 englobam tecnologias que permitem o desenvolvimento e integração de diferentes áreas, além de manufatura e processos, eficiência, gestão de dados, relacionamento com o consumidor, competitividade (Rifqi *et al.*, 2021), entre outros, que são capazes de serem modelados, manipulados e estruturados, de maneira dinâmica e econômica, com produtos compostos por materiais complexos e inovadores (Jardim-Goncalves *et al.*, 2017).

As mais recentes tecnologias, principalmente relacionadas à digitalização, já afetam a condição de algumas organizações e setores da economia. Ślusarczyk (2018) afirma que estes processos ocorrem em um ritmo diferente, associados principalmente ao grau de maturidade da economia, suas oportunidades de investimento e cultura de inovação. Neste quesito, a importância da tecnologia da informação e da comunicação é fundamental para a aprendizagem, em diferentes níveis. No nível organizacional, é

capaz de aumentar, melhorar, adaptar e mudar a capacidade produtiva das organizações (Dietz *et al.*, 2013).

Tais tecnologias direcionam as organizações para níveis distintos de eficácia e eficiência em seus processos, resultando como vantagem competitiva no mercado em que atuam. Terziyan, Gryshko e Golovianko (2018) afirmam que o uso destas tecnologias permite a interoperabilidade e disponibilidade das máquinas, a virtualização dos processos, a descentralização da tomada de decisão e controle das ações e a modularidade e capacidade de expansão, integrando diferentes sistemas e plataformas, de tal forma que as inovações tecnológicas são capazes de impactar significativamente na melhoria organizacional das empresas, sustentando e mantendo vantagens competitivas (Ramadan *et al.*, 2022).

As ações positivas aqui discutidas também permitem direcionar a busca da melhoria continuada nos processos organizacionais, através de um conjunto de ações para identificar lacunas latentes na implementação das práticas da Indústria 4.0.

Para suprir esta necessidade, as organizações utilizam ferramentas para auxiliar a implementação de tecnologias, fornecendo o conhecimento básico capaz de superar esta barreira tecnológica (Fettermann *et al.*, 2018). Além disso, as soluções de gerenciamento de fluxo de processos, muito rígidas, não fornecem meios para tratar situações imprevisíveis, de tal forma que as mesmas precisam se equilibrar entre elementos que solucionem problemas repetitivos e elementos que permitam soluções criativas para problemas complexos (Marin *et al.*, 2015).

Um exemplo prático é o uso da automação, que cria um ambiente de resultados constantes e sustentáveis, com alta precisão e que não dependem de emoções, capacidades físicas ou mesmo de formação acadêmica (Maasz e Darwish, 2018), facilitando a geração de serviços e a manufatura de produtos altamente personalizados e em baixo volume, garantindo alta qualidade, eficiência e lucratividade (Fatorachian e Kazemi, 2018), fazendo com que os resultados da substituição de operadores humanos por robôs possam gerar grande produção e crescimento (Barosz *et al.*, 2020). Isso permite a transição entre a indústria tradicional,

com baixa ou nenhuma introdução de tecnologias em seus processos, para o modelo da Indústria 4.0.

Este novo modelo industrial muda os papéis do humano e das máquinas nos processos de produção, reestruturando a própria essência do conceito de força de trabalho (Terziyan *et al.*, 2018). Na era das práticas da Indústria 4.0, as habilidades humanas são fundamentais, tornando-se uma necessidade compreender como as relações entre pessoas e tecnologias ocorrem (Ciccarelli *et al.*, 2022).

Os critérios importantes para as pessoas com as práticas da Indústria 4.0 passam a ser de adaptação para a resolução de problemas, a flexibilidade para adaptar novos papéis e ambientes de trabalho, a compreensão organizacional e a capacidade para interagir com interfaces modernas (Kazancoglu e Ozkan-ozen, 2018). Essas mudanças são substanciais, atuam diretamente na relação de trabalho entre homem e máquina e vem ocorrendo sistematicamente. Para tanto, dependem de um conjunto de elementos transformadores, capazes de modificar estes relacionamentos, de forma rápida e significativa.

O *cyber-physical system* (CPS) é o principal destes elementos. Harrison *et al.* (2016) afirmam que ele corresponde a uma combinação de elementos e funcionalidades, físicos e virtuais, representados na forma de equipamentos e dados. Assim, pode ser caracterizado como um sistema de monitoramento em tempo real, capaz de fornecer soluções capazes de suportar a automação e o controle dos processos implementados.

Sob a perspectiva técnica desses elementos, alguns desafios ainda não se encontram totalmente solucionados, fazendo com que este novo arranjo de tecnologias e aplicações inovadoras possibilite que máquinas se comuniquem entre si e os sistemas de controle descentralizados possam otimizar a produção (Xu *et al.*, 2018), direcionando para maior eficiência e qualidade do produto ou serviço (Thiede *et al.*, 2016). Para que trabalhem de forma adequada, se faz necessário um conjunto de equipamentos que se conectam entre si, com elementos que trocam informações em diferentes níveis. Este conjunto de equipamentos denomina-se *Internet of Things* (IoT).

Lin et al. (2017) afirmam que o conceito de IoT pode ser visto como uma arquitetura multicamadas, onde a diferença básica entre CPS e IoT é que o CPS é considerado um sistema enquanto que a IoT é a internet pura. A IoT consiste em um número ilimitado de dispositivos que se conectam entre si (Confederação Nacional da Indústria, 2016) em uma rede de sensores, atuadores, robôs, máquinas, aparelhos e dispositivos integrantes da internet (Aazam *et al.*, 2018) e se baseia na filosofia de que os humanos utilizam a inteligência das máquinas para a captura e comunicação de dados com precisão e consistência (Ghobakhloo, 2018).

O CPS e a IoT acarretam um conjunto de desafios emergentes para as práticas da Indústria 4.0 (Hecklau *et al.*, 2016), destacando a necessidade cada vez maior do uso racional das matérias-primas. Eles podem fornecer maior eficiência aos processos dos produtos e serviços, compartilhando recursos e fornecendo alta qualidade na gestão das operações (Lin *et al.*, 2017). Estes novos desenvolvimentos geram novos sistemas e soluções, com potencial para agregar valor e tornar as organizações mais competitivas (Costa e Patricio, 2018).

Apesar deste modelo ser considerado uma nova etapa industrial, em que a integração de processos e a conectividade com serviços possa ajudar as organizações a alcançar maior desempenho, pouco se sabe sobre como fazer isso (Dalenogare *et al.*, 2018). A tecnologia *digital twin* é uma destas possibilidades. Gallala *et al.* (2022) afirmam que os componentes reais e os dados adicionais gerados por computador são uma das possibilidades de desenvolvimento, sendo as réplicas virtuais uma excelente aproximação do comportamento operacional dos processos reais (Suhail *et al.*, 2022). Essa otimização dos resultados podem possibilitar soluções em produtos e serviços como vetor estratégico de diferenciação para a criação de valor, aproximando clientes e fornecedores, direcionando para a gestão cada vez mais integrada entre marketing, recursos humanos, tecnologia da informação (TI), manufatura e gestão da cadeia de suprimentos (Ghobakhloo, 2018).

O sistema de manufatura integrada é uma das principais estratégias operacionais adaptadas pelas organizações, que passam a construir uma visão estratégica voltada para as tecnologias da informação. Se o foco for direcionado para a diferenciação, deve-se priorizar a implementação dessas tecnologias, associadas ao

desenvolvimento de produto e serviços de manufatura avançados (Dalenogare *et al.*, 2018).

Para atingir este nível de desenvolvimento, as organizações necessitam ter seus processos estabilizados, com alto grau de padronização, e uma cultura de produção *lean* enraizada e desenvolvida (Wielki e Koziol, 2018), corroborando as diretrizes do WCM. Contudo, existem diferenças entre os princípios do WCM e as práticas da Indústria 4.0: enquanto o WCM baseia-se na melhoria, a Indústria 4.0 baseia-se no uso de informações e dados na tomada de decisões descentralizadas (Ebrahimi *et al.*, 2019). Além disso, a padronização dos processos não se aplica às organizações cujo foco está na diferenciação (Dalenogare *et al.*, 2018), gerando um *trade off*: se diferenciar, priorizando o uso da tecnologia como suporte ou padronizar os processos com o uso do *lean*.

Apesar deste *trade off*, as demandas e desafios apresentados são similares e mostram a importância da qualificação e desenvolvimento de recursos humanos. Isso deixa claro que as práticas da Indústria 4.0 são mais do que políticas direcionadas para a tecnologia. O recurso humano pode ser ainda mais importante (Schallock *et al.*, 2018), sendo que a responsabilidade na busca destes recursos recai sobre a alta gestão (Jabbour *et al.*, 2018), sendo necessário os líderes considerarem aspectos e habilidades tecnológicas ainda não contempladas (Luthra e Mangla, 2018).

Os trabalhadores, serão responsáveis por um escopo amplo e precisarão entender as relações entre os processos, os fluxos de informações, possíveis interrupções e prováveis soluções. Gorecky *et al.* (2017) afirmam que se faz necessária a adoção de medidas de qualificação adequadas, abrangendo tanto o nível organizacional como o tecnológico, capacitando os trabalhadores na adaptação para o modelo das práticas da Indústria 4.0, possibilitando iniciativas de agregação de valor aos produtos e serviços (Maasz e Darwish, 2018). O uso das tecnologias só se tornará completo com as aptidões humanas associadas aos processos.

Tendo o uso de tecnologias em conta, as organizações que desejam iniciar sua jornada em direção às práticas da Indústria 4.0 devem primeiro pensar quais são seus objetivos estratégicos, antes de implementar qualquer tecnologia (Dalenogare *et al.*,

2018). O impacto estratégico com as práticas da Indústria 4.0 é imenso, difícil de entender e de atender a todas as necessidades dos clientes, de maneira eficiente (Sony, 2018). As organizações necessitam compreender a complexidade organizacional na qual estão condicionadas as iniciativas estratégicas (Dietz *et al.*, 2013).

Adotar e implementar estratégias para as práticas da Indústria 4.0, cujo objetivo é aumentar o desempenho global, tornou-se um dos principais objetivos das organizações, de tal modo que ignorar as ligações entre as decisões estratégicas e as forças internas pode comprometer e reduzir o desempenho organizacional, impactando nas vantagens competitivas e, portanto, no sucesso estratégico (Ramadan *et al.*, 2022).

A identificação de estratégias direciona para uma estrutura que acomoda habilidades, tecnologia, governança e práticas de colaboração, uma vez que o encanto dos clientes exige não somente a manufatura de classe mundial, mas também o desenvolvimento continuado dos processos e serviços.

Os enfrentamentos competitivos globais em organizações de alta tecnologia demonstraram a necessidade de entender este novo paradigma para compreender como a vantagem competitiva é alcançada (Eisenhardt e Martin, 2000). Este é o verdadeiro incentivo para implementar as práticas da Indústria 4.0: manter a vantagem competitiva e entender as necessidades dos clientes, cada vez mais complexas.

2.4 Estudo bibliométrico

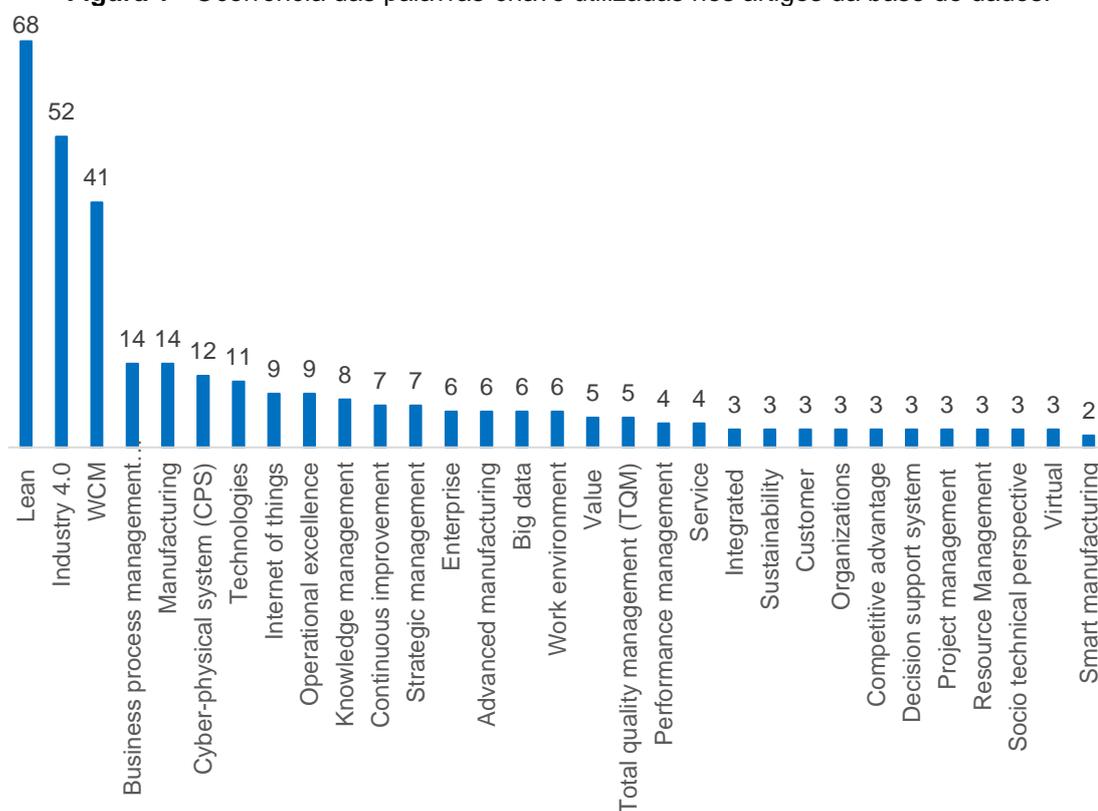
A bibliometria, quando atrelada à análise descritiva de artigos e à análise de redes, permite mostrar a evolução de um tema ao longo de um período e a identificar publicações relevantes sobre o tema estudado. Araújo (2006) afirma que a bibliometria centra sua avaliação no uso de métodos quantitativos, realizando avaliações objetivas sobre a produção científica.

A pesquisa dos artigos estudados foi realizada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, devido à sua relevância para a academia e por fornecer filtros que permitem adequar a busca de forma mais precisa.

Foi utilizada a base de dados *Web of Science* como referência para a coleta das informações bibliométricas. Todos os artigos que se mostraram relevantes e que foram encontrados na base *Scopus*, também foram buscados na base *Web of Science* e inseridos na base bibliométrica.

As palavras-chave utilizadas na busca dos artigos foram “*lean*”, “*lean production*”, “*lean manufacturing*”, “*WCM*”, “*World Class Manufacturing*”, “*world class business*” e “*industry 4.0*”. Todas foram relacionadas umas com as outras em três modos distintos: individualmente, aos pares e trios, sempre utilizando o conector “*and*”. Isso permitiu englobar um maior número de artigos aos temas pesquisados ao mesmo tempo que limitou o campo de busca, atingindo o núcleo desejado para a pesquisa. A Figura 1 mostra a ocorrência das palavras-chave utilizadas nos artigos da base de dados:

Figura 1 - Ocorrência das palavras-chave utilizadas nos artigos da base de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os artigos que contemplam a base de dados destacam maior ênfase às palavras-chave “lean” (68 referências), “Industry 4.0” (52 referências), “WCM” (41 referências) “Business process management (BPM)” (14 referências), e “Manufacturing” (14 referências).

O período dos artigos pesquisados não foi limitado por ano e considerou todos os artigos publicados e alocados nas respectivas bases de dados até junho de 2022. A base de dados final contempla 158 artigos. Todos tiveram seus conteúdos avaliados de forma integral. O Quadro 2 mostra os principais tópicos dos artigos considerados na busca.

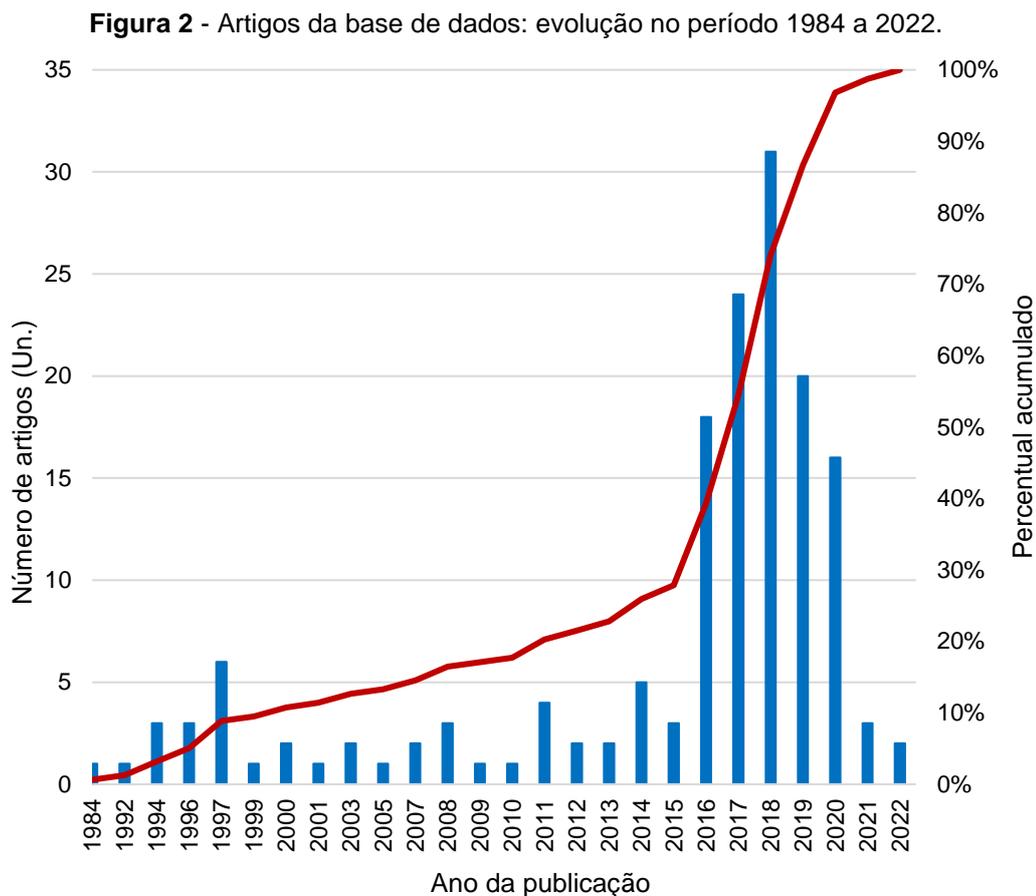
Quadro 2 - Artigos da base de dados separados por temas abordados em cada ano e a representatividade do tema na amostra total.

Temas abordados na amostra	Ano																			Representatividade dos temas abordados na amostra								
	1984	1992	1994	1996	1997	1999	2000	2001	2003	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Análise multicritério																												1.27%
BPM																												3.16%
Indústria 4.0																												24.05%
Lean																												11.39%
Lean e ágil																												0.63%
Lean e indústria 4.0																												10.76%
Lean e IT																												0.63%
Lean e manufatura																												3.80%
Lean e seis sigma																												0.63%
Lean e VSM																												0.63%
Lean e WCM																												5.06%
Manufatura																												4.43%
Processos estruturados																												10.76%
Processos estruturados e não estruturados																												0.63%
Processos semiestruturados																												2.53%
WCM																												17.09%
WCM e indústria 4.0																												2.53%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 2 destaca a evolução das amostras no período considerado, a relação entre os temas abordados nos artigos, o ano das publicações, a relação entre os temas abordados nos artigos e a representatividade do tema na amostra total. Considerando o período de 1984 - ano do primeiro artigo, até janeiro de 2022, os estudos relacionados com *lean* (53 artigos), Indústria 4.0 (42 artigos), WCM (39 artigos) e processos estruturados (22 artigos) apresentam a maior quantidade de publicações.

Os artigos publicados sobre *lean* e WCM (8 artigos) e WCM e Indústria 4.0 (4 artigos) têm poucos estudos relacionados, sendo 92% deles publicados a partir de 2018. Não há publicações realizadas sobre os três temas propostos: *lean*, WCM e Indústria 4.0, evidenciando a lacuna da pesquisa. A Figura 2 representa, de forma gráfica, a evolução dos artigos da base de dados no período considerado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A representatividade do WCM na amostra corresponde a 17,09% da amostra. Os temas abordados nos artigos não refletem, fielmente, as palavras-chave utilizadas na busca. Apesar do sistema de gestão integrado WCM não ser um tema recente, as pesquisas neste tópico se mantiveram por um longo período de tempo, com maior destaque na década de 1990 e início dos anos 2000, retornando como foco de pesquisa a partir de 2015. De 2019 a 2021 há uma queda acentuada na publicação de artigos sobre o tema, provavelmente, devido à pandemia COVID-19.

A provável consequência do retorno aos estudos do WCM se deve ao seu direcionamento para a gestão por processos, cujo objetivo está na orientação para a excelência na qualidade em produtos e serviços, buscando atingir, constantemente, 'zero defeito', 'zero atraso', 'zero acidente', 'zero quebra de máquina' e 'zero desperdício'. As organizações aspiram este nível em seus processos para se destacarem no mercado, ou seja, adotam isso como vantagem competitiva.

Outro fator que pode ter influenciado neste retorno foram as conquistas alcançadas pelo grupo Fiat, ao admitir publicamente que este sistema de gestão integrado foi o impulsionador para a recuperação econômica do grupo (Cardoso, 2017). Além disso, seu direcionamento para maior uso das ferramentas *lean* tem alavancado os estudos nesta linha, uma vez que o mesmo tem sido considerado como elemento base para a implementação das práticas da Indústria 4.0.

Esta orientação, *lean* e Indústria 4.0, representa 10,76% da amostra e tem se destacado com maior intensidade nos últimos anos. O artigo “*Systems innovation manager*” de Dooley e O’Sullivan (2010) foi pioneiro nesta análise e vislumbrou o uso das soluções digitais na manufatura, três anos antes do termo “Indústria 4.0” ser citado pela primeira vez. Nota-se que, a partir de 2017, o tema “*lean* e Indústria 4.0” aparece em uma curva crescente. Este fato ocorre, principalmente, mas não isoladamente, devido ao crescimento das pesquisas e uso das tecnologias no meio industrial, grande utilizadora e disseminadora da filosofia *lean*.

O avanço do uso das tecnologias no meio fabril tem direcionado um grande número de pesquisas no estudo das práticas da Indústria 4.0. O tema, cada vez mais recorrente, corresponde a 24,05% da amostra, salientando a atualidade do conteúdo e sua importância para a sociedade. O termo “processos estruturados” e “*lean* e indústria 4.0” corresponde a 10,76% cada, considerando a amostra total. Eles têm relevância pois mostram a capacidade de unificar a abordagem entre WCM, *lean* e Indústria 4.0, reunindo as condições necessárias para realizar as investigações entre as áreas de estudo.

Dietz et al. (2013) afirmam que várias abordagens têm sido utilizadas para um bom desempenho de gestão organizacional, sendo que a maioria delas necessita de suporte tecnológico para um desempenho satisfatório para os relacionamentos, desejos e necessidades dos clientes.

Para este estudo serão considerados os artigos a partir de 20 citações como sendo os mais relevantes. O Quadro 3 mostra a relação entre os artigos, *journals*, ano da publicação e número de citações por artigo.

Quadro 3 - Artigos mais citados, journal, ano da publicação e número de citações.

Artigo	Journal	Ano	Citações
Dynamic capabilities and strategic management	Strategic Management Journal	1997	9401
Dynamic Capabilities: What Are They?	Strategic Management Journal	2000	4719
Contingency research in operations management practices	Journal of Operations Management	2008	353
Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0	Procedia CIRP	2016	128
Successful <i>lean</i> implementation. Organizational culture and soft <i>lean</i> practices	International Journal Production Economics	2015	99
World-class manufacturing project. Overview and selected results	International Journal of Operations & Production Management	97	92
The Service Revolution and the Transformation of marketing science	Marketing Science	2014	71
The impact of big data on world-class sustainable manufacturing	International Journal Advanced Manufacturing Technology	2016	69
The contribution of manufacturing strategy involvement and alignment to world-class manufacturing performance	International Journal of Operations & Production Management	2007	60
SDMSim. A manufacturing service supply demand matching simulator under cloud environment	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2017	57
Factors influencing employee perceptions in <i>lean</i> transformations	International Journal Production Economics	2011	52
Engineering Methods and Tools for Cyber-Physical Automation Systems	Proceedings of the IEEE	2016	39
Industry 4 0 state of the art and future trends	International Journal of Production Research	2018	38
Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing. Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing	Journal of Industrial Engineering and Management	2016	35

continua

Artigo	Journal	Ano	Citações
Tangible Industry 4.0 A scenario-based approach to learning for the future of production	Procedia CIRP	2016	33
A model for the assessment of new technology for the manufacturing enterprise	Technovation	2000	30
Holistic approach for human resource management in Industry 4.0	Procedia CIRP	2016	30
Decision support systems for semi-structured buying decisions	European Journal of Operational Research	1984	29
Factors affecting knowledge management success. The fit perspective	Journal of Knowledge Management	2012	26
Lean Leadership – 15 Rules for a sustainable Lean Implementation	Procedia CIRP	2014	26
Partner selection and information infrastructure of a virtual enterprise network	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	2001	24
An investigation of the role of communication on IT projects	International Journal of Operations & Production Management	2014	23
Towards Lean Production in Industry 4.0	Procedia Engineering	2017	22
World Class Manufacturing by Fiat Comparison with Toyota Production System from a Strategic Management Accounting Operations Management and performance measurement	International Journal of Production Research	2015	22
Developing a BPI framework and PAM for SMEs	Technological Forecasting & Social Change	2007	21
Towards a lean automation interface for workstations	Technological Forecasting & Social Change	2017	20

Fonte: Elaborado pelo autor.

O tópico WCM aparece em 4 dos 10 artigos mais citados. Indústria 4.0 aparece em 3 artigos, sendo um deles associado ao tema *lean* e os outros 3 artigos fazem referência ao tópico sobre processos estruturados e semiestruturados.

Os artigos “*Dynamic capabilities and strategic management*”, publicado em 1997 (9401 citações) e “*Dynamic Capabilities: What Are They?*”, publicado em 2000 (4719 citações) possuem um número muito elevado de citações, se diferenciando dos demais. Teece, Pisano e Shuen (1997) afirmam que o nível de produtividade, qualidade ou atendimento ao cliente, associados a diferentes recursos, refletem o potencial da organização para criar, desenvolver e recombinar recursos com vistas a implantar novas estratégias para criar valor.

Este direcionamento aponta para a evolução na manufatura, orientando para novos recursos e métodos. O uso das capacidades dinâmicas, popularmente conhecido como melhoria continuada ou melhores práticas, tais como desenvolvimento de produto, tomada de decisão estratégica e alianças, têm semelhanças significativas entre as organizações (Eisenhardt e Martin, 2000). Para estes autores, o uso das capacidades dinâmicas está associado a novas descobertas. A utilização de ferramentas antes consideradas de difícil acesso se tornam um fator motivador para novas pesquisas, fazendo com que as organizações adotem as tecnologias como fator estratégico, se destacando no meio à qual estão inseridas.

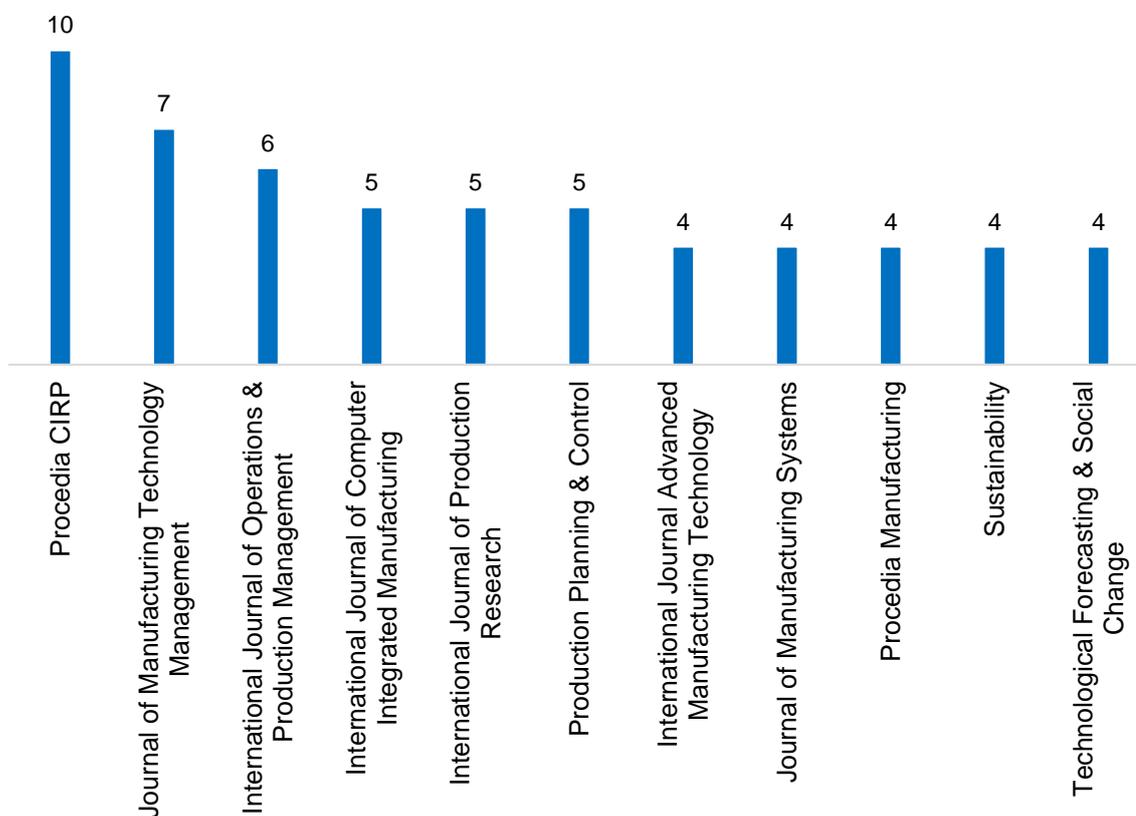
A gestão de operações também faz parte do conjunto de artigos que complementam o estudo, com diversos temas conectados. O artigo “*Contingency research in operations management practices*”, publicado em 2008, se destaca com 353 citações. O foco principal do artigo está relacionado com a metodologia WCM na gestão das operações.

Os artigos “*Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*” e “*Successful lean implementation. Organizational culture and soft lean practices*” estão relacionados aos tópicos *lean* e Indústria 4.0. O primeiro destaca a capacidade de gerar valor aos produtos e serviços com o advento das práticas da Indústria 4.0, enquanto o segundo destaca a influência do *lean* em processos de inovação. Ambos destacam a integração entre os temas abordados.

O tema proposto também evidencia a extensão e complexidade na avaliação dos periódicos ponderados no estudo. Colocar os três temas em uma única análise permite que um grande número de *journals* sejam considerados, com poucas

publicações em cada um, sem grandes destaques. A Figura 3 mostra os *journals* com maior número de publicações.

Figura 3 - Número de publicações, por journal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 3 mostra o baixo índice de publicações, se considerado um *journal* de forma isolada. O corte para o gráfico foi de quatro artigos publicados por *journal*. Destacam-se o “Procedia CIRP”, com 10 publicações e o Journal of Manufacturing Technology Management, com 7 publicações. O fato da maioria dos artigos serem publicados em “*Procedias*” indica que o tema ainda não está consolidado, corroborando a lacuna proposta nesta tese.

Entre os periódicos com maiores publicações, todos têm forte relação com a gestão de operações e as tecnologias da manufatura. Eles mostram a influência das tecnologias no meio social e nas mudanças da organização do trabalho. Todos os demais *journals* apresentam assuntos diversos relacionados ao tema proposto.

2.4.1 Análise de redes sociais

A análise de redes sociais permite compreender os campos científicos do estudo, com maior detalhamento dos tópicos considerados e a representação gráfica entre os diversos atores. Aqui, serão realizadas duas análises de redes distintas:

- a) rede de palavras-chave;
- b) rede de autores mais citados.

Para a análise das redes foram utilizados os softwares VOSviewer, versão 1.6.9 e NetDraw, versão 2.158.

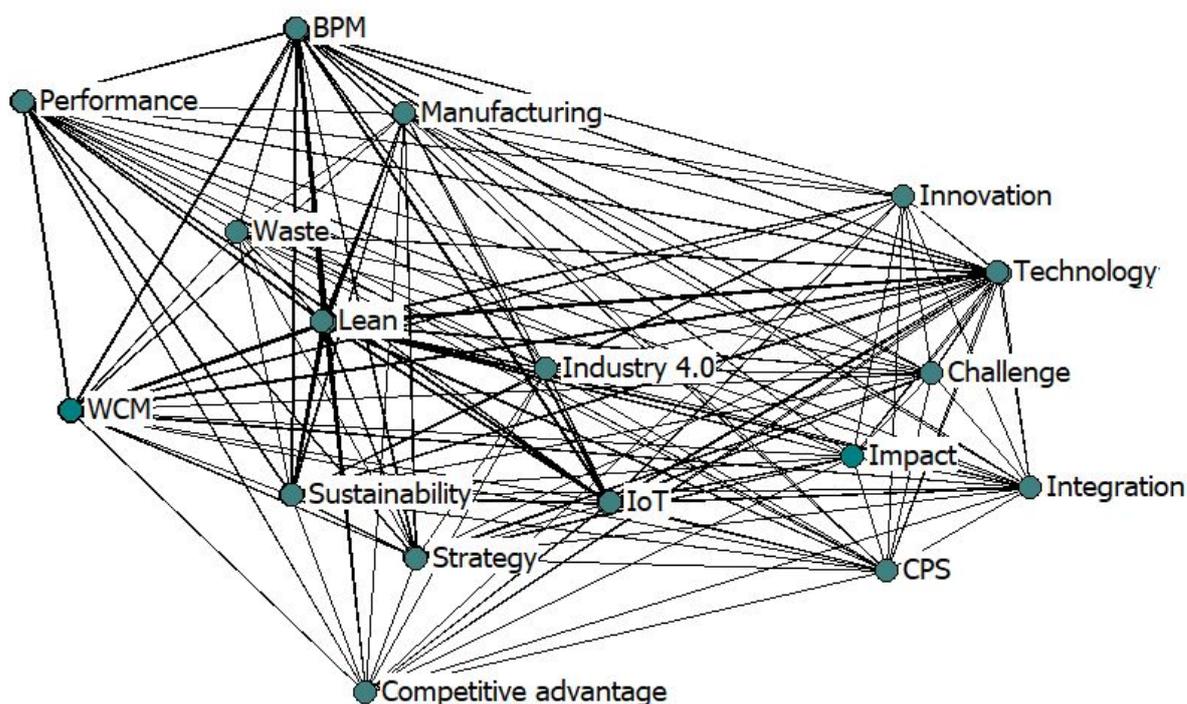
2.4.1.1 Rede de palavras-chave

A rede de palavras-chave mostra a relação entre as palavras utilizadas para busca dos artigos e a frequência com que elas ocorrem. O critério proposto para corte foi de cinco ocorrências, ou seja, foram consideradas palavras-chave citadas cinco vezes ou mais. Algumas palavras estavam dispostas em diferentes termos e foram unificadas:

- a) *business process, business management e business process management*: BPM;
- b) *internet e internet of things*: IoT;
- c) *lean, lean bundle, lean manufacturing, lean process, lean production e leanness*: *Lean*;
- d) *new technologies e technology*: *Technology*;
- e) *performance e performance measurement*: *Performance*;
- f) *strategic management e strategy*: *Strategy*;
- g) *world class, World Class Manufacturing, WCM*: WCM.

Foram excluídas as palavras-chave utilizadas na busca dos artigos nas bases de dados e aquelas que não tinham relação com o tema proposto, independentemente de terem cinco ou mais ocorrências. A Figura 4 mostra a rede de palavras-chave e suas respectivas conexões.

Figura 4 - Ocorrência de palavras-chave.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto maior a espessura do traçado, maior a intensidade de interação entre os termos. Dentro da rede de palavras-chave da Figura 4 se observam três nichos que contextualizam o estudo:

- a) **tecnologias:** representa as inovações tecnológicas. Abrange as palavras *'Technology'*, *'Innovation'*, *'Challenge'*, *'Impact'*, *'Integration'*, *'CPS'* e *'IoT'*.
- b) **manufatura:** representa as relações dos processos produtivos com as métodos e práticas utilizados na manufatura em busca de melhor desempenho e eficiência. Abrange as palavras *'Lean'*, *'Waste'*, *'Manufacturing'*, *'BPM'*, *'Performance'* e *'WCM'*.
- c) **estratégia:** representa os objetivos para a aplicação e uso do WCM e *lean* sob o ponto de vista das práticas da Indústria 4.0 como fator estratégico para as organizações. Abrange as palavras *'Strategy'*, *'Competitive advantage'* e *'Sustainability'*.

A palavra *lean* tem forte relação com os processos de manufatura. O desperdício (*waste*) mostra a influência do *lean* neste processo e o relaciona com os métodos gerenciais. Barker (1994) afirma que o desperdício pode ser considerado como um

potencial inexplorado que existe em toda a cadeia de adição de valor, de tal forma que este potencial pode melhorar muito o desempenho da organização.

O WCM também aponta para este caminho. Lee e Oakes (1996) afirmam que uma nova abordagem para a manufatura pode resultar na remoção de resíduos e melhorar a qualidade dos produtos.

A relação entre o *lean* e as práticas da Indústria 4.0 se dá com o objetivo de melhorar a produtividade e a flexibilidade (Buer *et al.*, 2018; Rifqi *et al.*, 2021), reduzindo a complexidade e concentrando-se em tarefas que agregam valor (Kolberg *et al.*, 2017). O desafio é permitir um nível semelhante de evolução, tanto no nível da manufatura quanto no nível gerencial, alinhado com a possibilidade de uma evolução integrada (Villalba-diez *et al.*, 2018).

Na prática, o estímulo ao uso contínuo de tecnologias associadas ao *lean* está na integração entre as tecnologias e os resultados esperados para o investimento realizado, ou seja, está em permitir maior flexibilidade aos processos.

A Figura 4 apresentada anteriormente também mostra que a palavra IoT age como fator integrador, com forte viés direcionado para as tecnologias e os métodos da gestão da manufatura. Quando considerado sob o ponto de vista estratégico, o uso das tecnologias é visto como elemento diferenciador, ou seja, as organizações utilizam as tecnologias como vantagem competitiva, visto a complexidade do mercado.

Farsijani (2005) afirma que as estratégias de gerenciamento precisam selecionar em quais métodos eles podem confiar, uma vez que a escolha correta pode criar enormes vantagens competitivas, capazes de atingir resultados que, anteriormente, não eram possíveis.

Sob esta perspectiva, o WCM propicia uma gama maior de ferramentas e procedimentos capazes de aumentar e melhorar a produtividade, fazendo com que o sistema de gestão integrado esteja diretamente relacionado com o *lean* e com as diretrizes estratégicas, causando maior impacto nas organizações.

Oliveira et al. (2016) afirmam que as organizações que desejam construir vantagens competitivas de longo prazo buscam desenvolver práticas de WCM e, ao mesmo tempo, permanecem flexíveis o suficiente para se manterem atualizadas com os novos valores sociais e novas estratégias (Ramadan *et al.*, 2022). Destaca-se, assim, a integração com a sustentabilidade dos processos.

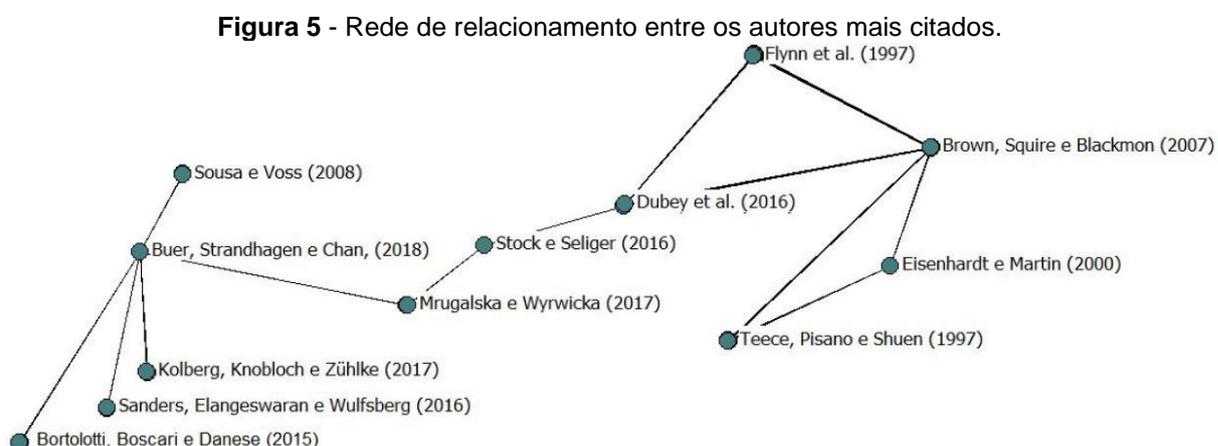
Apesar da palavra WCM estar fortemente relacionada com o *lean* e com as tecnologias, ela não possui relação com a palavra *Industry 4.0*, caracterizando a lacuna do estudo proposto.

Outro destaque se dá para a palavra *Challenge*, ligada ao núcleo “Tecnologias”. Destaca-se que as organizações que se propõem a aplicar os métodos e ferramentas das práticas da Indústria 4.0 encontram-se na vanguarda do desenvolvimento.

À medida que os requisitos e desafios para as organizações mudam, os ambientes de aprendizado correspondentes também se adaptam (Dooley e O’Sullivan, 2010), fazendo com que as organizações se destaquem no meio que estão envolvidas.

2.4.1.2 Rede de autores mais citados

A rede dos artigos e suas referências tem por objetivo identificar os padrões de comportamento entre os autores mais citados da base de dados. Esta rede se originou nos autores que foram citados vinte vezes ou mais. A Figura 5 mostra esta rede.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede de autores mais citados se divide em três grupos bem distintos:

- a) o grupo que estuda as capacidades dinâmicas e que associam processos robustos ao desenvolvimento tecnológico. Destacam-se Brown *et al.* (2007), Eisenhardt e Martin (2000), Flynn *et al.* (1997) e Teece *et al.* (1997);
- b) o grupo que estuda a gestão de operações e os processos associados à tecnologia. Destacam-se Bortolotti *et al.* (2015), Buer *et al.* (2018), Kolberg *et al.* (2017), Sanders *et al.* (2016) e Sousa e Voss (2008);
- c) o grupo que estuda as estratégias e competências tecnológicas, associadas à agregação de valor a produtos e serviços. Este grupo faz a conexão entre os dois anteriores, tratando de temas semelhantes para ambos. Destacam-se Dubey *et al.* (2016), Mrugalska e Wyrwicka (2017) e Stock e Seliger (2016).

Teece, Pisano e Shuen (1997) são os autores mais citados da base de dados, com 9.401 citações. Eles discorrem sobre o tema das capacidades dinâmicas e estratégias e como elas influenciam nos processos.

Os mesmos autores afirmam que a teoria estratégica está repleta de análises que sustentam e salvaguardam as combinações entre as competências tecnológicas, desenvolvimento de produtos e processos, tomada de decisão, transferência de tecnologia, propriedade intelectual, manufatura e recursos humanos e estão vinculados a uma maior vantagem competitiva, apoiada em processos distintos, corroborando Ebrahimi *et al.* (2019), que afirmam ser necessário utilizar informações em tempo real no processo de tomada de decisão.

Eisenhardt e Martin (2000) também possuem um número elevado de citações, 4.719. Asseveram que os processos organizacionais associados à estratégia das organizações são capazes de criar valor em mercados dinâmicos, onde a estrutura da indústria é indefinida, assumindo um caráter dinâmico. Afirmam que os processos, geralmente, são simples, experimentais e instáveis e que dependem de novos conhecimentos criados rapidamente, de forma iterativa, para produzir resultados adaptáveis. Estes autores possuem trabalhos em capacidades dinâmicas, processos e estratégia, o que mostra a sua forte conexão com os temas abordados e pode explicar o alto número de citações.

Brown, Squire e Blackmon (2007) abordam as estratégias de manufatura sob o ponto de vista da gestão de operações aplicado ao WCM. Afirmam que os vínculos entre a manufatura e as estratégias utilizadas pelas organizações ainda são frágeis, não existindo um diálogo constante entre as partes, corroborando as proposições de Flynn et al. (1997).

Nota-se que as abordagens dinâmicas têm forte relação com os diferentes temas abordados. Sob estas perspectivas - estratégia e competências tecnológicas, criação de valor e vínculo entre a manufatura e a gestão estratégica, há um direcionamento para as práticas de processos de manufatura mais sustentáveis e eficientes na tomada de decisões (Dubey et al., 2016), fazendo com que as tecnologias sejam capazes de impulsionar a transição para a Indústria 4.0, com a digitalização da manufatura (Rifqi et al., 2021).

Nesta vertente se encaixam as práticas da Indústria 4.0, o *lean* e o WCM. As práticas da Indústria 4.0 correspondem ao direcionamento tecnológico e de rápido desenvolvimento de processos, o *lean* corresponde à eficácia e eficiência destes processos e o WCM direciona para a vertente estratégica.

Assim, ocorre uma integração horizontal, caracterizada por uma rede de criação e agregação de valor, fornecendo um ambiente de negócios novos e inovadores e, portanto, levando a uma mudança nos mercados (Stock e Seliger, 2016), dando origem a vários novos conceitos, híbridos (Rifqi et al., 2021) e que são capazes de capacitar as organizações a respostas mais rápidas e com maior flexibilidade, considerando a complexidade dos processos (Mrugalska e Wyrwicka, 2017).

O texto de Buer, Strandhagen e Chan (2018) é aglutinador das ideias voltadas para as práticas da Indústria 4.0 e *lean*, mostrando diferentes lacunas que norteiam este estudo. Os autores destacam o paradoxo entre a melhoria continuada – na qual considera as possibilidades dos trabalhadores se envolverem em projetos de melhoria e a otimização dos processos, levando a uma diminuição no trabalho padronizado de baixa qualificação e a um aumento nas atividades de alta qualificação.

A complexidade do tema envolve diferentes cenários, uma vez que contempla não somente o *lean* e as práticas da Indústria 4.0, mas a visão estratégica do negócio e o modo como as relações de trabalho estão ocorrendo. Sousa e Voss (2008) destacam esta complexidade quando consideram a gestão de operações aplicadas às atividades que caracterizam o surgimento de um novo tipo de organização, que se destaca no meio à qual está inserida. Esta ideia tem um forte direcionamento para o WCM, uma vez que eleva o nível de competitividade global e melhora o desempenho do sistema de manufatura, considerando a visão para a abordagem de manufatura de classe mundial (Ebrahimi *et al.*, 2019).

Bortolotti, Boscari e Danese (2015) destacam a complexidade do uso do *lean* em organizações com trabalhadores que possuem pouca aptidão para trabalhos multidisciplinares. Kolberg, Knobloch e Zühlke (2017) apontam o crescimento do uso do *lean* associado aos sistemas tecnológicos e a necessidade dos trabalhadores em desempenhar diferentes tarefas e Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) abordam o ambiente do *lean* nas práticas da Indústria 4.0 e a relutância na implantação desta nova forma de produzir.

2.5 Resumo do quadro teórico

Neste capítulo foram apresentados os principais construtos para as práticas da Indústria 4.0, *lean* e WCM, mostrando como os mesmos se relacionam, quais as lacunas da pesquisa encontradas e as respectivas referências que embasam este trabalho. O Quadro 4 mostra o resumo dos referenciais teóricos.

Quadro 4 - Resumo do referencial teórico.

Constructo	Referencial teórico
Estratégia	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Teoh et al. (2021); Dalenogare et al. (2018); Dubey et al. (2016); Chiarini e Vagnoni (2015); Dombrowski e Mielke (2014); Dietz et al. (2013); Brown, Squire e Blackmon (2007); Eisenhardt e Martin (2000); Teece, Pisano e Shuen (1997).
Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Alpenberg e Scarbrough (2018); Fatorachian e Kazemi (2018); Furlan e Vinelli (2018); Ghobakhloo (2018); Gryshko; Golovianko (2018); Jabbour et al. (2018); kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018); Lotfi e Saghiri (2018); Luthra e Mangla (2018); Mróz (2018); Sangwa e Sangwan (2018); Sahoo e Yadav (2018); Sony (2018); Terziyan; Wielki e Koziol (2018); Villalba-Diez et al. (2018); Azevedo (2017); Gölzer e Fritzsche (2017); Gorecky, Khamis e Mura (2017); Kolberg, Knobloch e Zühlke (2017); Mendes e Mattos (2017); Mrugalska e Wyrwicka (2017); Paranitharan et al. (2017); Patidar; Soni e Soni (2017); Sartal et al. (2017); Stock e Seliger (2016); Marin, Hauder e Matthes (2015); Sousa e Voss (2008); Eisenhardt e Martin (2000); Flynn et al. (1997).
Indústria 4.0	Ciccarelli et al. (2022); Teoh et al. (2021); Rifqi et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Fettermann et al. (2018); Jabbour et al. (2018); Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018); Kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018); Maasz e Darwish (2018); Schallock et al. (2018); Terziyan, Gryshko e Golovianko (2018); Xu, Xu e Li (2018); Jardim-Goncalves, Romero e Grilo (2017); Harrison, Vera e Ahmad (2016); Hong, Lee e Suh (2016); Thiede, Juraschek e Herrmann (2016).
<i>Internet of Things</i> (IoT)	Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Aazam, Zeadally e Harras (2018); Ghobakhloo (2018); Lin et al. (2017); Hecklau et al. (2016).
<i>Lean</i>	Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Sangwa e Sangwan (2018); Ng e Ghobakhloo (2017); Bortolotti; Boscarri e Danese (2015); Dombrowski e Mielke (2014); Holweg (2007); Barker (1994).
<i>Lean</i> e Indústria 4.0	Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D’Orazio et al. (2020); Buer, Strandhagen e Chan (2018); Lugert, Batz e Winkler (2018); Tortorella e Fettermann (2018); Rauch, Dallasega e Matt (2017); Sartal e Vázquez (2017); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Veza, Mladineo e Gjeldum (2016); Dooley e O’sullivan (2010).
Serviços	Costa e Patricio (2018).
WCM	Ciccarelli et al. (2022); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Rødseth et al. (2019); Wamba et al. (2015); Khan, Bali e Wickramasinghe (2007); Farsijani (2005); Schonberger (1992).
WCM e <i>Lean</i>	Barosz et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Ching, Fathi e Ghobakhloo (2018); Satolo et al. (2018); Gómez e Godinho Filho (2017); Oliveira et al. (2016); Lee e Oakes (1996).

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.6 Análise crítica do referencial teórico

Na literatura apresentada, o WCM reúne um conjunto de conceitos da manufatura que direciona para relações entre diferentes métodos da qualidade, cujo objetivo é a melhoria focada e continuada em processos.

Entretanto, o WCM não exige uma demanda excedente de trabalho. Ele, simplesmente, altera o modo como os processos são executados, tornando-os mais eficientes. Como resultado, o WCM busca fomentar e difundir a cultura da melhoria continuada, através das diferentes operações desenvolvidas pela organização, cujo foco está direcionado para a visão estratégica.

O sistema de gestão integrado WCM aponta para o uso das melhores práticas gerenciais, com destaque para a análise de custos, integração das pessoas, flexibilidade em processos e inovação tecnológica. O uso destas técnicas tem como foco a eficiência, através da redução dos custos operacionais e dos desperdícios, com o mesmo foco do *lean*.

A mudança da cultura organizacional atinge as organizações em seus mais diferentes níveis, fazendo com que ocorram alterações no modo como as estruturas se organizam. A relação entre a alta gestão e a manufatura e serviços se torna, progressivamente, mais próxima.

Para que esta estrutura funcione de modo adequado, se faz necessário o desenvolvimento continuado dos recursos humanos, por muitas vezes negligenciado pela alta gestão e a respectiva compensação pelas melhorias sugeridas e implantadas, indicando um aumento da capacidade de aplicação de ferramentas direcionadas para a melhoria continuada, em busca das melhores práticas.

A capacidade para desenvolver as melhores equipes, com os melhores profissionais, faz com que as organizações se apresentem com capacidade para aprimorar produtos e oferecer serviços condizentes com a necessidade de cada cliente, reforçando as diretrizes para uma visão estratégica diferenciada no mercado em que atuam.

Organizações que apresentam maior sucesso com a aplicação do WCM e do *lean* são as que utilizam, extensivamente, as práticas que relacionam as pessoas, tais como treinamento de trabalhadores para realizar múltiplas tarefas, parcerias com fornecedores, envolvimento do cliente e melhoria continuada, em conjunto com as ferramentas técnicas e analíticas.

O esforço pela excelência operacional, com recursos mínimos, resulta em um desenvolvimento estrutural capaz de alavancar os sistemas produtivos, oferecendo produtos e serviços mais robustos, que atingem mercados universais. Este quesito faz com que a metodologia seja utilizada como elemento estratégico pelas organizações.

A sinergia entre o WCM e o *lean*, como elemento propulsor para a redução dos desperdícios, a disseminação de uma cultura de melhoria continuada e as práticas da Indústria 4.0, como ator impulsionador da implantação de novas tecnologias no processo produtivo, sinalizam para maior transparência em indicadores, resultando em organizações que orientam seus modelos organizacionais para uma gestão estratégica de médio e longo prazo.

Na vertente tecnológica, esta integração ocorre de forma mais acentuada e dinâmica, estreitando as conexões entre WCM, *lean* e práticas da Indústria 4.0. Os vetores utilizados são de uso comum entre todos. A diferença é que o “consumo” de informações se torna mais dinâmico e assertivo, de modo que a comunicação flua de forma mais intensa. Esta integração pode proporcionar ganhos significativos em sistemas produtivos, atraindo clientes a partir de questões estratégicas, tais como a velocidade em fornecer um produto, serviço ou produção sob demanda.

Quando uma tecnologia é aprimorada, a chance de ela dominar o mercado na qual está inserida é grande, preenchendo espaços não dominados, quer por acomodação das organizações dominantes ou por ineficiência em desenvolvimento de novos produtos e serviços. Para dominar um mercado, ou entrar nele como um elemento dominante, não é necessária uma revolução tecnológica. Uma alteração simples, porém, eficiente, para resolver um problema já é suficiente para que haja alternância entre os dominantes. A tecnologia não precisa ser, necessariamente, revolucionária, disruptiva. Basta ser evolucionária.

Em um contexto mais complexo e inovador, elas são capazes de agir e modificar o ambiente onde estão inseridas, reagindo a diferentes situações e prevenindo o ambiente fabril de intempéries ou problemas provenientes de um processo falho. A falta de semelhanças é um problema significativo, uma vez que pode afetar o desempenho na forma de comunicar. A confiabilidade e a segurança para as práticas da Indústria 4.0 ainda geram insegurança, uma vez que não estão totalmente desenvolvidas.

As políticas da Indústria 4.0 podem influenciar na forma como os produtos são fabricados, mas não há dados suficientes capazes de comprovar que a percepção de valor dos produtos pelos clientes está associada ao uso das tecnologias utilizadas na produção, na melhoria dos processos, produtos e serviços. Apesar da melhoria em processos ser cada vez mais aparente, ainda não existem evidências significativas na literatura que comprovem que o uso intenso das tecnologias, associadas ao WCM, estejam relacionadas a maior qualidade nos produtos e serviços ofertados aos clientes finais.

A dificuldade encontra-se em manter processos híbridos e que satisfaçam todas as organizações. Diferentes fatores estão associados a estes processos:

- a) os processos devem ser padronizados, estáveis e ter repetibilidade, mesmo aqueles que são direcionados para produtos únicos, ou seja, organizações direcionadas para projetos. Aqui se encontram as organizações que trabalham no formato *engineer to order*. Entretanto, este tipo de operação vai de encontro ao WCM, que está direcionado para a produção para processos já estabelecidos;
- b) pessoas capacitadas e treinadas, capazes de desenvolver produtos e serviços associados a um alto grau tecnológico, utilizando ferramentas complexas;
- c) gestão por processos, garantindo uma gestão horizontal, ou seja, aquela que visa a integração de todas as ações do processo e que permite maior flexibilidade e agilidade na tomada de decisões. Isso faz com que os objetivos estratégicos estejam sempre no 'campo de visão' da organização, facilitando a aplicação de soluções inovadoras;

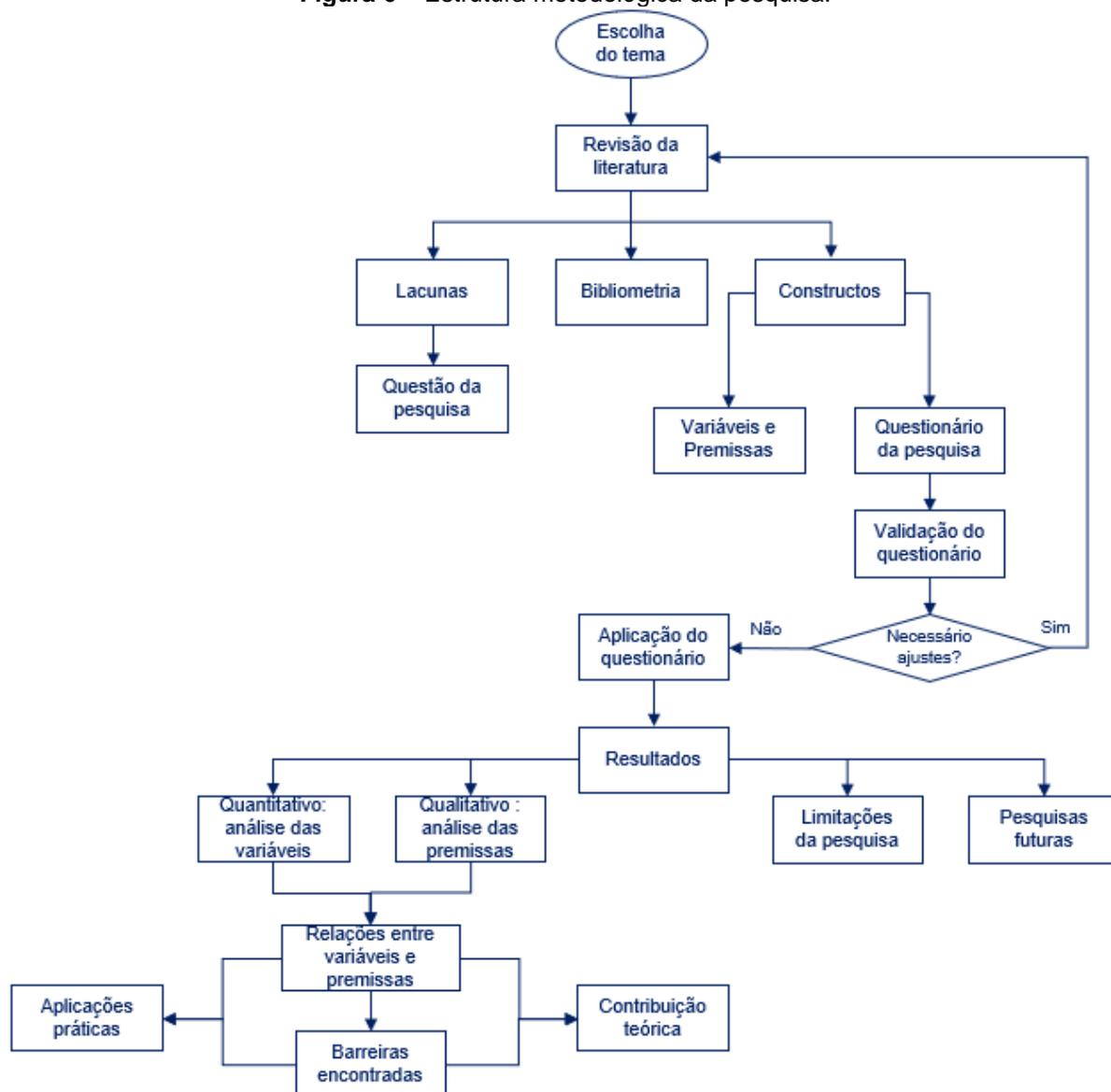
- d) aplicação sistemática de métodos e ferramentas que auxiliem na padronização dos processos, apontando para a redução continuada dos desperdícios e o mais alto nível de qualidade na entrega de produtos e serviços aos clientes;
- e) implantação de um sistema da qualidade capaz de integrar os diferentes departamentos de uma organização, desde a manufatura até o desenvolvimento de produtos e serviços;
- f) disponibilidade de máquinas, equipamentos, tecnologias, insumos e matérias-primas.

Estas iniciativas podem influenciar todo o sistema de negócios, transformando os meios pelos quais os produtos são projetados, produzidos, entregues e descartados.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A Figura 6 apresenta a estrutura metodológica utilizada neste estudo.

Figura 6 – Estrutura metodológica da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este estudo foram considerados, em sequência, os seguintes tópicos:

- a) escolha do tema;
- b) revisão detalhada da literatura;
- c) análise bibliométrica;
- d) definição dos constructos;

- e) definição das variáveis e premissas;
- f) elaboração do questionário semiestruturado;
- g) validação do questionário com três organizações distintas;
- h) aplicação do questionário para as demais organizações;
- i) coleta e análise dos resultados: qualitativa, quantitativa, limitações da pesquisa e pesquisas futuras.

As organizações responderam ao questionário através do link da plataforma online *Google Forms* (<https://forms.gle/EGwai8e77MEqTDBg8>), sem interferência do pesquisador. O envio do formulário ocorreu de duas formas: i) através de mensagem pela rede social LinkedIn ou ii) através de endereço eletrônico (e-mail). O critério para a seleção das organizações foi por conveniência, uma vez que deveriam ter conhecimento sobre o tema pesquisado. Os respondentes da pesquisa foram gestores vinculados ao processo fabril e com conhecimento nos processos estabelecidos.

Os resultados foram avaliados em duas vertentes: quantitativa, com a análise das variáveis e qualitativa, com a análise das premissas. As respostas permitiram responder à questão da pesquisa, traçar um perfil de aplicação prática, de acordo com as barreiras encontradas, as relações entre as variáveis e premissas e contribuir com a teoria. Por fim, foram listadas as limitações e direcionamentos para pesquisas futuras.

3.1 Abordagem metodológica da pesquisa

O tema está direcionado para os estudos baseados no modelo das práticas da Indústria 4.0 e o sistema de gestão integrado WCM. Trata-se de um estudo qualitativo. Garcia e Gluesing (2013) afirmam que estudos qualitativos se fundamentam através da capacidade de utilizar ferramentas para lidar com múltiplos níveis de investigação, fornecendo os melhores métodos, desenvolvendo uma compreensão do contexto na cultura organizacional e sobre a eficácia potencial de programas e processos de mudança.

As variáveis que impactam em um estudo qualitativo devem ser investigadas com maior criticidade, quando comparadas com os estudos quantitativos. Isto porque os estudos qualitativos representam um momento, uma foto da situação atual, com maior grau de dificuldade para expressar um conjunto de situações que representam o universo pesquisado. Este fator dificulta a generalização. O uso simultâneo de métodos qualitativos e quantitativos torna o estudo mais robusto.

Neuman (2014) afirma que os estudos qualitativos são alternativas aos números, e a medição é menos uma etapa de pesquisa separada; como o processo é mais indutivo, se medem e se criam novos conceitos, simultâneos ao processo de coleta de dados.

As pesquisas qualitativas direcionam para problemas ou questionamentos ditos inéditos e que requerem estudos em profundidade, ou ao confronto para um caso inédito e que não se tem informações e/ou evidências apresentadas na literatura existente (Da Silva *et al.*, 2014).

Esta afirmação vai ao encontro ao estudo proposto nesta tese, uma vez que direciona para uma investigação exploratória, tornando-se um método valioso para o desenvolvimento da teoria, usando uma variedade de fontes de dados (Baxter and Jack, 2008), objetos desta tese. Os resultados qualitativos descreveram uma maior confiança na abordagem do problema devido à compreensão sobre os fatores contribuintes, a comunicação com o objeto da pesquisa, gerando maior compreensão dos fatos decorrentes da pesquisa (Östlund *et al.*, 2011).

Garcia e Gluesing (2013) afirmam que os estudos qualitativos explicam como ocorrem os fenômenos organizacionais e como os processos são influenciados, gerando de forma mais eficaz os contextos multiculturais das organizações. A pesquisa qualitativa se adéqua ao estudo de múltiplos casos, uma vez que busca identificar as variáveis dentro de um contexto não controlado, enfatizando a relação com o desenvolvimento teórico considerado, de tal modo que os casos selecionados sejam capazes de abranger informações pertinentes e que possibilitem a replicação do estudo proposto.

Os estudos de múltiplos casos mostram a possibilidade de se comparar dados de diferentes organizações, para a mesma pesquisa, de tal forma que a análise

comparativa entre estas organizações evidencie o contraste entre elas, ou seja, há validação dos procedimentos realizados tanto interna quanto externamente (Eisenhardt, 1989).

A seleção dos casos é um aspecto importante da teoria de construção a partir de estudos de caso, visto que o conceito de uma população é crucial, pois ela define o conjunto de entidades a partir do qual a amostra da pesquisa está se desenhando.

A seleção de uma amostra adequada controla sua variação e ajuda a definir os limites para generalizar o que se deseja pesquisar (Eisenhardt, 1989). Nesta tese, foi considerada a população das organizações que tem o sistema de gestão integrado WCM aplicado em seus processos, ou aquelas que tem a intenção de aplicar, associado aos conceitos das práticas da Indústria 4.0.

Nas pesquisas quantitativas, a medição é um passo distinto no processo de pesquisa que ocorre antes da coleta de dados, mostrando um conjunto de técnicas especiais. O objetivo é capturar com precisão detalhes do mundo empírico, expressando o que encontramos em números.

Da Silva *et al.*, (2014) asseveram que a pesquisa quantitativa deve ser capaz de permitir a transformação dos dados em números, justificando a análise estatística. Para validar uma pesquisa quantitativa, os dados coletados devem satisfazer uma amostragem que abranja uma área, atividade ou segmento, pois necessitam permitir análises estatísticas, enfatizando que este tipo de pesquisa só se justifica quando os problemas estão bem definidos, com embasamento teórico robusto.

Nesta tese, foi utilizado o *survey* como procedimento para a coleta de dados. Em estudos quantitativos, a medição tem uma terminologia e um conjunto de técnicas especiais, pois o objetivo é capturar com precisão detalhes do mundo empírico e expressar o que encontramos em números, enquanto que nos estudos qualitativos medimos com alternativas aos números, fazendo com que o processo de medição possibilite criar novos conceitos e de forma simultânea com a coleta de dados (Neuman, 2014).

O uso dos dois métodos no mesmo estudo permite que as evidências mostradas no âmbito qualitativo possam ser corroboradas com números. Östlund et al. (2011) afirmam que os métodos quantitativos e qualitativos de pesquisa, quando combinados, são cada vez mais reconhecidos, pois podem capitalizar os pontos fortes e fracos de ambas as abordagens, tornando os resultados da pesquisa mais robustos.

A necessidade de estabelecer medidas que vão ao encontro dos conceitos em estudo garante a validade do constructo. A viabilidade da pesquisa se mostra através de operações e procedimentos para coleta de dados que ratificam as abordagens adotadas, permitindo a adaptação dos objetivos da pesquisa quanto às relações de causa e efeito e contribuições teórico-empíricas.

A adaptação do método a ser utilizado e dos conceitos envolvidos permitem conduzir a pesquisa dentro dos domínios ao qual as descobertas de um estudo podem ser generalizadas, ou seja, permitem que uma teoria possa ser comprovada e/ou desenvolvida a partir de um conjunto de estudos de casos, agregado à validação matemática, gerando contribuições significativas para a pesquisa e a academia.

As generalizações - característica da abordagem qualitativa, são analíticas, o que mostra que o pesquisador está tentando generalizar um conjunto particular de resultados a alguma teoria mais abrangente (Yin, 2017). As análises matemáticas - característica da abordagem quantitativa, são capazes de validar e/ou direcionar para caminhos que indiquem e comprovem o que é proposto. A abordagem quali-quantitativa a ser utilizada nesta tese permite analisar os resultados nestes dois ambientes.

3.2 Procedimentos para a realização da pesquisa

Esta pesquisa está direcionada para o estudo de múltiplos casos e aplicação de questionários semiestruturados. Garcia e Gluesing (2013) afirmam que este direcionamento se evidencia a uma maior percepção sobre as novas formas de trabalhar e como as práticas de trabalho estão evoluindo na interação do dia a dia, bem como à forma como elas estão relacionadas com as influências contextuais em vários níveis.

O objetivo deste estudo é responder a questão da pesquisa, tomando como base a literatura existente. Com isso, propor formas de relacionar as lacunas encontradas na literatura com o tema apresentado. A pergunta da pesquisa deve ser capaz de responder, de forma clara e objetiva, os questionamentos apresentados frente aos objetos do estudo. As etapas do estudo estão sintetizadas na Figura 6, apresentada anteriormente.

O desenvolvimento da teoria e a revisão da literatura são a base e o direcionador da pesquisa. Deles resulta a questão da pesquisa, que orienta para a seleção da unidade de análise e o questionário a ser aplicado. Para validar o questionário de pesquisa, foi realizado um estudo de caso teste com três organizações distintas. Em uma primeira análise, o questionário foi respondido pelas três organizações, com ressalvas e sugestões para deixar o questionário mais objetivo. Como resultado final, o teste foi realizado novamente, com o novo questionário, validado pelas organizações que já haviam respondido na primeira etapa. As pessoas que responderam no primeiro envio foram as mesmas que responderam após o reenvio do questionário, garantindo que o que foi sugerido e alterado estava de acordo com as condições propostas.

A questão da pesquisa é o gatilho para a revisão da literatura. Esta, por sua vez, a responsável por gerar as variáveis, provocando maior profundidade na análise das mesmas, servindo de base para a tese. Por fim, o pesquisador analisa as variáveis e suas relações, de forma individual e coletiva, faz as considerações necessárias e elabora as conclusões.

A pergunta desta pesquisa tem por objetivo determinar quais variáveis impactam na gestão das operações e no desempenho das organizações, quando considerado o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0.

As respostas devem estar associadas a um conjunto de teorias que corroboram ou não os questionamentos realizados, a fim de adicionar novos conhecimentos à teoria existente ou desenvolver novas teorias acerca do tema proposto.

3.3 Variáveis e premissas da pesquisa

A revisão da literatura permitiu agregar diferentes conceitos em conjuntos similares, mostrados no Quadro 4. Estes conjuntos são resultado da conexão entre os autores e as palavras-chave utilizadas na busca da base de dados, conforme apresentado no item 2.4. Isso permite mostrar que diferentes autores pesquisam temas semelhantes, convergindo para objetivos comuns. Esta afluência de conceitos e ideias aponta para um refinamento dos temas estudados, facilitando a identificação das lacunas da pesquisa e, conseqüentemente, a elaboração das variáveis do estudo.

As variáveis e premissas têm por objetivo identificar as relações entre WCM e as práticas da Indústria 4.0, podendo direcionar para fatores, ou conjunto de fatores, que resultam um esboço mais assertivo sobre o conteúdo estudado, ou seja, que forneçam os argumentos capazes de responder à pergunta da pesquisa e proporcionar conclusões mais abrangentes acerca do tema proposto.

A definição das variáveis e premissas teve como fundamento a redução e agregação dos constructos mostrados no Quadro 4. A revisão da literatura permitiu identificar as relações entre os constructos e as lacunas, de tal forma que as variáveis e premissas resultassem a necessidade de suprir uma lacuna apresentada pelo constructo, quando considerada a revisão da literatura e os respectivos referenciais teóricos. Ou seja, de acordo com o conjunto de informações apresentadas pelo referencial teórico foram elaborados questionamentos que verificassem se a informação corrobora ou não a questão da pesquisa, base deste estudo. O Quadro 5 mostra as variáveis da pesquisa.

Quadro 5 - Variáveis (V), constructos das variáveis e os respectivos referenciais teóricos.

Variável	Constructo	Referencial teórico
V1. O desenvolvimento de novas habilidades com a tecnologia.	Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Sony (2018).
V2. Uso de tecnologias no WCM.		Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Alpenberg e Scarbrough (2018); Kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018); Lotfi e Saghiri (2018); Sangwa e Sangwan (2018); Ślusarczyk (2018); Tortorella e Fettermann (2018); Azevedo (2017); Oliveira et al. (2016); Dombrowski e Mielke (2014); Dietz et al. (2013); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000); Flynn et al. (1997).
V3. Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de processos.	Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021); Ebrahimi et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Paranitharan et al. (2017); Chiarini e Vagnoni (2015); Brown, Squire e Blackmon (2007); Teece, Pisano e Shuen (1997); Lee e Oakes (1996).
V4. Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de tecnologias.	Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Lugert, Batz e Winkler (2018); Khan, Bali e Wickramasinghe (2007); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000).
V5. Práticas da Indústria 4.0 e agregação de valor.	Vantagem competitiva	

continua

Variável	Constructo	Referencial teórico
V6. Barreiras operacionais.	Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Fettermann et al. (2018); Gómez e Godinho Filho (2017); Oliveira et al. (2016); Chiarini e Vagnoni (2015); Sousa e Voss (2008); Lee e Oakes (1996).
V7. Implantação do WCM em indústrias com alta variabilidade produtiva.		
V8. Maturidade para implementar as práticas da Indústria 4.0.		
V9. Processos sustentáveis.	Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Dubey et al. (2016).
V10. Organizações WCM estão direcionadas para a adição de valor.	Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021); Ebrahimi et al. (2019); Lee e Oakes (1996); Barker (1994).
V11. Adaptabilidade dos processos para as práticas da Indústria 4.0.	Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Fettermann et al. (2018); Villalba-Diez et al. (2018); Satolo et al. (2018); Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Veza, Mladineo e Gjeldum (2016).

Fonte: elaborado pelo autor.

As variáveis V1 e V9 estão relacionadas com o constructo ‘inovação’. V1 está associada com os processos para desenvolvimento das competências humanas e de novas habilidades, enquanto V9 se associa ao desenvolvimento de estratégias como diferencial para processos sustentáveis.

As variáveis V2, V3, V6, V7, V8 e V11 estão relacionadas com o constructo ‘gestão de operações’. V2 associa o WCM como vertente estratégica para a competitividade, destacando o uso intensivo de tecnologia na melhoria de processos; V8 e V11 complementam V2, pois enfatizam o uso das tecnologias de acordo com a capacidade de adaptação dos processos. V6 destaca a dificuldade para vencer as barreiras operacionais, associada ao desenvolvimento das práticas da qualidade; V3 complementa V6, uma vez que enfatiza o desenvolvimento do capital intelectual para

vencer estas barreiras. E V7 enfatiza a dificuldade em implantar o sistema de gestão integrado em indústrias de projetos, onde os processos são pouco padronizados e com alta variabilidade: para cada projeto um novo processo desenvolvido.

As variáveis V4 e V10 estão relacionadas com o constructo 'gestão da qualidade'. V4 avalia as relações entre o desenvolvimento do capital intelectual e as tecnologias, buscando identificar as dificuldades para encontrar talentos nesta área, através dos desdobramentos da qualidade, enquanto V10 identifica a agregação de valor junto aos sistemas da qualidade.

A variável V5 está relacionada com o constructo 'vantagem competitiva'. Enquanto as demais variáveis estudam as relações das práticas da Indústria 4.0 e a agregação de valor separadamente, a variável V5 integra estes dois vetores, procurando explorar suas relações com a integração digital da manufatura para a agregação de valor aos produtos e serviços.

O Quadro 6 mostra as premissas da pesquisa.

Quadro 6 - Premissas (P), categorias para as premissas e respectivos referenciais teóricos.

Premissa	Constructo	Referencial teórico
P1. Compreensão organizacional e de processos são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0.	Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Alpenberg e Scarbrough (2018); Kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018); Lotfi e Saghiri (2018); Sangwa e Sangwan (2018); Ślusarczyk (2018); Tortorella e Fettermann (2018); Azevedo (2017); Oliveira et al. (2016); Dombrowski e Mielke (2014); Dietz et al. (2013); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000); Flynn et al. (1997).
P2. O conhecimento em diferentes métodos de manufatura permite identificar tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos com qualidade.	Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021) ; Ebrahimi et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Paranitharan et al. (2017); Chiarini e Vagnoni (2015); Brown, Squire e Blackmon (2007); Teece, Pisano e Shuen (1997); Lee e Oakes (1996).
P3. O uso das tecnologias aumenta a produtividade e está orientada para a estratégia adotada pelas empresas.		
P4. O WCM propicia, com o auxílio das tecnologias, a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor.	Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021) ; Ebrahimi et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Paranitharan et al. (2017); Chiarini e Vagnoni (2015); Brown, Squire e Blackmon (2007); Teece, Pisano e Shuen (1997); Lee e Oakes (1996).

continua

Premissa	Constructo	Referencial teórico
P5. Programas de qualidade auxiliam na adição de valor.	Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021) ; Ebrahimi et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Paranitharan et al. (2017); Chiarini e Vagnoni (2015); Brown, Squire e Blackmon (2007); Teece, Pisano e Shuen (1997); Lee e Oakes (1996).
P6. WCM estabelece estratégias para a competitividade através da capacitação pelas práticas da Indústria 4.0.	Vantagem competitiva	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Lugert, Batz e Winkler (2018); Khan, Bali e Wickramasinghe (2007); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000).
P7. As práticas da Indústria 4.0 auxiliam na eficiência dos processos.	Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D’Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Ng e Ghobakhloo (2017); Rauch, Dallahsega e Matt (2017).
P8. Objetivos estratégicos direcionados para a manufatura.	Vantagem competitiva	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Wamba et al. (2015).

Fonte: elaborado pelo autor.

A premissa P7 está relacionada com o constructo ‘inovação’, uma vez que procuram explorar como as práticas da Indústria 4.0 incentivam o desenvolvimento dos processos e influenciam na eficácia e eficiência dos mesmos.

A premissa P1 está relacionada com o constructo ‘gestão de operações’. Esta premissa explora a complexidade dos modelos de gestão direcionados para as práticas da Indústria 4.0, buscando compreender o nível de maturidade do desenvolvimento organizacional com a inserção das tecnologias nos processos.

As premissas P2, P3, P4 e P5 estão relacionadas com o constructo 'gestão da qualidade'. P2 explora as tendências estratégicas para se atingir a excelência nos processos, produtos e serviços. P3 busca compreender como o uso das tecnologias influencia na gestão da qualidade, enquanto que P4 e P5 observam a capacidade do WCM agregar valor durante o processo de transição de uma organização para o modelo classe mundial.

As premissas P6 e P8 estão relacionadas com o constructo 'vantagem competitiva'. P6 busca compreender como as estratégias para a competitividade se estabelecem, através do uso de novas tecnologias, enquanto P8 busca traçar quais os objetivos são possíveis atingir e quais os resultados esperados com as estratégias implementadas.

3.4. Seleção da unidade de análise

A seleção da unidade de análise levou em consideração a capacidade de a organização responder aos questionamentos apresentados, cujo objetivo final é responder à questão da pesquisa.

Definiu-se como unidade de análise as organizações, e/ou suas subsidiárias, independentemente da área de atuação, localização, sistema econômico e cultural onde estão inseridas, que aplicam o sistema de gestão integrado WCM, ou sistemas de gestão integrados derivados do WCM, que tem seus processos direcionados para as práticas da Indústria 4.0 ou que estão em fase de implantação.

Estas organizações foram convidadas a responder o questionário da pesquisa, ficando isentas de quaisquer obrigações. Além disso, foi considerado:

- a) critério de amostragem não aleatório, para garantir que a população do estudo esteja inserida nos requisitos exigidos;
- b) apenas os questionários respondidos de forma completa e/ou aqueles onde as perguntas obrigatórias, marcadas com asterisco, foram respondidas.

Os questionários foram enviados por meio eletrônico, o que permitiu uma avaliação simultânea, sendo respondidos sem a influência do pesquisador, de tal forma que a

veracidade das informações fosse de completa responsabilidade do respondente, isentando o pesquisador e a pesquisa de eventuais tendências.

3.5 Procedimentos para a pesquisa de campo

O objetivo da pesquisa de campo foi verificar os questionamentos apresentados, através do estudo de múltiplos casos, em dois momentos distintos: de forma isolada e de forma unificada. Isso permitiu traçar os diferentes perfis das organizações quanto a maturidade dos métodos aplicados, as estratégias adotadas e o nível de transformação para as práticas da Indústria 4.0.

A pesquisa foi respondida com o auxílio de um questionário semiestruturado, elaborado a partir da revisão da literatura. Os questionários foram elaborados tomando como base os constructos gerados a partir da revisão da literatura, pois designam o conceito ainda não observado, necessitando de uma definição mais clara e objetiva, apoiando-se sobre o embasamento teórico a ser construído e definido.

A escala utilizada para algumas questões da pesquisa deste estudo é a do tipo *Likert*. Outras são de múltipla escolha, de acordo com o que a revisão da literatura direcionou. Quanto às variações da escala, foram utilizadas escalas com cinco gradações, uma vez que as com três gradações são pouco abrangentes e as com quatro gradações não permitem a resposta indiferente quanto ao item pesquisado.

Dalmoro e Vieira (2006) afirmam que a escala de cinco gradações tem a mesma precisão que a escala de sete ou mais gradações, além de ser mais rápida na aplicação, causando menos dúvidas quanto à interpretação dos entrevistados. A relação entre as variáveis, as premissas, os constructos e a revisão da literatura são mostradas no Quadro 7.

Quadro 7 - Constructos, referencial teórico, itens a serem avaliados e escalas para o questionário de pesquisa.

Constructo	Referencial teórico	Item avaliado	Escalas
Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Sony (2018).	O desenvolvimento de novas competências humanas e organizacionais permite explorar novas oportunidades de inovação e incremento de tecnologias, impactando na gestão estratégica.	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
		WCM estabelece estratégias para a competitividade em diferentes mercados, estabelecendo vantagens competitivas de longo prazo através do uso das tecnologias em processos de manufatura;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
Gestão de operações	(2019); Rødseth et al. (2019); Alpenberg e Scarbrough (2018); Kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018); Lotfi e Saghiri (2018); Sangwa e Sangwan (2018); Ślusarczyk (2018); Tortorella e Fettermann (2018); Azevedo (2017); Oliveira et al. (2016); Dombrowski e Mielke (2014); Dietz et al. (2013); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000); Flynn et al. (1997).	Modelos de gestão complexos, direcionados para resolução de problemas, processos sobrepostos, flexibilidade, integração de indicadores, resiliência dos trabalhadores quanto às mudanças. Compreensão organizacional e processual são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0;	<input type="checkbox"/> Compreensão organizacional e processual <input type="checkbox"/> Flexibilidade <input type="checkbox"/> Integração de indicadores <input type="checkbox"/> Modelos de gestão complexos, direcionados para a resolução de problemas <input type="checkbox"/> Processos sobrepostos <input type="checkbox"/> Resiliência dos trabalhadores quanto às mudanças <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores
		Disponibilidade de capital intelectual é necessária para desenvolver processos, geralmente criados de forma rápida e iterativa e para produzir resultados adaptáveis.	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente

continua

Constructo	Referencial teórico	Item avaliado	Escalas
Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021); Ebrahimi et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Hill et al. (2018); Satolo et al. (2018); Paranitharan et al. (2017); Chiarini e Vagnoni (2015); Brown, Squire e Blackmon (2007); Teece, Pisano e Shuen (1997); Lee e Oakes (1996).	O conhecimento em diferentes métodos de controle de manufatura permite identificar tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos com qualidade;	<input type="checkbox"/> <i>Value Stream Mapping</i> - VSM <input type="checkbox"/> Kanban e 5S <input type="checkbox"/> <i>Plan, Do, Check, Action</i> - PDCA <input type="checkbox"/> Seis Sigma <input type="checkbox"/> <i>Total Productive Maintenance</i> - TPM <input type="checkbox"/> <i>World Class Manufacturing</i> – WCM <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores
		O uso das tecnologias aumenta a produtividade e está orientada para a estratégia adotada pelas empresas;	<input type="checkbox"/> <i>Big data</i> <input type="checkbox"/> <i>Internet of Things</i> – IoT <input type="checkbox"/> Manufatura aditiva <input type="checkbox"/> Monitoramento de chão de fábrica <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores
		O uso das tecnologias depende de uma gestão de operações organizada e eficaz e exige disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos qualificados;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
		Programas de qualidade auxiliam na adição de valor.	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
		O WCM propicia a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor, com o auxílio das tecnologias.	<input type="checkbox"/> <i>Big data</i> <input type="checkbox"/> <i>Internet of Things</i> – IoT <input type="checkbox"/> Manufatura aditiva <input type="checkbox"/> Monitoramento de chão de fábrica <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores
Vantagem competitiva	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Lugert, Batz e Winkler (2018); Khan, Bali e Wickramasinghe (2007); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000).	Desenvolvimento de tecnologias, implantação da Indústria 4.0 e a integração digital na manufatura utilizadas como estratégia de diferenciação na agregação de valor;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente

continuação

Constructo	Referencial teórico	Item avaliado	Escalas
Vantagem competitiva	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Lugert, Batz e Winkler (2018); Khan, Bali e Wickramasinghe (2007); Farsijani (2005); Eisenhardt e Martin (2000).	WCM estabelece estratégias para a competitividade através da capacitação pelas práticas da Indústria 4.0, com modelos de gestão direcionados a diferentes tecnologias.	<input type="checkbox"/> Gestão pela qualidade total e coleta contínua de dados <input type="checkbox"/> Integração de recursos e áreas <input type="checkbox"/> Reengenharia <input type="checkbox"/> Automação de processos (<i>Robotic Process Automation - RPA</i>) <input type="checkbox"/> Virtualização de processos <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores
Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Fettermann et al. (2018); Gómez e Godinho Filho (2017); Oliveira et al. (2016); Chiarini e Vagnoni (2015); Sousa e Voss (2008); Lee e Oakes (1996).	O desenvolvimento de práticas de qualidade de longo prazo e a flexibilidade para atender os clientes auxilia na quebra de barreiras operacionais;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
		A dificuldade de implantar o WCM em fábricas de projetos, com alta variabilidade e produção sob demanda coloca em risco a gestão de operações integrada com as práticas da Indústria 4.0;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
		Nível de maturidade na gestão de operações em relação à implementação das práticas da Indústria 4.0.	<input type="checkbox"/> Muito bom: todos os processos interligados e monitorados de forma virtual <input type="checkbox"/> Bom: processos interligados e monitorados de forma virtual, com problemas pontuais <input type="checkbox"/> Razoável: processos interligados mas não monitorados de forma virtual <input type="checkbox"/> Ruim: poucos processos interligados e não monitorados de forma virtual <input type="checkbox"/> Muito ruim: processos não interligados

continuação

Constructo	Referencial teórico	Item avaliado	Escalas
Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Dubey et al. (2016).	Estratégia e competências tecnológicas direcionam para processos sustentáveis e auxiliam na gestão das operações.	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
Gestão da qualidade	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Rifqi et al. (2021); Ebrahimi et al. (2019); Lee e Oakes (1996); Barker (1994).	Organizações WCM estão direcionadas para a agregação de valor.	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
Gestão de operações	Ciccarelli et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Fettermann et al. (2018); Villalba-Diez et al. (2018); Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Veza, Mladineo e Gjeldum (2016).	Sistemas de produção digital facilitam a adaptabilidade dos processos, baseados no modelo de fluxo de valor para as práticas da Indústria 4.0;	<input type="checkbox"/> Concordo totalmente <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Discordo totalmente
Inovação	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Rifqi et al. (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); D'Orazio et al. (2020); Foit et al. (2020); Ebrahimi et al. (2019); Rødseth et al. (2019); Ng e Ghobakhloo (2017); Rauch, Dallasega e Matt (2017).	As práticas da Indústria 4.0, impulsionadas pelo envolvimento dos trabalhadores, incentivam a eficiência dos processos, resultando em aumento e melhoria da produtividade.	<input type="checkbox"/> Melhor aproveitamento de recursos e ferramentas <input type="checkbox"/> Maior eficiência operacional <input type="checkbox"/> Maior integração entre diferentes áreas <input type="checkbox"/> Mais segurança aos trabalhadores <input type="checkbox"/> Redução dos desperdícios <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores

continuação

Construto	Referencial teórico	Item avaliado	Escalas
Vantagem competitiva	Ciccarelli et al. (2022); Ramadan et al. (2022); Mutasa e Telukdarie (2021); Teoh et al. (2021); Barosz et al. (2020); Foit et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Wamba et al. (2015).	Objetivos estratégicos para a manufatura.	<input type="checkbox"/> Desenvolvimento e integração de tecnologias <input type="checkbox"/> Integração de tecnologias <input type="checkbox"/> WCM <input type="checkbox"/> Nenhum dos anteriores

Fonte: Elaborado pelo autor.

As pessoas que responderam ao questionário não sofreram influência do pesquisador. O questionário de pesquisa, mostrado nos apêndices 1 e 2, é composto por uma carta de apresentação e perguntas diretas, sendo dividido em três blocos distintos:

- a) caracterização do entrevistado: este item não tem relação com a revisão da literatura e tem por objetivo caracterizar o entrevistado sob o ponto de vista da aplicação e disseminação dos métodos utilizados;
- b) caracterização da organização: informações das organizações quanto a localização, área de atuação, tamanho e aplicação dos métodos. Este item não tem relação com a revisão da literatura e tem por objetivo caracterizar a organização;
- c) caracterização dos métodos aplicados: informações sobre o grau de maturidade do sistema de gestão integrado WCM ou sistemas de gestão integrados derivados do WCM e das práticas da Indústria 4.0 aplicados nas organizações. Este item tem relação direta com a revisão da literatura e tem por objetivo identificar e responder as lacunas da pesquisa, bem como as relações entre as variáveis apresentadas, no que diz respeito a estratégia, gestão da qualidade, gestão de operações, inovação, vantagem competitiva.

Freitas e Jabbour (2011) afirmam que o roteiro para o processo de análise das evidências utilizado em estudos de casos, de um modo geral, segue os seguintes procedimentos:

- a) transcrição fidedigna e detalhada das evidências coletadas;
- b) análise das evidências coletadas com base nos principais conceitos;
- c) cruzamento das evidências coletadas entre os casos.

As pesquisas foram realizadas com pessoas que conhecem a rotina organizacional, as ferramentas, métodos aplicados e o perfil estratégico, a fim de garantir os resultados de forma fidedigna com a realidade.

3.6 Questionário da pesquisa de campo

O questionário de pesquisa foi elaborado a partir da revisão da literatura, as variáveis e as premissas, tomando como base os Quadros 4, 5, 6 e 7. As perguntas resultaram das lacunas encontradas na revisão da literatura, cada qual relacionada ao seu constructo e suas relações com a proposta da pesquisa. De acordo com o referencial teórico e o constructo considerado, foram identificados os itens a serem avaliados. Se o item avaliado corresponde a uma pergunta direta, a escala utilizada é do tipo Likert e a análise é do tipo quantitativa; caso contrário, foram consideradas respostas de múltipla escolha, para adequar a maior quantidade de itens em um mesmo parâmetro e a análise é do tipo qualitativa.

Foram utilizados os estudos - já validados, porém adaptados, de Losonci, Demeter e Jenei (2011) e Bortolotti, Boscari e Danese (2015) quanto a gestão de operações e acrescentadas as ressalvas para as práticas da Indústria 4.0. Os questionários de pesquisa encontram-se nos apêndices 1 e 2, nas versões português e inglês, respectivamente.

O questionário auxiliou na compreensão da percepção do pesquisador para as lacunas de pesquisa que resultaram da revisão da literatura, conforme almejado. O objetivo foi analisar os processos direcionados para a gestão das operações e a influência do WCM para a implantação das práticas da Indústria 4.0, quando consideradas em um ambiente com tecnologias disruptivas. Os resultados foram tabulados seguindo os parâmetros estabelecidos no capítulo 4.

Junto com o questionário foi enviada uma carta convite para o respondente, indicando os tópicos pesquisados, o objetivo, o nome da instituição onde o pesquisador está associado e o nome dos responsáveis pela pesquisa.

3.7 Modelo teórico quantitativo

A principal característica da análise multivariada é reduzir uma grande quantidade de variáveis observadas a um número reduzido de fatores, que representam os constructos e explicam o conjunto destas variáveis (Lattin *et al.*, 2011). Segundo os mesmos autores, elas podem ser analisadas sob duas vertentes distintas:

- a) dependência, na qual as variáveis ou o conjunto de variáveis podem ser explicadas por outras variáveis, conhecidas como variáveis independentes;
- b) interdependência, na qual nenhuma variável ou conjunto de variáveis podem ser definidas como sendo independente ou dependente, sendo necessária a análise simultânea de todas as variáveis no conjunto.

O estudo proposto contempla a técnica de interdependência. As variáveis não são classificadas como dependentes ou independentes. Elas são analisadas simultaneamente em um esforço para encontrar uma estrutura subjacente a todo o conjunto de variáveis ou indivíduos (Hair *et al.*, 2009).

Dentre as diferentes técnicas de interdependência, foi escolhida a análise fatorial, uma vez que há diferentes variáveis devendo ser analisadas simultaneamente. O objetivo foi encontrar respostas que agrupem componentes comuns para as diferentes variáveis. Segundo os mesmos autores, a análise dos dados na análise fatorial pode ocorrer de duas formas:

- a) análise de fatores comuns (FC): é usada para identificar fatores latentes que refletem o que as variáveis têm em comum;
- b) análise de componentes principais (CP): é usada para resumir a maior parte da informação original a um número mínimo de fatores, para fins de previsão.

Neste estudo, e para o diagnóstico quantitativo, foi escolhida a análise de componentes principais (CP), pois considera reduzir a dimensão dos dados que contenham a maior parte da variância dos dados originais, representando-as graficamente. Este tipo de análise se torna útil quando temos diferentes variáveis correlacionadas, sendo que algumas podem se mostrar redundantes.

O objetivo foi destacar os fatores necessários para explicar a porção máxima da variância total representada no conjunto original de variáveis. Além disso, atenta para a variância total e deriva fatores que contém pequenas proporções de variância de erro. As variáveis (V), construtos e referenciais teóricos são mostradas no Quadro 5.

O modelo da análise fatorial é descrito em função de escores padronizados em relação às variáveis propostas, às cargas fatoriais e a fatores comuns não correlacionados. Matematicamente (Johnson e Wichern, 2007):

$$F_i = C_{1j}X_1 + C_{2j}X_2 + \dots + C_{nj}X_n \quad (1)$$

Onde F_i é a combinação linear das variáveis X_1, X_2, \dots, X_n e C_{ij} é o fator da componente principal a ser decomposto para a formação das variáveis. Este tipo de análise permite considerar um conjunto de pressupostos sobre a variância dos dados, sendo que a variância em X_i corresponde a um número pequeno de fatores comuns. Nesta matriz é possível verificar a multicolinearidade entre as variáveis, ou seja, verificar se duas ou mais variáveis independentes são fortemente relacionadas linearmente entre si (Lattin *et al.*, 2011).

Foram utilizados três testes para validação das variáveis (Matos e Rodrigues, 2019):

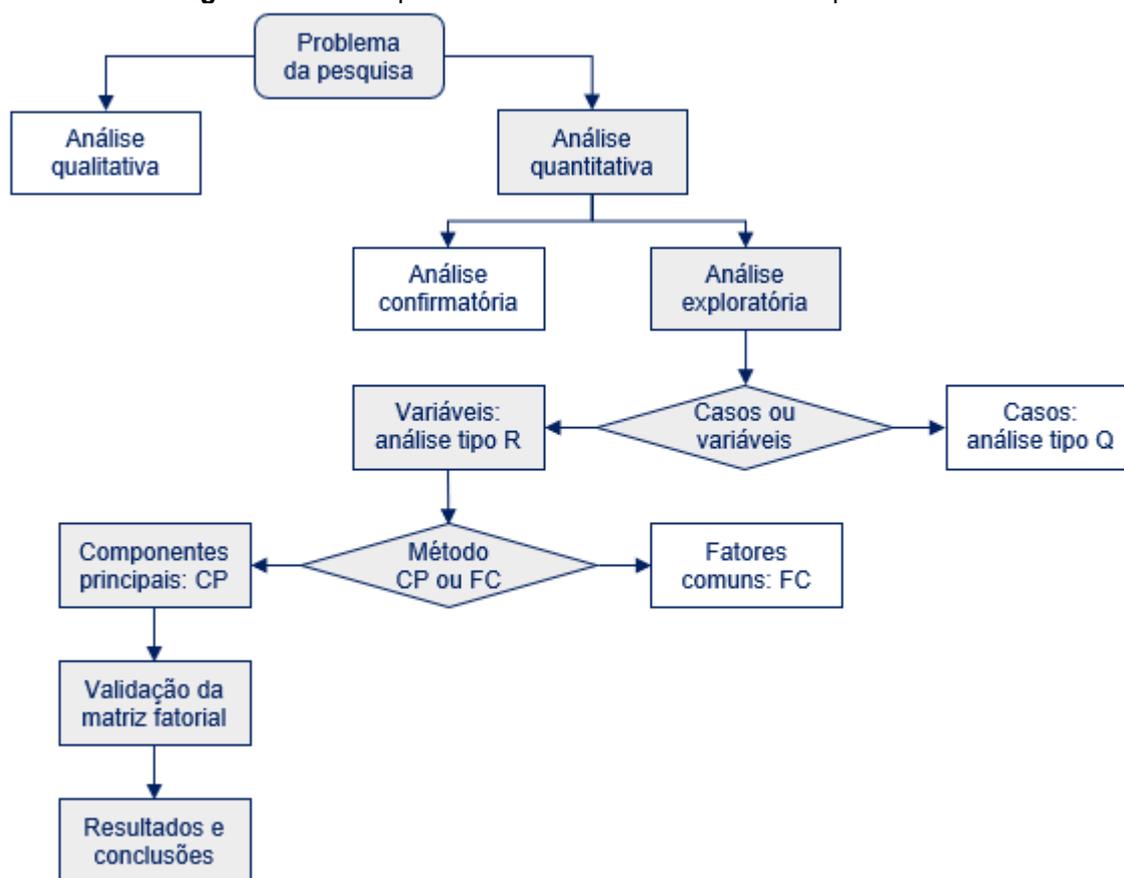
- a) teste de correlação: explica a correlação que existe entre variáveis padronizadas (média 0 e variância 1), mostrando o quão longe seus índices se encontram do valor desejado 1, dentro da mesma escala métrica. Varia entre -1 e +1. O índice de correlação linear mínimo esperado é 0,3, de tal modo que as correlações não devem ser todas pequenas ou todas iguais, pois não permite agrupar diferentes variáveis;
- b) teste de esfericidade de Bartlett: é utilizado para verificar se as variâncias são homogêneas (homocedasticidade), considerando diferentes grupos. Avalia a significância geral de todas as correlações, em uma matriz de correlação linear, de forma não nula. Considera como hipótese nula se a matriz de correlação linear se reduzir a matriz identidade, ou seja, as variáveis não se agrupam para formar nenhum constructo. Entretanto, caso a hipótese nula seja rejeitada, indica que há

associação entre as variáveis; conseqüentemente, há informações latentes. Para este estudo, foi considerando o nível de significância menor ou igual a 0,05, ou seja, uma probabilidade de erro de 5% nas análises consideradas;

- c) teste *Measure of Sampling Adequacy* (Medida de Adequação da Amostra - MSA): representa a proporção da variância das variáveis que pode ser explicada pelos fatores. Varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, ou seja, se uma variável é corretamente prevista pelas outras variáveis, melhor esta relação. Field *et al.* (2012) afirmam que valores seguros de MSA são aqueles acima de 0,50, considerando a matriz de correlações e as variáveis, individualmente. Quando um valor de MSA < 0,5, indica que a variável é pouco correlacionada com as demais e a mesma deve ser eliminada da análise. Este procedimento deve ser aplicado para todas as variáveis que tenham índices menores que 0,5. Após a variável ser eliminada, aplica-se o teste novamente. Caso ainda haja variáveis com índices inaceitáveis, o processo deve se repetir, até que todas as variáveis tenham índices dentro do limite aceitável.

Além destes testes, os mesmos autores afirmam que a medida de confiabilidade Alfa de Cronbach, que varia de 0 a 1, deve apresentar valores maiores ou iguais a 0,70 como limite inferior de aceitabilidade. A seleção do método da análise multivariada seguiu o critério estabelecido por Matos e Rodrigues (2019), conforme mostra a Figura 7. O software utilizado para a análise dos dados foi o R, versão 4.0.5.

Figura 7 - Critério para escolha do método de análise quantitativa.



Fonte: Matos e Rodrigues (2019). Adaptado.

Devido à necessidade de identificar as relações entre as variáveis e quais têm maior impacto na gestão de operações e no desempenho organizacional, optou-se pelo critério da análise de componentes principais, também denominadas como fatores ou dimensões, uma vez que este critério permite analisar as inter-relações entre as variáveis e explicá-las em termos de suas variâncias. Além disso, considera a variância total das variáveis, já que as primeiras componentes concentram a maior parte da variância, não distorcendo as demais variáveis que formam a estrutura analisada.

A validação das componentes se inicia pela validação do poder da amostra, que corresponde à probabilidade de se realizar uma análise nesta amostra e ela apresentar resultados estatisticamente significativos (Cohen, 1988), ou seja, a probabilidade de se tomar uma decisão correta (Azevedo *et al.*, 2018). Quando utilizado para auxiliar na análise de cargas fatoriais, permite sustentar as observações realizadas.

Também deve ser considerada a variância, que corresponde a um índice que indica o quão longe o dado analisado se encontra do valor esperado. Matematicamente:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{n} \quad (2)$$

Onde:

σ^2 : variância

X_i : valor analisado

X_m : média de todos os valores

n : total de dados do conjunto

A variância revela a média dos quadrados dos desvios das observações em relação à média da amostra. Quanto menor o valor, menor a dispersão e maior a relação entre as variáveis. Já a covariância mostra a inter-relação entre duas variáveis aleatórias. Valores positivos de covariância indicam relação direta, enquanto que valores negativos indicam relação reversa. Quanto mais próximos os valores da covariância estiverem do |1|, maior será a relação entre as variáveis (Matos e Rodrigues, 2019). Ou seja, variáveis independentes têm covariância zero.

Quanto ao número de componentes, não há na literatura uma definição sobre o número mínimo a serem extraídas, independentemente da quantidade de variáveis. Este tipo de análise preza pelo melhor e mais completo arranjo entre variáveis, quando comparado com os demais arranjos.

Para alcançar o arranjo ideal, a primeira componente abrange o melhor resumo das relações das variâncias entre as variáveis. A segunda componente abrange o melhor resumo das relações das variâncias entre as variáveis, exceto as relações já consideradas na primeira componente. A terceira componente abrange o melhor resumo das relações das variâncias entre as variáveis, exceto as relações já consideradas na primeira e segunda componentes. Este ciclo se repete até que todas as variáveis sejam relacionadas nas melhores relações possíveis entre elas. A partir da segunda componente, a mesma deve ser extraída dos resíduos das variâncias

após a primeira componente ser obtida. Lattin *et al.* (2011) afirmam que esse procedimento assegura uma solução arbitrária, única, mas que permite compreendê-la e interpretá-la da melhor forma possível.

Este procedimento extrai variâncias cada vez menores e que explicam cada vez menos as relações entre as variáveis. E que as primeiras componentes contêm as maiores variâncias que podem explicar as melhores relações entre as variáveis. Deste modo, quatro critérios foram ponderados para a definição da quantidade de componentes a ser considerada (Moraes, 2016):

- a) critério da raiz latente: considera que as cargas fatoriais explicam a variância de, pelo menos, uma variável. Se aplica em populações que variam entre 20 e 50 variáveis e cada variável só pode contribuir se possuir autovalor maior ou igual a 1.
- b) critério *a priori*: é sabido o número de componentes a ser extraído;
- c) critério da variância acumulada: considera o percentual da variância total acumulada, ponderando a parcela que cada variável contribui. Na literatura não há uma regra para definir a porcentagem mínima acumulada para as variâncias;
- d) critério do teste *Scree*: considerando a variância entre todas as variáveis, este teste identifica o número ótimo de componentes que podem ser extraídas. O teste é realizado tomando como base o número de componentes em sua ordem de extração das variâncias. A curva resultante mostra um ponto de corte, aquele em que a curva se estabiliza e se aproxima de uma reta horizontal, indicando o número máximo de componentes a serem extraídos.

Quanto a contribuição das variáveis para a formação das componentes, a melhor contribuição que as variáveis podem propiciar para a formação das mesmas se relacionada como aquela que consegue explicar a maior variabilidade dos dados. Para que a variável seja considerada na composição da componente, ela deve seguir o critério da contribuição mínima da variância. Matematicamente:

$$\text{Contribuição} = \frac{1}{n} \quad (3)$$

Onde n é o número total de variáveis consideradas.

Além da contribuição das variáveis, deve-se considerar as cargas fatoriais associadas às componentes. Elas representam a correlação linear entre as variáveis e as componentes, indicando qual percentual da variância de uma variável explica a componente. Quanto maior a correlação linear, maior a relação da variável com a componente. Para facilitar a interpretação das cargas fatoriais, pode ser utilizada a técnica da rotação, cujo objetivo é evidenciar um padrão mais simplificado e significativo para as cargas fatoriais. A rotação pode ser de dois tipos: ortogonal: mantém a interdependência entre os fatores e oblíqua: não mantém a interdependência entre os fatores, permitindo a correlação linear entre os mesmos.

Essas técnicas permitem reorganizar os fatores, redistribuindo a variância acumulada na análise da primeira componente, deixando a análise mais equilibrada. Matos e Rodrigues (2019) e HAIR et al. (2009) afirmam que há três técnicas de rotação ortogonal:

- a) Quartimax: consiste em rotacionar o fator inicial de modo que uma variável tenha carga alta em um fator e cargas tão baixas quanto possível em todos os outros fatores, se concentrando em destacar as altas cargas fatoriais, desconsiderando as demais. Analisa as linhas da matriz fatorial;
- b) Varimax: consiste em maximizar a soma de variâncias de cargas exigidas da matriz fatorial, verificando tendências, ou seja, valores próximos ou iguais a zero, com baixa ou nenhuma correlação linear entre os fatores e valores próximos ou iguais a +/- 1, com alta ou total correlação linear entre os fatores. Analisa as colunas da matriz fatorial;
- c) Equimax: não se concentra na simplificação de linhas ou de colunas, sendo o meio termo entre Quartimax e Varimax.

Quanto ao nível de significância, este estudo adotou o valor de p menor ou igual a 5% ($p\text{-value} \leq 0,05$).

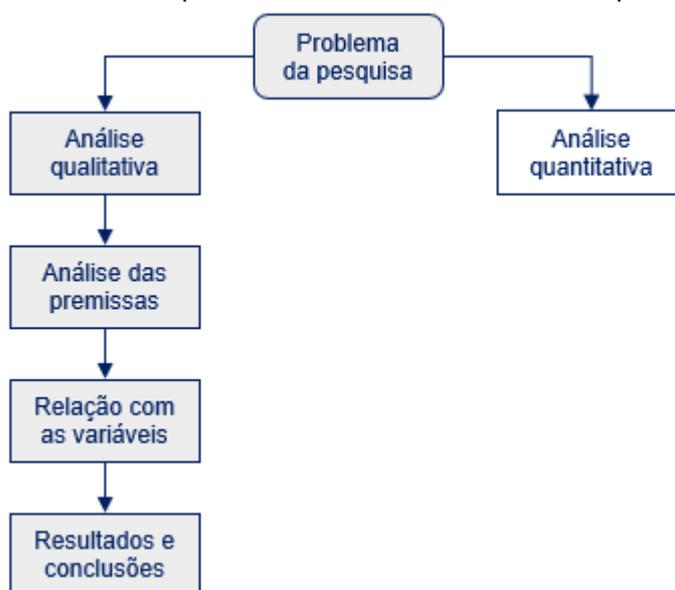
3.8 Modelo teórico qualitativo

De modo complementar à pesquisa quantitativa, esta tese avaliou questões de cunho qualitativo (premissas – P), apresentadas no Quadro 6. As premissas têm por objetivo complementar a análise quantitativa, traçar o comportamento das organizações frente

às mudanças apresentadas, bem como elas se planejam para suprir as demandas relacionadas ao WCM e as práticas da Indústria 4.0.

Os critérios para a análise das premissas do Quadro 6 são mostradas na Figura 8.

Figura 8 - Critério para escolha do método de análise qualitativo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As relações entre as variáveis e as premissas ocorreram na análise final, o que permitiu verificar as inter-relações entre elas.

4. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em duas partes:

- a) quantitativo: mostra as relações entre as variáveis e suas influências umas sobre as outras;
- b) qualitativo: mostra como as organizações têm se preparado para as mudanças que o WCM e as práticas da Indústria 4.0 impõem sobre a gestão de operações.

4.1 Resultados quantitativos

O resultado quantitativo mostra a caracterização das amostras e a estatística descritiva das mesmas, testes para verificar a homogeneidade das variâncias, matriz de correlações, cargas fatoriais, teste Scree, análise e contribuição das componentes principais. Estas análises seguem o modelo apresentado no item 3.7.

4.1.1 Caracterização da amostra

A amostra é composta por 91 organizações. As organizações foram classificadas por setor de atividade, de acordo com a categorização disponível no sitio da Nações Unidas (United Nations, 2015). Os setores que responderam à pesquisa foram:

- a) alimentício;
- b) bens de consumo;
- c) farmacêutico;
- d) mineração;
- e) químico;
- f) serviços;
- g) transformação (máquinas, equipamentos e automobilística);
- h) transportes.

O Quadro 8 mostra a caracterização da amostra.

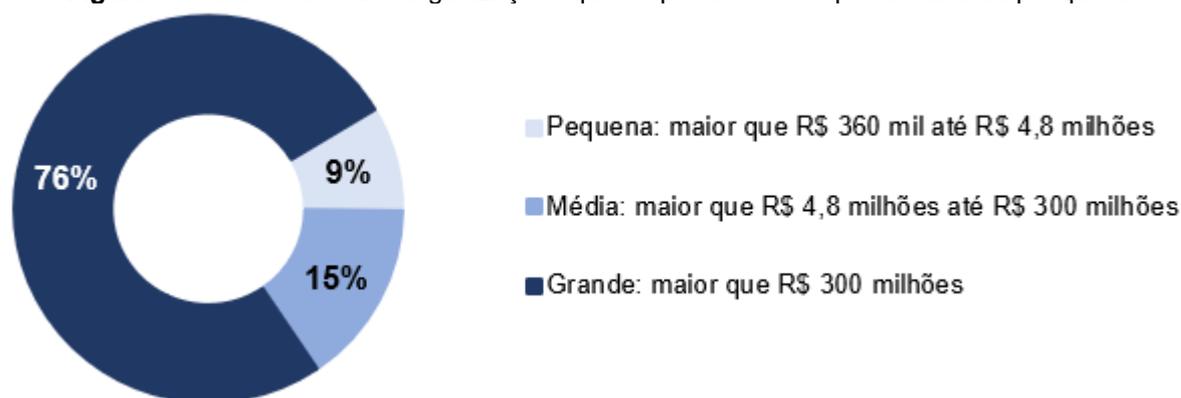
Quadro 8 - Caracterização da amostra: por país, setor de atividade e percentagem amostral.

Setor da atividade	África do Sul	Alemanha	Argentina	Brasil	Chile	Estados Unidos	França	Polônia	Portugal	Suécia	% Amostra
Alimentícia	1			9							11%
Bens de consumo				5							5%
Farmacêutica				4							4%
Mineração				2							2%
Química				5						1	7%
Serviços				6		1			1	1	10%
Transformação		2	1	42	1	5	2	1			60%
Transportes				1							1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

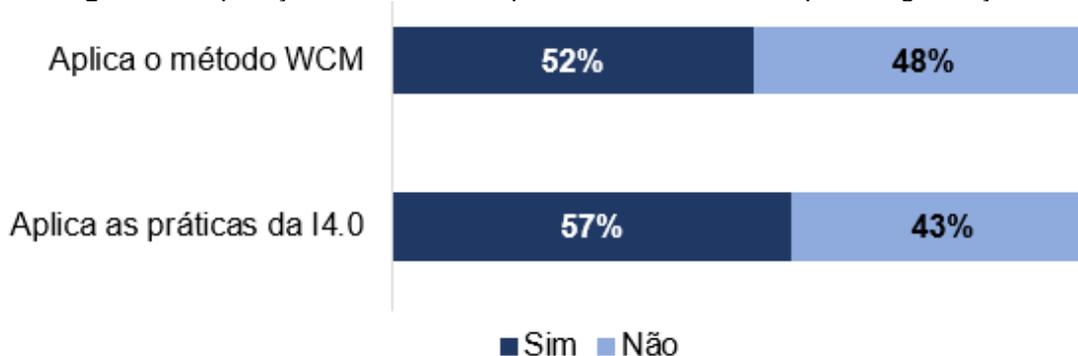
De acordo com o Quadro 8, os setores que mais se destacam são a indústria de transformação, 60% da amostra, a indústria alimentícia, que correspondendo a 11% da amostra e o setor de serviços, que corresponde a 10% da amostra – o percentual mais surpreendente.

Em relação ao faturamento das organizações, adotando o critério da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), 76% delas são classificadas como grandes empresas e faturam mais que R\$ 300 milhões por ano; 15% são classificadas como médias e faturam entre R\$ 4,8 milhões e R\$ 300 milhões e 9% são classificadas como pequenas e faturam entre R\$ 300 mil e R\$ 4,8 milhões, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Faturamento das organizações que responderam ao questionário da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar das pequenas organizações representarem 9% da amostra, há uma ressalva a ser notada: elas estão se modernizando e buscando novos métodos e tecnologias para seus processos. Já o percentual de organizações que aplicam o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 ainda é baixo, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Aplicação do WCM e das práticas da Indústria 4.0 pelas organizações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar do sistema de gestão integrado WCM estar associado ao *lean*, apenas 52% das organizações aplicam o sistema. Quando consideradas as práticas da Indústria 4.0, o índice atinge 57% das organizações, mostrando a dificuldade em aplicar tais práticas.

4.1.2 Análise descritiva das variáveis

Para esta tese, considerando o intervalo de confiança de 95%, os valores variaram dentro do intervalo de 0,77 a 0,88, com valor médio de 0,82. Segundo o que Matos e Rodrigues (2019) afirmam no item 3.7, foram considerados os três testes para validar a amostra e a matriz de correlação linear na análise fatorial. Após esta validação dos dados, são realizadas as análises das variáveis.

a) Teste Measure of Sampling Adequacy (MSA)

Foi necessário aplicar o teste duas vezes. Na primeira aplicação, apesar do MSA geral, considerando todas as variáveis, ser classificado como 'bom' (0,79), a variável 7 apresentou índice MSA < 0,5. Portanto, inaceitável para ser considerado na análise. O Quadro 9 mostra a primeira análise do índice MSA.

Quadro 9 - Primeira análise do índice MSA individual, considerando todas as variáveis.

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
0,77	0,78	0,76	0,85	0,86	0,87	0,34	0,69	0,79	0,68	0,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Eliminada a variável 7, o MSA geral alterou para 0,82, atingindo nível de excelência de correlação linear entre as variáveis. Além disso, não há variáveis com índices abaixo de 0,5. O Quadro 10 mostra os índices da segunda análise do MSA.

Quadro 10 - Segunda análise do índice MSA individual, considerando a exclusão da variável 7.

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
0,74	0,78	0,77	0,87	0,85	0,89	0,74	0,83	0,72	0,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a segunda análise, todos os índices MSA para as variáveis estão dentro do limite aceitável. Todas as análises realizadas nesta tese têm como referência o descarte da variável 7. Comparando o Quadro 9 e Quadro 10, se percebe que houve uma melhora significativa nos índices das variáveis, ou seja, a correlação linear entre as demais variáveis aumentou.

b) Teste de esfericidade de Bartlett

O teste de Bartlett foi realizado considerando a correção apresentada no item 4.1.2.a). O teste mostrou que as correlações não nulas existentes têm nível de significância de $5,08 \times 10^{-30}$, muito inferiores a 0,05, atendendo as especificações propostas pelo estudo.

c) Teste de correlação

O teste de correlação linear entre as variáveis seguiu a correção estabelecida no item 0a). O Quadro 11 mostra a matriz de correlações lineares entre as variáveis.

Quadro 11 - Matriz de correlação linear entre as variáveis.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
V1	1,00									
V2	0,52	1,00								
V3	0,48	0,25	1,00							
V4	0,50	0,29	0,45	1,00						
V5	0,42	0,34	0,48	0,35	1,00					
V6	0,42	0,47	0,28	0,36	0,39	1,00				
V8	0,23	0,22	0,02	0,08	0,21	0,14	1,00			
V9	0,28	0,28	0,24	0,30	0,45	0,38	0,26	1,00		
V10	0,16	0,42	0,26	0,17	0,26	0,38	0,14	0,40	1,00	
V11	0,35	0,29	0,32	0,31	0,41	0,35	0,12	0,44	0,35	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz de correlações lineares mostra que 56% dos índices estão dentro da margem mínima estabelecida, destacando que os fatores têm uma correlação linear parcial pequena. Isso mostra que as variáveis podem ser explicadas por outras variáveis que compõem os dados (Matos e Rodrigues, 2019), o que permite e habilita o estudo para a análise de componentes principais.

4.1.3 Estudo das componentes

Para as 91 amostras e nível de significância de 0,05, o poder foi de 0,918, ou seja, 91,8% de probabilidade de os resultados estatísticos estarem corretos. A variância foi de 8,03. O Quadro 12 mostra a variância da amostra.

Quadro 12 - Variância amostral das variáveis.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
V1	0,56									
V2	0,32	0,70								
V3	0,28	0,16	0,60							
V4	0,30	0,19	0,28	0,63						
V5	0,33	0,29	0,38	0,28	1,07					
V6	0,28	0,36	0,19	0,26	0,37	0,82				
V8	0,19	0,19	0,02	0,07	0,24	0,14	1,16			
V9	0,18	0,20	0,16	0,20	0,40	0,30	0,24	0,75		
V10	0,13	0,38	0,21	0,14	0,28	0,37	0,16	0,37	1,13	
V11	0,20	0,19	0,20	0,19	0,33	0,25	0,10	0,30	0,29	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 12, os valores da diagonal principal correspondem à variância das variáveis da amostra, enquanto os demais valores correspondem à covariância. As variáveis V5, V8 e V10 apresentam variâncias maiores que 1. Conseqüentemente, estão mais distantes da variância total e mostram menor relação com as variáveis.

Todos os valores são positivos. Isso indica que há relações diretas entre as variáveis, ou seja, a variação na variável V_x é proporcional à variação na variável V_y . Entretanto, não se observam grandes covariâncias. As covariâncias têm valores muito próximos, sem grande destaque para uma variável. Estas associações são importantes na definição das componentes e mostram que há influências significativas entre diferentes variáveis.

4.1.3.1 Definição do número de componentes

Considerando os critérios estabelecidos no item 3.7, tem-se que:

- a) critério da raiz latente: não se aplica a esta tese pela restrição do número de variáveis;
- b) critério *a priori*: não se aplica a esta tese pela restrição de não se conhecer o número de componentes a serem extraídas;
- c) critério da variância acumulada: nesta tese foi considerada a porcentagem de 95% da variância acumulada, conforme mostra o Quadro 13:

Quadro 13 - Variâncias individual e acumulada das variáveis.

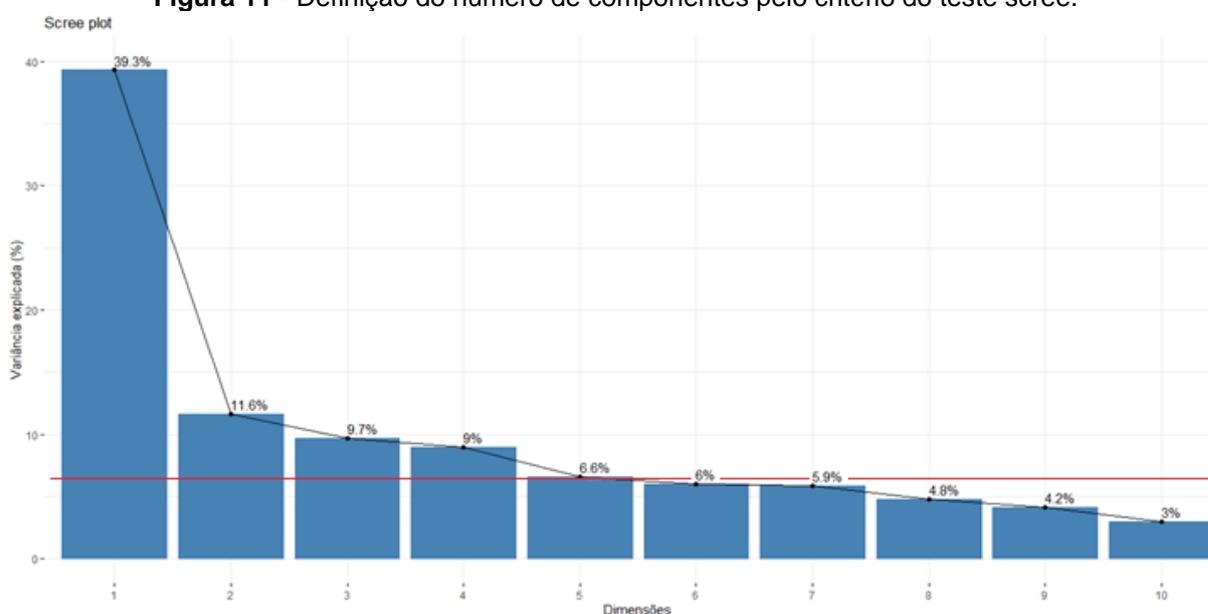
Variáveis	Autovalores	Variância individual (%)	Variância acumulada (%)
V1	3,07	39,3	39,3
V2	1,09	11,6	50,9
V3	0,95	9,7	60,6
V4	0,67	9,0	69,6
V5	0,51	6,6	76,2
V6	0,50	6,0	82,2
V8	0,39	5,8	88,0
V9	0,35	4,8	92,8
V10	0,29	4,2	97,0
V11	0,20	3,0	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 13 mostra que 9 variáveis correspondem a 97% da variância acumulada. Este número se torna inviável, uma vez que não contempla a redução das variáveis. Conseqüentemente, não há formação de agrupamentos para as componentes e somente este critério não é capaz de definir a quantidade de componentes a serem extraídas, restringindo este critério.

d) critério do teste *Scree*: a Figura 11 mostra a curva resposta do teste *Scree* aplicado à amostra.

Figura 11 - Definição do número de componentes pelo critério do teste *scree*.

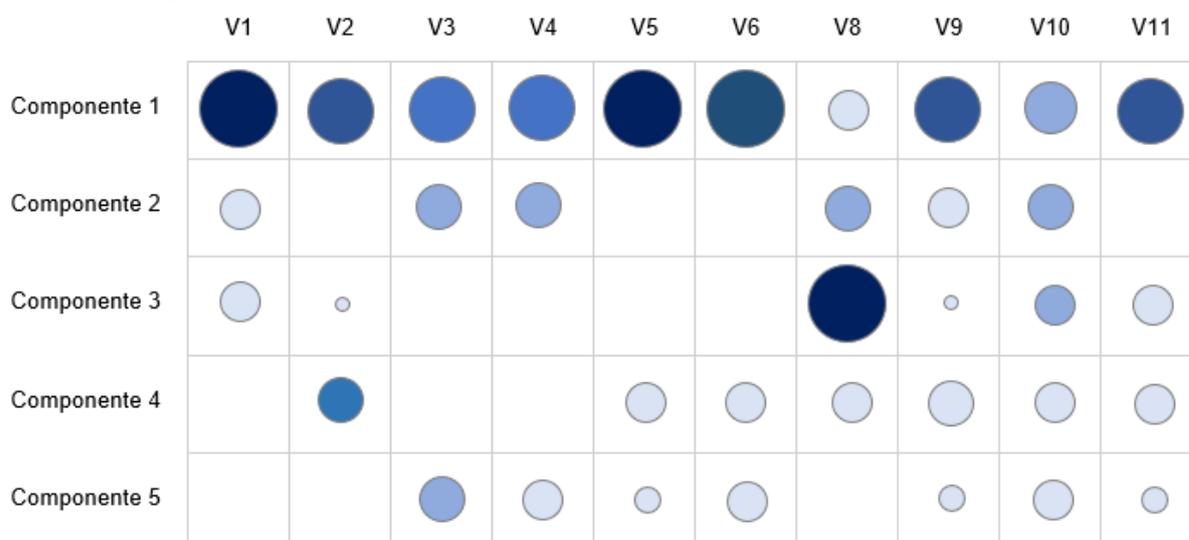


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da sexta componente (denominada 'Dimensão' pelo software R), a curva começa a se estabilizar. Para análise, foi considerado o número de componentes anterior a este ponto de estabilização, que corresponde a cinco componentes e explica 76,2% da variância total.

4.1.3.2 Contribuição das variáveis para a formação das componentes

A Figura 12 mostra a contribuição da variância de cada variável para a formação das componentes. Quanto maior o diâmetro e mais escura for a figura, maior a variância que a variável compartilha para a formação das componentes.

Figura 12 - Contribuição das variáveis para a formação de cada componente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As variáveis que mais influenciam para a formação da componente 1 são V1, V5 e V6. Nota-se que esta componente inclui o maior número de variâncias em sua composição, seguida pela componente 2 e, assim, sucessivamente, conforme já mencionado no item 3.7.

Nesta tese, temos 10 variáveis a serem consideradas na análise da formação das componentes. seguindo o critério estabelecido no item 3.7, a contribuição mínima que cada variável deve ter para a formação das componentes é 10% de variância.

Esta tese tem como base a análise de variáveis independentes, sendo utilizada a técnica da rotação ortogonal Varimax, uma vez que tem os eixos de referência dos fatores rotacionados em relação à sua origem, sem perder as particularidades entre eles, facilitando a interpretação dos resultados.

4.1.3.3 Análise da componente 1

O Quadro 14 mostra as variáveis que compõem a componente 1 e suas respectivas correlações:

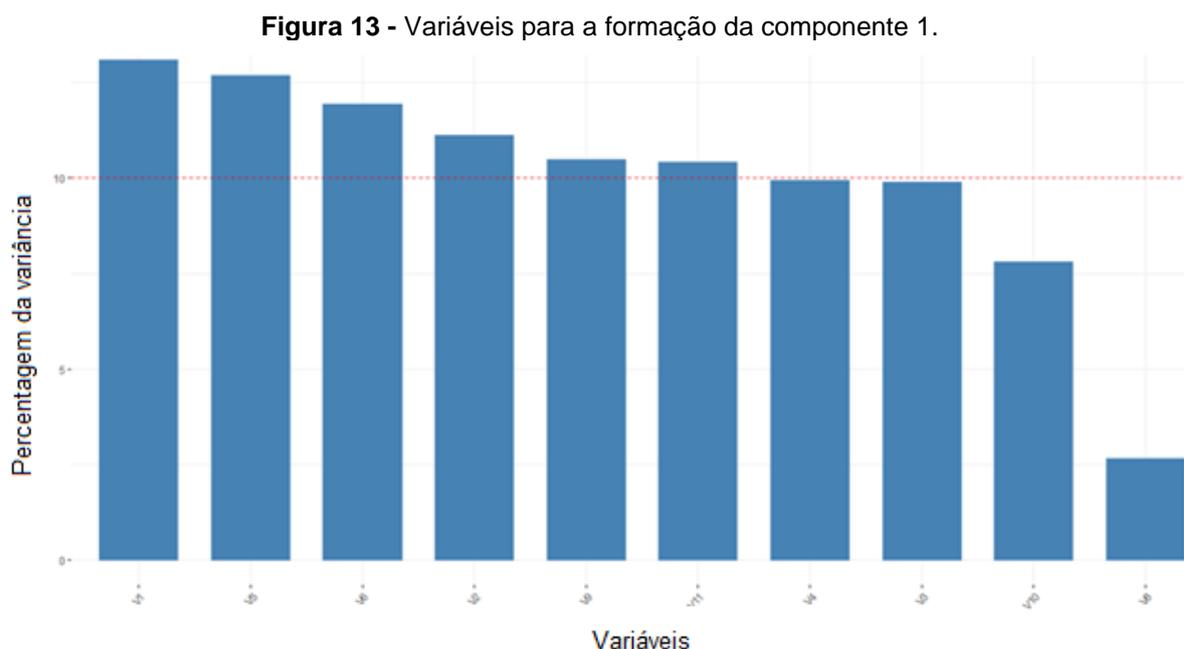
Quadro 14 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 1.

Variável	Correlação sem rotação	Correlação com rotação
V1: O desenvolvimento de novas habilidades com a tecnologia.	0,72	0,75
V5: Práticas da Indústria 4.0 e adição de valor.	0,71	0,29
V6: Barreiras operacionais.	0,68	0,40
V2: Uso de tecnologias no WCM.	0,66	0,46
V9: Processos sustentáveis.	0,64	0,11
V11: Adaptabilidade dos processos para as práticas da Indústria 4.0.	0,64	0,24

Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes da rotação, há cargas cruzadas entre as variáveis: correlações altas entre duas ou mais variáveis. Johnson e Wichern (2007) afirmam que quando há cargas fatoriais com valores elevados entre duas ou mais variáveis, a análise da componente se torna inviável. Após o processo de rotação, V1 apresenta correlação linear alta, se destacando ainda mais entre as variáveis. Isso indica que esta variável tem forte influência na componente, não tendo sua relação degradada após este processo.

Esta componente foi denominada 'Desenvolvimento associado a tecnologia'. A Figura 13 mostra a decomposição da variância de cada variável para a formação da componente 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3.4 Análise da componente 2

O Quadro 15 mostra as variáveis que compõem a componente 2 e suas respectivas correlações:

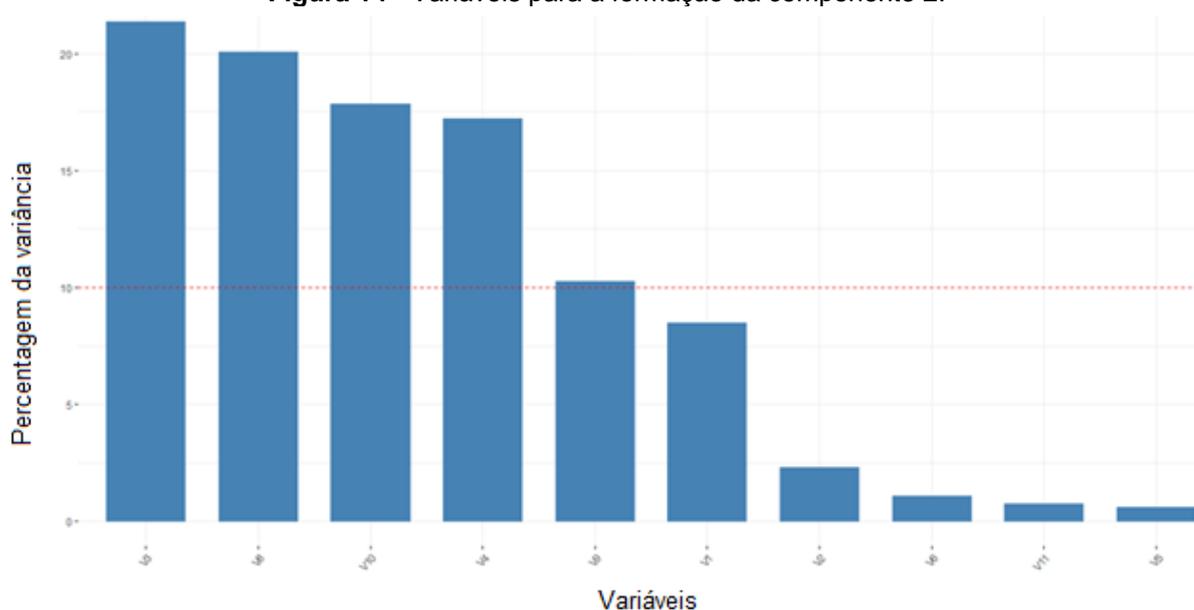
Quadro 15 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 2.

Variável	Correlação sem rotação	Correlação com rotação
V3: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de processos.	- 0,50	0,18
V8: Maturidade para implementar as práticas Indústria 4.0.	0,48	0,15
V10: Organizações WCM estão direcionadas para a adição de valor.	0,49	0,35
V4: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de tecnologias.	- 0,45	0,30
V9: Processos sustentáveis.	0,35	0,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 15 mostra que, antes da rotação, as correlações entre as variáveis eram medianas, se posicionando no limite mínimo aceitável (+/- 0,30 a +/- 0,40), com um leve destaque para a variável V3. Após o processo de rotação, V9 apresenta o dobro da correlação linear inicial, destacando sua influência sobre esta componente.

Esta componente foi denominada 'Processos sustentáveis'. A Figura 14 mostra a decomposição da variância de cada variável para a formação da componente 2.

Figura 14 - Variáveis para a formação da componente 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3.5 Análise da componente 3

O Quadro 16 mostra as variáveis que compõem a componente 3 e suas respectivas correlações:

Quadro 16 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 3.

Variável	Correlação sem rotação	Correlação com rotação
V8: Maturidade para implementar as práticas Indústria 4.0.	0,70	0
V10: Organizações WCM estão direcionadas para a adição de valor.	- 0,40	0,14
V1: O desenvolvimento de novas habilidades com a tecnologia.	0,37	0,25
V11: Adaptabilidade dos processos para as práticas da Indústria 4.0.	- 0,31	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 16 mostra que, antes da rotação, não havia cargas cruzadas, predominando V8 na formação da componente 3. Após o processo de rotação, as correlações entre as variáveis não permitem considerar esta componente na análise, sendo a componente 3 desconsiderada.

4.1.3.6 Análise da componente 4

O Quadro 17 mostra as variáveis que compõem a componente 4 e suas respectivas correlações:

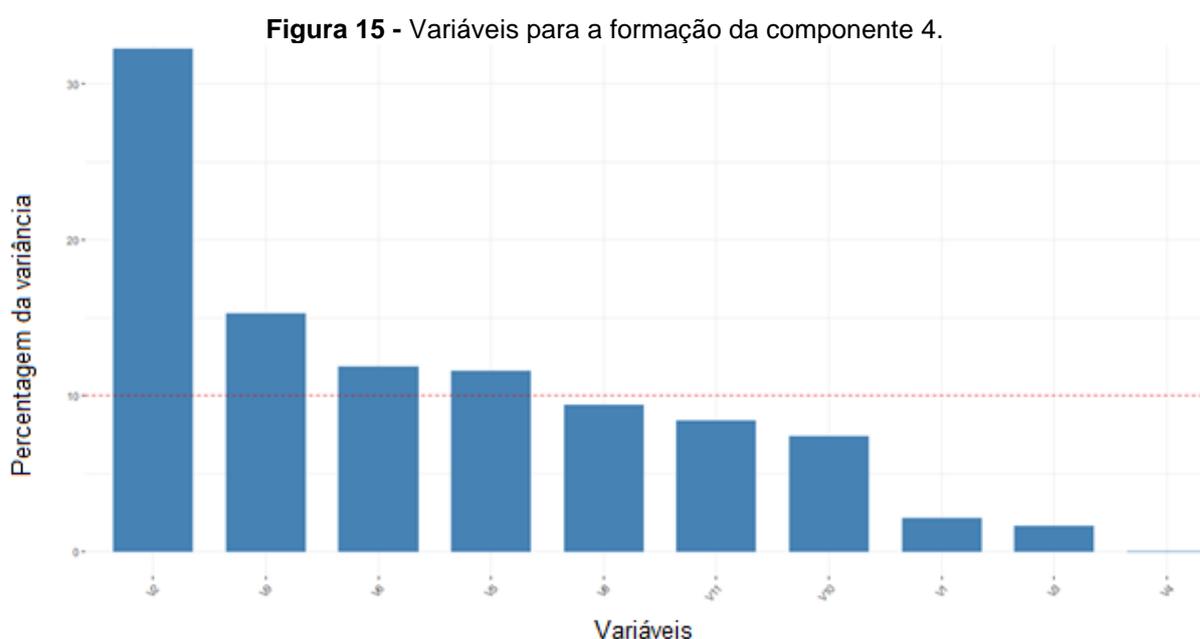
Quadro 17 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 4.

Variável	Correlação sem rotação	Correlação com rotação
V2: Uso de tecnologias no WCM.	- 0,54	0,62
V9: Processos sustentáveis.	0,37	0,20
V6: Barreiras operacionais.	- 0,33	0,40
V5: Práticas da Indústria 4.0 e adição de valor.	0,32	0,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 17 mostra que, antes da rotação, as correlações entre as variáveis eram medianas, se posicionando no limite mínimo aceitável. Após o processo de rotação, V2 apresenta forte correlação linear e relacionamento positivo com as demais variáveis, destacando sua influência sobre esta componente.

Esta componente foi denominada 'WCM e aplicação de tecnologias'. A Figura 15 mostra a decomposição da variância de cada variável para a formação desta componente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3.7 Análise da componente 5

O Quadro 18 mostra as variáveis que compõem a componente 5 e suas respectivas correlações:

Quadro 18 - Variáveis e respectivas correlações para a formação da componente 5.

Variável	Correlação sem rotação	Correlação com rotação
V3: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de processos.	0,45	0
V10: Organizações WCM estão direcionadas para a adição de valor.	0,32	0
V6: Barreiras operacionais.	- 0,31	0
V4: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de tecnologias.	- 0,30	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 18 mostra que, antes da rotação, não havia cargas cruzadas, predominando V3 na formação da componente 5. Entretanto, havia correlações fracas entre as variáveis. Após o processo de rotação, não são apresentadas correlações entre as variáveis, não permitindo considerar esta componente na análise, sendo a componente 5 desconsiderada.

4.1.3.8 Síntese da formação das componentes

A análise das componentes mostra o direcionamento da pesquisa, quando considerada a gestão de operações para os estudos sobre WCM e a Indústria 4.0. Após o processo de rotação das variáveis, as componentes 3 e 5 não apresentaram resultados satisfatórios para a análise. O Quadro 19 apresenta um resumo sobre as componentes consideradas nesta tese.

Quadro 19 - Quadro resumo das componentes.

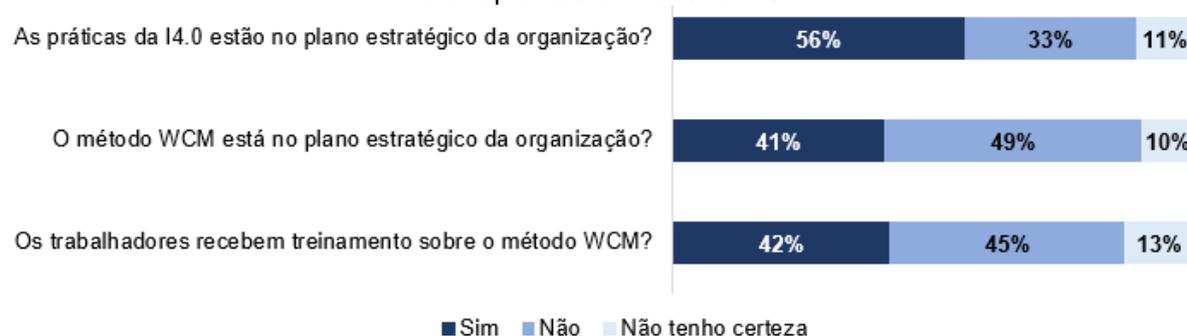
	Componente 1	Componente 2	Componente 4
	Desenvolvimento associado a tecnologia	Processos sustentáveis	WCM e aplicação de tecnologias
Variáveis impactadas	V1: O desenvolvimento de novas habilidades com a tecnologia.		
	V2: Uso de tecnologias no WCM.		V2: Uso de tecnologias no WCM.
		V3: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de processos.	
		V4: Disponibilidade de capital intelectual e desenvolvimento de tecnologias.	
	V5: Práticas da Indústria 4.0 e adição de valor.		V5: Práticas da Indústria 4.0 e adição de valor.
	V6: Barreiras operacionais.		V6: Barreiras operacionais.
		V8: Maturidade para implementar as práticas Indústria 4.0.	
	V9: Processos sustentáveis.	V9: Processos sustentáveis.	V9: Processos sustentáveis.
		V10: Organizações WCM estão direccionadas para a adição de valor.	
	V11: Adaptabilidade dos processos para as práticas da Indústria 4.0.		

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Análise qualitativa

A análise qualitativa apresenta os impactos que a implantação do WCM e das práticas da Indústria 4.0 tem sobre as organizações e as mudanças que elas causam nos conceitos organizacionais e produtivos. Estas análises seguem o modelo apresentado no item 3.8. A Figura 16 mostra um panorama deste comportamento.

Figura 16 – Panorama das organizações quanto à implantação do sistema de gestão integrado WCM e das práticas da Indústria 4.0.



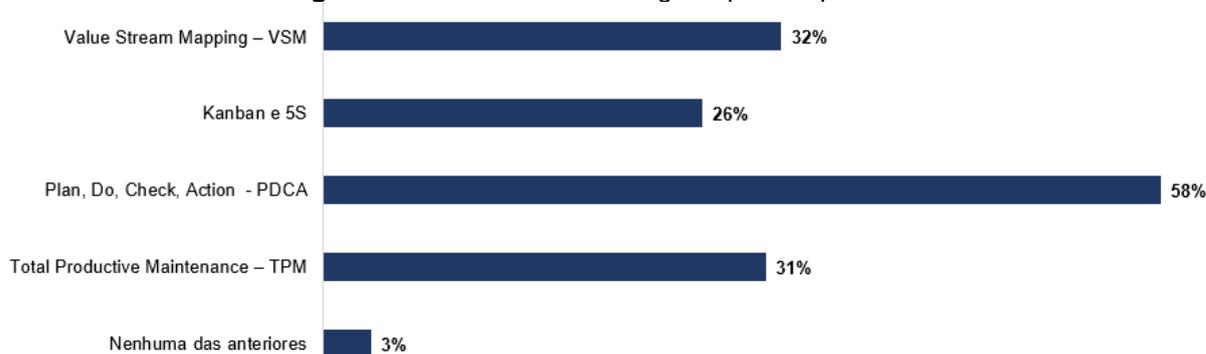
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para 33% das organizações, as práticas da Indústria 4.0 não são relevantes para serem consideradas no plano estratégico. Se ponderada sob a óptica da melhoria dos processos, 49% das organizações ignoram estas práticas nos altos escalões, aqueles que têm o poder da tomada de decisão e direcionamento estratégico. Além disso, 45% destas organizações não envolvem seus trabalhadores nestes processos, não sendo treinados no sistema de gestão integrado WCM e nas práticas da melhoria continuada ou recebendo qualquer informação acerca do mesmo.

4.2.1 Relações entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0

Os programas da qualidade mostram um panorama das tendências estratégicas latentes para a renovação e a melhoria continuada dos processos, onde estão inseridos o WCM e as práticas da Indústria 4.0, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 - Tendências estratégicas para a qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O método Plan, Do, Check, Action (PDCA) é o mais utilizado nos programas da qualidade (58% das respostas), devido ao seu modo didático e fácil aplicação. O VSM se destaca (32%) pois permite identificar processos latentes. Os programas da qualidade auxiliam o sistema de gestão integrado WCM nas políticas estratégicas, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 - Vetores que auxiliam o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 com políticas estratégicas.

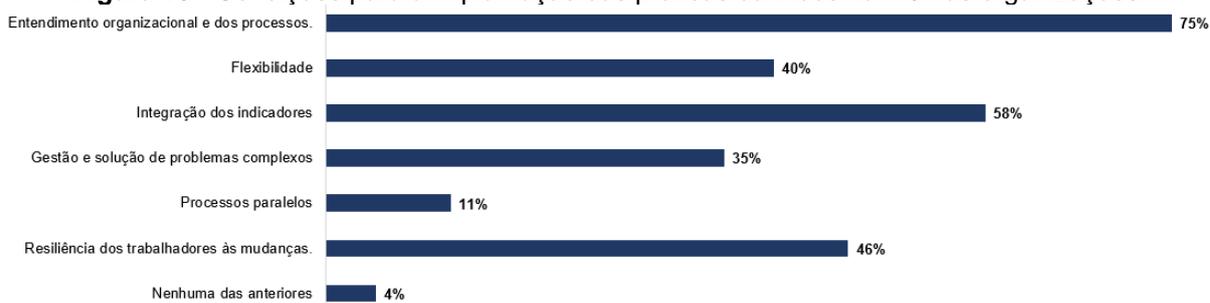


Fonte: Elaborado pelo autor.

O TQM e o monitoramento contínuo de dados são apontados por 56% das organizações. Destacam-se, ainda, a integração entre áreas e recursos (51%), a automação de processos - RPA (40%), a virtualização de processos (22%) e a reengenharia (20%): todos demandam grandes esforços para serem implementados, tais como recursos financeiros e humanos disponíveis, disponibilidade de tecnologia, aplicabilidade em diferentes processos, dificultando sua integração.

Considerando as dificuldades que as organizações têm para implantar as práticas da Indústria 4.0 e aplicá-las em sua política estratégica, destaca-se o entendimento organizacional e dos processos, como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Condições para a implantação das práticas da Indústria 4.0 nas organizações.

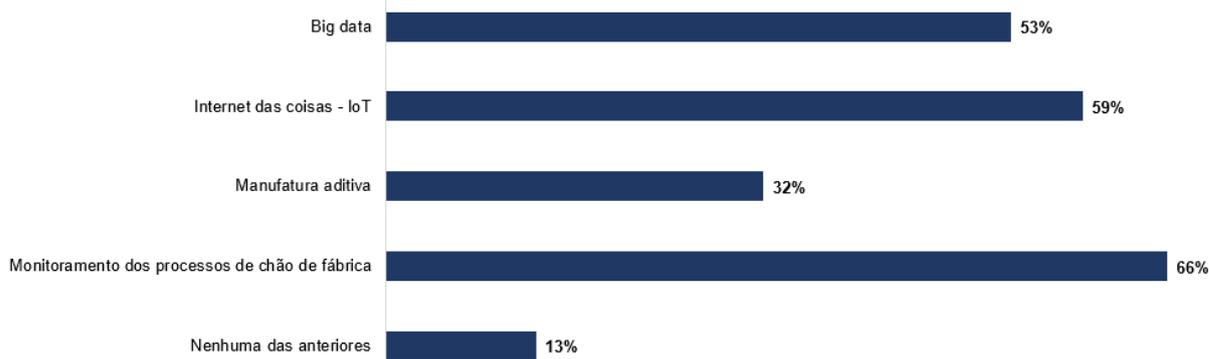


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para 75% das organizações, compreender os processos internos auxilia na sua eficiência; isto se torna fundamental para iniciar a implantação das práticas da Indústria 4.0. A integração dos indicadores foi apontada por 58% dos respondentes, mostrando a necessidade de convergir esforços para uma plataforma única e transparente, de fácil comunicação com todas as partes envolvidas.

Um dos reflexos desta integração é proporcionar a solução de problemas complexos, apontado por 35% das organizações. Nota-se, entretanto, um trade-off entre flexibilidade (40%) e resiliência dos trabalhadores às mudanças (46%) quanto ao processo de integração. A Figura 20 mostra os meios tecnológicos mais utilizados nestes processos de transição.

Figura 20 - Mecanismos tecnológicos que proporcionam vantagem competitiva para as organizações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Big data (53%) e IoT (59%) são meios integradores. O primeiro promove a coleta de informações essenciais para a avaliação e validação dos processos, enquanto que o segundo proporciona os caminhos e soluções para que os dados sejam coletados. A manufatura aditiva foi citada por 32% dos respondentes, sendo este processo aplicado, basicamente, na indústria de transformação.

4.2.2 Impacto do sistema de gestão integrado WCM e das práticas da Indústria 4.0 nos processos organizacionais e produtivos

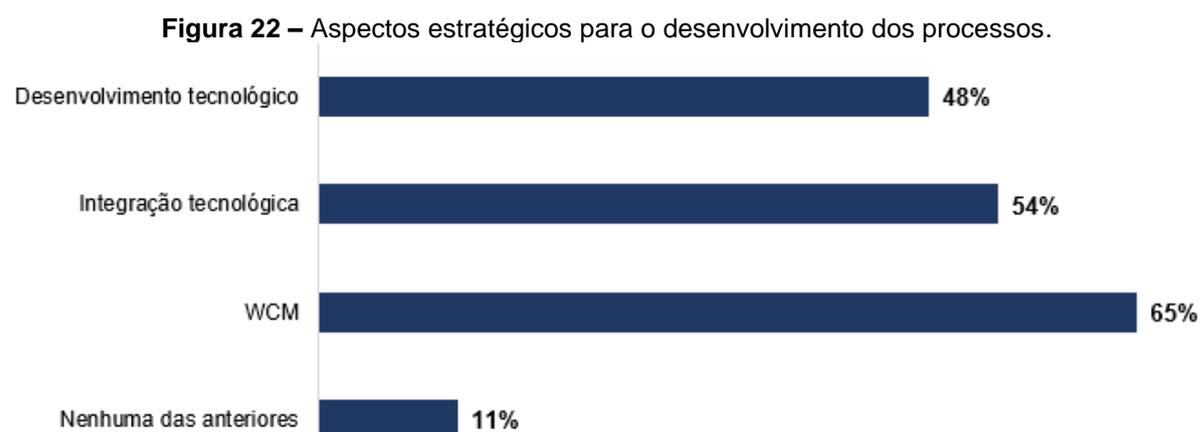
A integração entre as áreas foi apontada por 63% das organizações como elemento diferenciador para a eficiência em processos. O uso correto de recursos e ferramentas (60%) mostra que as organizações não estão dispostas a permitirem abordagens sem a correta compreensão das habilidades individual e coletiva.

A Figura 21 mostra os vetores que influenciam na eficiência em processos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O baixo índice para a redução dos desperdícios (42%) mostra que as organizações têm pouco enraizado os conceitos do WCM e da melhoria continuada, tendo uma interpretação limitada sobre eficiência em processos. Além disso, 66% das organizações não associam a eficiência dos processos à segurança dos seus trabalhadores, conceito básico do WCM – segurança é prioridade. Em contrapartida, as organizações apostam que o WCM e o investimento em tecnologia podem adicionar valor a seus produtos e serviços, conforme mostra a Figura 22.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O WCM é apontado por 65% das organizações como diferenciador para o desenvolvimento de processos, atuando como elemento estratégico e com margem para vantagem competitiva no mercado em que atuam. A integração tecnológica (54%) e o desenvolvimento tecnológico (48%) completam o perfil.

5. DISCUSSÃO

O Quadro 8 mostra um resumo das organizações que responderam ao questionário da pesquisa. Nota-se que a indústria de transformação corresponde ao maior percentual, devido a este setor concentrar atividades que demandam grandes processos de transformação da matéria-prima em produtos e serviços associados, corroborando Furlan e Vinelli (2018) e Gunasekaran *et al.* (2017). Utilizam diferentes métodos que visam facilitar e melhorar os processos, incluindo dispositivos voltados para as práticas da Indústria 4.0.

Nota-se que 80% da amostra relativa à indústria de transformação encontra-se no Brasil. Isto se deve à base deste estudo ser realizado neste país, apesar de muitas respostas serem resultantes de organizações multinacionais. Contudo, não era objeto do estudo captar as variações culturais entre países e as culturas adotadas em cada organização.

Mesmo com menor percentual de respostas, o setor de serviços se destaca. As atividades deste setor concentram procedimentos cada vez mais automatizados e que necessitam de respostas rápidas e assertivas, direcionadas para eficiência na gestão das operações. Foit *et al.* (2020) e Ebrahimi *et al.* (2019) afirmam que a entrega de serviços automatizados é uma tendência.

A análise quantitativa das respostas teve como base a avaliação das componentes principais. Componente 1: desenvolvimento associado a tecnologia, componente 2: processos sustentáveis e componente 4: WCM e aplicação de tecnologias.

A componente 1 abrange a maior quantidade de variâncias. Considerando o critério de corte, ela é formada pelas variáveis V1, V5, V6, V2, V9 e V11, respectivamente, todas com variâncias próximas. Nesta componente se destaca o desenvolvimento de novas habilidades necessárias para desenvolver as práticas da Indústria 4.0 e vencer as barreiras operacionais a elas associadas. Ciccarelli *et al.* (2022) afirmam que as habilidades humanas são fundamentais, pois facilitam a integração entre os trabalhadores e as tecnologias.

A componente 1 ainda é formada pelas variáveis V1 e V11. A variável V1 está relacionada com o constructo 'inovação', evidenciando a relação entre o desenvolvimento de novas competências humanas e organizacionais. Isso permite explorar novas oportunidades de inovação e incremento de tecnologias, impactando na gestão estratégica. A variável V11 está inserida no constructo 'gestão de operações'. Esta variável destaca a importância dos sistemas digitais de produção para os processos que têm como base o modelo de fluxo de valor para as práticas da Indústria 4.0, destacando a adaptabilidade destes processos.

A componente 2 é formada pela influência das variáveis V3, V8, V10, V4 e V9. Estas variáveis estão direcionadas para o desenvolvimento de processos sustentáveis, cujo foco está no tripé melhoria continuada – recursos humanos – práticas da Indústria 4.0, direcionando esforços para a adição de valor a produtos e serviços. Costa e Patricio (2018) afirmam que o desenvolvimento de novas tecnologias potencializa os processos das organizações, tornando-as mais competitivas. Isso pode criar um ambiente de mudanças constantes e sustentáveis (Maasz and Darwish, 2018), onde haja investimentos, resultando na transformação de processos obsoletos em processos dinâmicos e eficientes.

O constructo 'gestão de operações' relaciona as variáveis V3 e V8. A variável V3 reforça a necessidade de mostrar resultados de forma rápida e iterativa, adaptados à nova realidade produtiva, enfatizando as mudanças provocadas pelas práticas da Indústria 4.0. Para isso, destaca a necessidade da disponibilidade de capital intelectual. V8 ressalta a maturidade das organizações na implantação das práticas da Indústria 4.0.

As variáveis V4 e V10 estão relacionadas com o constructo 'gestão da qualidade'. V4 sugere que o uso das tecnologias depende de uma gestão organizada e eficaz, exigindo a disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos qualificados, direcionados para os requisitos da qualidade. V10 indica que as organizações que têm o sistema de gestão integrado WCM implantado, ou com a intenção de implantá-lo, estão direcionadas para as práticas da qualidade e da agregação de valor.

A componente 4 se destaca pela variável V2, enfatizando o uso de tecnologias nos processos de melhoria continuada, tendo como base o sistema de gestão integrado WCM. Isso vai de encontro a afirmação de Dalenogare *et al.* (2018), uma vez que o sistema de manufatura, quando integrado a tecnologias, facilita a integração a novos processos de forma rápida e assertiva, buscando mitigar barreiras operacionais na aplicação dos métodos de melhoria continuada, agregando valor a produtos e serviços.

Destaca-se, ainda, que a componente 4 corresponde a uma dissociação da componente 1, uma vez que tem quase todas as variáveis, com exceção de V11. Isso mostra que esta componente direciona para os aspectos tecnológicos, mas para aqueles que já estão implantados ou em fase avançada de implantação.

Quanto ao processo de arranjo das variáveis, considerando a síntese para a formação das componentes, as componentes 1, 2 e 4 têm em comum a variável V9. Esta variável está direcionada para o constructo 'inovação', evidenciando as estratégias e competências tecnológicas aos processos das organizações, direcionando para processos sustentáveis e que auxiliam na gestão das operações.

Além da variável V9, as componentes 1 e 4 têm as variáveis V2, V5 e V6 em comum. V2 e V6 estão direcionadas para o constructo 'gestão de operações'. V2 estabelece as relações estratégicas entre o WCM e a competitividade em diferentes mercados. Destaca-se a competitividade de longo prazo nas organizações, quando consideram o uso das tecnologias em processos de manufatura; V6 salienta a importância do desenvolvimento das práticas da qualidade e a flexibilidade para atender os clientes, auxiliando na quebra de barreiras operacionais. V5 está direcionada para o constructo 'vantagem competitiva' e salienta o desenvolvimento de diferentes tecnologias na implantação da Indústria 4.0 e na integração digital na manufatura, ambas utilizadas como estratégia de diferenciação na agregação de valor a produtos e serviços.

A análise qualitativa resume o ponto de vista das organizações quanto ao sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0. De acordo com a Figura 16, o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 ainda não estão totalmente integrados no plano estratégico das organizações. Isso mostra que, para

estas organizações, possuir processos integrados com tecnologias e que enfatizem a eficiência na gestão de operações ainda não é prioridade. Considerando que tais práticas envolvem diferentes áreas, incluindo as produtivas, uma parcela relevante das organizações não toma decisões voltadas para as práticas da Indústria 4.0 nem para modernização de seus processos.

Outra informação importante mostrada na Figura 16 é sobre o percentual dos gestores que não souberam informar sobre as diretrizes do plano estratégico sobre WCM e as práticas da Indústria 4.0 e como o mesmo é definido pelas organizações, indicando total desconhecimento sobre as políticas adotadas por estas organizações. Entretanto, não é possível afirmar se esta falta ocorre por parte do trabalhador ou por parte da organização, através de um plano de comunicação universal.

Quando consideradas as relações entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0, quase a totalidade das organizações (96%) afirmam que os trabalhadores têm acesso aos programas da qualidade, sendo essencial para a agregação de valor a produtos e serviços. Estes programas influenciam diferentes vertentes da qualidade. Satolo *et al.* (2018) afirma que é necessário facilitar a transição das organizações para um modelo classe mundial. O PDCA vai de encontro à esta afirmação, sendo o método mais citado, uma vez que ele tem a capacidade de se adaptar a diferentes processos, permitindo a monitorização simples e rápida de seus resultados

Além do PDCA, o VSM também é bastante considerado nestes modelos de transição. Esta ferramenta poderosa não apresenta aplicação trivial, mas ela é capaz de revelar procedimentos latentes e que influenciam na maneira como os processos são realizados, permitindo visualizar comportamentos ainda não identificados. Devido a esta característica, o VSM tem ampla aceitação e aplicação em diferentes níveis organizacionais. Muitas vezes, é aplicado em conjunto com outras ferramentas, sendo elemento diferenciador no planejamento estratégico.

Alinhada à visão de agregação de valor, as ferramentas tecnológicas se associam aos procedimentos e métodos da qualidade, direcionando as melhores práticas da melhoria continuada para os produtos e/ou serviços. As políticas estratégicas

priorizam a competitividade e a capacitação das organizações para as práticas da Indústria 4.0, corroborando Ebrahimi *et al.* (2019). Considerando somente as indústrias de transformação, a manufatura aditiva é utilizada como um importante vetor para vantagem competitiva e agregação de valor, diferenciando as organizações no meio que atuam. Ela ratifica a premissa P8 - objetivos estratégicos direcionados para a manufatura.

O TQM e o monitoramento contínuo de dados revelam a importância da gestão da qualidade e como ela auxilia nas políticas para as definições estratégicas das organizações, corroborando a premissa P5 - programas de qualidade auxiliam na adição de valor. Destacam-se, ainda, a integração entre áreas e recursos e a automação de processos: enquanto o primeiro direciona seus esforços para o entendimento global dos processos, o segundo procura automatizá-los, buscando maior eficiência. Compreender os processos internos auxilia na sua eficiência; isto se torna fundamental para iniciar a implantação das práticas da Indústria 4.0. Esta afirmação está relacionada com os processos de inovação, corroborando as premissas P7 - as práticas da Indústria 4.0 auxiliam na eficiência dos processos na gestão de operações e P1 - compreensão organizacional e de processos são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0.

Um dos reflexos desta integração é proporcionar a solução de problemas complexos. Esta vertente permite criar soluções inovadoras, em processos já definidos ou a definir, adicionando valor aos produtos e serviços. Para a alta gestão, a comunicação entre estas vertentes proporciona a integração em toda a organização.

Nota-se, entretanto, um trade-off entre flexibilidade e resiliência dos trabalhadores às mudanças. A flexibilidade mostra que as organizações estão dispostas a mudanças e novos procedimentos, necessários para a implantação das práticas da Indústria 4.0, mas encontram dificuldades pelas barreiras impostas pelos trabalhadores, geralmente induzidos pelo sentimento de substituição de seu trabalho pelas máquinas. É importante considerar que a transição para a implantação das práticas da Indústria 4.0 propiciam um modelo estratégico de criação e agregação de valor, que precisa ser discutido entre os trabalhadores para um completo entendimento de seu posicionamento dentro das organizações.

Destaca-se que a associação do WCM com as práticas da Indústria 4.0 proporciona vantagem competitiva, se distinguindo pelo uso de diferentes tecnologias. *Big data* e *IoT* são dois exemplos. Eles são meios integradores capazes de refletir estas mudanças de forma rápida e assertiva. Ambos são basilares para este processo de transição, proporcionando resultados imediatos nos processos. O monitoramento do chão de fábrica foi apontado como o principal destes processos, uma vez que permite a completa integração de indicadores e proporciona monitorar a evolução do processo produtivo, sendo um dos pilares das práticas da Indústria 4.0. Além disso, possibilita conectar processos associados ao WCM, promovendo a cultura da melhoria continuada, validando a premissa P7 - o WCM propicia, com o auxílio das tecnologias, a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor.

A disponibilidade dos trabalhadores em assimilar novos conhecimentos e em compreender que o processo de entregar um produto ou serviço diferenciado aos clientes não está restrito à sua área de atuação, influenciando sobremaneira neste aspecto. A atribuição adequada do recurso facilita a integração entre as áreas, pois mostra a capacidade de interação entre os meios tecnológicos e o uso correto das ferramentas, direcionando para o aumento da eficiência nos processos. As empresas apostam que o WCM e o investimento em tecnologia podem adicionar valor a seus produtos e serviços, diferenciando-os.

O WCM é apontado por 65% das organizações como fator diferenciador para o desenvolvimento de processos, atuando como elemento estratégico e com margem para vantagem competitiva no mercado em que atuam. Este fato ratifica a revisão da literatura (Lugert *et al.*, 2018) através da premissa P6 - WCM estabelece estratégias para a competitividade através da capacitação pelas práticas da Indústria 4.0.

A integração tecnológica e o desenvolvimento tecnológico completam este perfil. O primeiro direciona para o uso de diferentes tecnologias, alinhadas a diferentes processos organizacionais, quer sejam produtivos ou administrativos, orientados para a eficiência produtiva, deixando as organizações em situação privilegiada, corroborando a premissa P3 – o uso das tecnologias aumenta a produtividade e está orientada para a estratégia adotada pelas empresas. O segundo mostra que a

tecnologia está associada ao desenvolvimento das organizações que almejam processos caracterizados por um conjunto de fatores que a destaca das demais, tais como a monitorização constante de seus processos, a integração com os clientes - identificando possíveis falhas em seus produtos e serviços, a diferenciação nos serviços oferecidos. Estes elementos ratificam a premissa P2 – o conhecimento em diferentes métodos de manufatura permite identificar tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos com qualidade.

Como resultado destas análises, tem-se a síntese entre componentes e premissas, propiciando traçar um perfil complementar quanto aos desafios impostos pelo WCM e pelas práticas da Indústria 4.0 e como ambos influenciam na gestão de operações e nos processos organizacionais. O Quadro 20 mostra a correspondência entre as duas análises.

Quadro 20 - Correspondência entre componentes e premissas.

Componente 1 Desenvolvimento associado a tecnologia	Componente 2 Processos sustentáveis	Componente 4 WCM e aplicação de tecnologias
P1. Compreensão organizacional e de processos são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0.	P1. Compreensão organizacional e de processos são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0.	P1. Compreensão organizacional e de processos são importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0.
P2. O conhecimento em diferentes métodos de manufatura permite identificar tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos com qualidade.		
P3. O uso das tecnologias aumenta a produtividade e está orientada para a estratégia adotada pelas empresas.		P3. O uso das tecnologias aumenta a produtividade e está orientada para a estratégia adotada pelas empresas.

continua

Componente 1	Componente 2	Componente 4
Desenvolvimento associado a tecnologia	Processos sustentáveis	WCM e aplicação de tecnologias
P4. O WCM propicia, com o auxílio das tecnologias, a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor.		P4. O WCM propicia, com o auxílio das tecnologias, a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor.
	P5. Programas de qualidade auxiliam na adição de valor.	
	P6. WCM estabelece estratégias para a competitividade através da capacitação pelas práticas da Indústria 4.0.	
P7. As práticas da Indústria 4.0 auxiliam na eficiência dos processos.		
P8. Objetivos estratégicos direcionados para a manufatura.		P8. Objetivos estratégicos direcionados para a manufatura.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A premissa P1 está direcionada para a gestão de operações e se relaciona com as componentes 1, 2 e 4 devido à compreensão sobre os processos organizacionais e como eles se comportam perante os desafios impostos pelas práticas da Indústria 4.0 e pelos processos de melhoria continuada - embrião do WCM.

O entendimento de que os processos devem ocorrer de forma sustentável, através de ações afirmativas e que harmonizam entre todos os envolvidos, mostra a percepção sobre o tema proposto nesta tese. Os desafios na gestão de operações e no desempenho organizacional são ultrapassados através da organização dos processos e do desenvolvimento associado às tecnologias, ambos direcionados para a implantação das práticas da Indústria 4.0.

As premissas P3 e P4 asseveram a importância do uso das tecnologias no WCM, buscando a eficiência produtiva, e como estas tecnologias potencializam ações de

melhoria e inovação, sendo utilizadas como instrumento para a agregação de valor e consequente vantagem competitiva, corroborando as componentes 1 e 4. O uso das tecnologias proporciona o rearranjo dos processos, através da orientação para as práticas da Indústria 4.0, estabelecendo um marco divisor para a estratégia organizacional e a transição das organizações para um modelo estratégico diferenciado, fortalecendo os conceitos apresentados nas premissas P7 e P8.

A premissa P2 direciona para serviços diferenciados e são reflexo de produtos que estão submetidos a processos inovadores e ao conhecimento sobre diferentes métodos de manufatura, o que inclui as práticas da Indústria 4.0. Isso permite identificar as tendências no desenvolvimento de produtos, convergindo para os conceitos que formam a componente 1. Entretanto, se faz necessária a adaptabilidade nos processos para suprir estas demandas. A virtualização dos processos aumenta, significativamente, a identificação das perdas e dos pontos de melhoria, permitindo comparar unidades fabris em diferentes locais. Como resultado, o número de imperfeições identificadas nos processos é maior do que a quantidade de correções e melhorias realizadas.

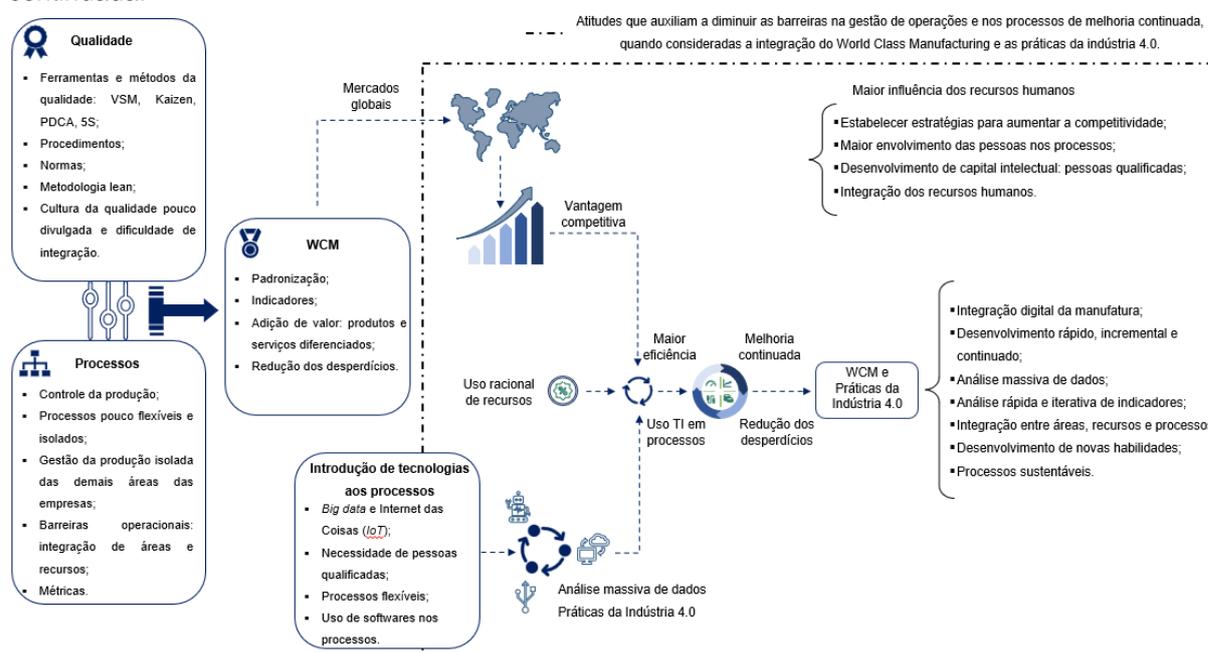
Toda esta dinâmica permite maior domínio dos processos. O controle se transfere de uma abordagem homem-máquina para uma abordagem software-máquina. A interferência humana para monitorar os processos é minimizada, permitindo maior assertividade na identificação dos gargalos e dos erros. A disponibilidade do capital intelectual é necessária e oportuna para o desenvolvimento dos processos e das tecnologias, corroborando as premissas P5 e P6. Elas apontam para processos sustentáveis e aqueles em que há ampla aplicação em diferentes nichos. De modo complementar, as organizações WCM estão direcionadas para a adição de valor a produtos e serviços, ou seja, necessitam dos recursos humanos para assumirem as responsabilidades pela orientação e desenvolvimento das práticas da Indústria 4.0.

As barreiras passam a ser operacionais. A necessidade da mudança na cultura organizacional, através da adoção e implantação de um projeto consistente, o investimento em recursos humanos e materiais, a adesão de um modelo de gestão dinâmico, onde as mudanças ocorrem de forma rápida, são alguns exemplos de obstáculos que as organizações devem superar.

6. CONSEQUÊNCIAS PARA A GESTÃO DE OPERAÇÕES

Esta tese resulta em uma estrutura de trabalho que auxilia as organizações a ter um melhor entendimento sobre as barreiras na gestão das operações e a manter um ciclo de melhoria continuada. A Figura 23 mostra como estas barreiras influenciam na gestão de operações e nos processos que possibilitam a melhoria continuada.

Figura 23 - Barreiras que influenciam na gestão de operações para os processos de melhoria continuada.

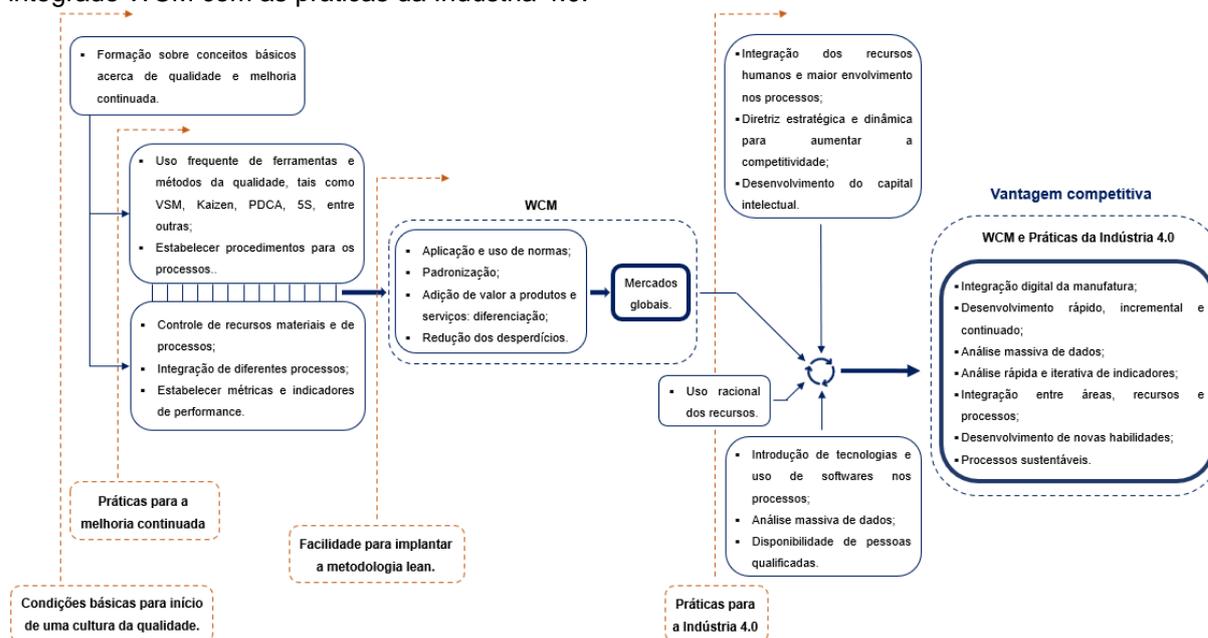


Fonte: Elaborado pelo autor.

A influência do desenvolvimento da qualidade e dos processos influencia diretamente no sistema de gestão integrado WCM e no modo como ele se desenvolve em uma organização. Como consequência, a introdução das práticas da Indústria 4.0 se torna totalmente dependente destas ações, podendo originar resultados não esperados durante este processo.

Para superar estas dificuldades que podem ocorrer nesta integração, a Figura 24 mostra a estrutura de trabalho proposta como resultado para esta tese. Esta estrutura permite às organizações orientar a integração entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 de forma coordenada, planejando como este desenvolvimento ocorrerá, além de considerar os principais gargalos que podem vir a ocorrer.

Figura 24 – Estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do sistema de gestão integrado WCM com as práticas da Indústria 4.0.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As barreiras na gestão de operações e nos processos de melhoria continuada, quando considerada a integração do sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0, ocorrem em três vertentes principais: qualidade, processos e tecnologias.

Considerando uma organização que não possui uma cultura da qualidade, a primeira etapa consiste em proporcionar as condições básicas para início de uma cultura da qualidade, mitigando as barreiras existentes através de treinamentos sobre os conceitos básicos a respeito da qualidade e melhoria continuada, integrando toda a organização. Isso permite impulsionar o interesse dos trabalhadores neste tema.

Vencidas as barreiras iniciais, o processo para iniciar as práticas para a melhoria continuada, com o uso frequente de ferramentas da qualidade, possibilita as organizações estruturar os processos internos, garantindo um controle e melhor uso dos recursos. O uso continuado das ferramentas da qualidade e o desenvolvimento de indicadores são fundamentais neste processo, pois mostra o desenvolvimento destas ações. Tais ações, quando desenvolvidas de forma ininterrupta e aplicadas em diferentes áreas, condiciona os processos a um ciclo ininterrupto de práticas para a melhoria continuada, permitindo estabelecer:

- a) a padronização de processos e procedimentos;
- b) o uso frequente de ferramentas e métodos da qualidade;
- c) a implantação e uso de normas;
- d) o controle de recursos materiais e de processos;
- e) integração de diferentes processos;
- f) métricas e indicadores de performance;
- g) a redução dos desperdícios.

Estes fatores, quando associados, viabilizam a implantação do sistema de gestão integrado WCM, que tem como objetivo a adição de valor a produtos e serviços, acentuando a aplicação e uso de normas, a padronização de processos, produtos e serviços, possibilitando às organizações alcançarem mercados globais. Entretanto, a vantagem competitiva em um mercado cada vez mais adverso e global se dá pela diferenciação. As práticas da Indústria 4.0 podem possibilitar alcançar este diferencial estratégico, através de um ciclo contínuo, fundamentado em quatro vertentes:

- a) uso racional dos recursos;
- b) sistema de gestão integrado WCM, buscando mais eficiência dos recursos disponíveis;
- c) introdução de tecnologias aos processos, incentivando o uso de softwares, tornando-os mais flexíveis e facilitando a análise massiva de dados;
- d) integração dos recursos humanos e desenvolvimento de capital intelectual, através da disponibilidade de pessoas qualificadas e maior envolvimento entre pessoas e processos.

Estas vertentes podem facilitar o desenvolvimento de novos métodos para que as organizações elaborem uma diretriz estratégica eficaz. A integração digital da manufatura direciona para o desenvolvimento rápido, incremental e continuado de produtos e serviços. A análise rápida e iterativa de indicadores promove a integração entre áreas, recursos e processos, desenvolvendo novas habilidades e processos sustentáveis. Esta dinâmica pode permitir o aumento da competitividade, sendo a integração do sistema de gestão integrado WCM com as práticas da Indústria 4.0 uma vantagem competitiva diferenciada.

7. CONCLUSÃO

Sob a perspectiva quantitativa, a opção pela análise multivariada de componentes principais permitiu reduzir o número de variáveis a um conjunto de componentes, mantendo a maior parte da informação.

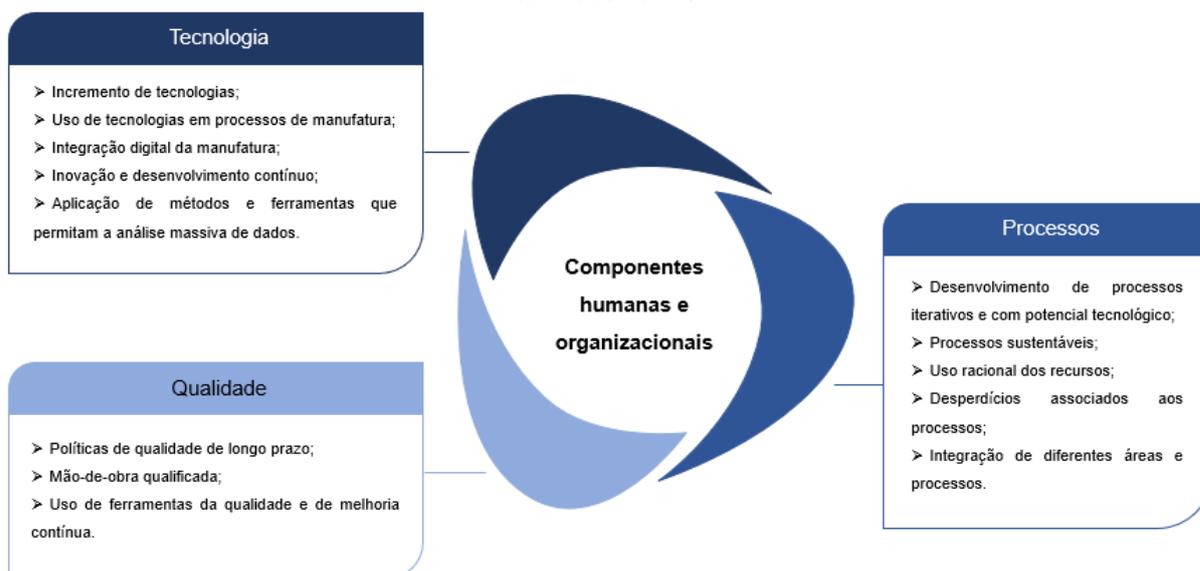
Sendo o estudo proposto nesta tese inédito, ou seja, avaliar as barreiras e dificuldades que o sistema de gestão integrado WCM encontra para se adaptar às práticas da Indústria 4.0 e quais os resultados desta integração, o método de análise exploratória por componentes principais foi o mais adequado e correspondeu às expectativas propostas: elaborar constructos acerca do tema e reduzir o número de variáveis em conjuntos semelhantes.

Quando considerada a perspectiva qualitativa, as premissas puderam ser interpretadas dentro do contexto abrangente das variáveis já estudadas na análise quantitativa, complementando a análise.

Considerando organizações com produção em larga escala ou com processos padronizados, a implementação do sistema de gestão integrado WCM se torna bastante simples. Entretanto, para organizações cujo foco sejam produtos ou serviços com grande carga de especialização, dificultando a padronização, a execução do método encontra dificuldades, principalmente na obtenção de dados para a elaboração de processos uniformes, conforme caracterizado pela variável V7.

Isto se evidencia pela Figura 23 e Figura 24 e é complementado pelo Figura 25, que mostra as principais variáveis que atuam nos processos e que impactam em uma indústria classe mundial, no âmbito das práticas da Indústria 4.0.

Figura 25 - Variáveis que impactam no processo de implantação do WCM, considerando as práticas da Indústria 4.0.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A componente 1 é a mais completa a nível de informações, das quais destacam-se:

- a) a associação com o desenvolvimento tecnológico, explorando as competências humanas e organizacionais. Isso permite observar novas oportunidades de inovação e incremento de tecnologias, impactando na gestão estratégica;
- b) quando associada ao sistema de gestão integrado WCM, estabelece estratégias para a competitividade em diferentes mercados, proporcionando vantagens competitivas de longo prazo através do uso das tecnologias em processos de manufatura.

A componente 1 vai ao encontro com a premissa P2, que destaca:

- a) as facilidades que o uso das práticas da Indústria 4.0 tem na identificação de tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos e serviços;
- b) o desenvolvimento de diferentes tecnologias;
- c) as políticas de qualidade de longo prazo;
- d) a integração digital da manufatura e a aplicação de políticas estratégicas de diferenciação na agregação de valor de produtos e serviços associados.

Este conjunto de vetores permite maior flexibilidade para atender as necessidades dos clientes, auxiliando na quebra das barreiras operacionais: agregação de valor na forma mais pura e simples. Além disso, estes vetores apontam para a necessidade de estabelecer processos que auxiliem na gestão das operações, através de um sistema de produção associado à tecnologia e direcionado para as práticas da Indústria 4.0.

O conhecimento de diferentes áreas da organização é muito importante para a completa integração dos vetores. O *lean* preconiza esta integração e o WCM faz dela a sua base fundamental. Além disso, enfatiza o trabalho em equipe e sua completa inserção na cultura organizacional, desde a gestão de topo até a manufatura.

A sustentabilidade é resultado desta cultura organizacional, ou seja, a busca do equilíbrio entre os recursos disponíveis e a necessidade de explorá-los, sem extingui-los. O entendimento sobre sustentabilidade aponta para o uso racional dos recursos e está diretamente relacionado com a componente 2, dos quais se destacam os principais tópicos:

- a) os desperdícios associados ao processo;
- b) a escassez de recursos, humanos e materiais, e que são fatores impactantes para a gestão das operações. Quando considerada sob o ponto de vista de pessoas qualificadas, o sistema de gestão integrado WCM busca estabelecer estratégias para a competitividade através da capacitação para implementar as práticas da Indústria 4.0.

Considerando as barreiras tecnológicas e de recursos que estas práticas impõem, as preocupações envolvem diferentes quesitos: a capacidade de desenvolver processos interativos com potencial tecnológico associado, a integração de diferentes processos, o uso de ferramentas da qualidade e para a melhoria continuada.

Os processos elaborados com a tecnologia da informação podem sofrer mudanças constantes, obstruindo ou alterando rotinas já implementadas. Apesar do uso da tecnologia facilitar a aplicação das ferramentas e torná-las mais eficientes, a migração para a digitalização e virtualização da indústria requer cuidados e pode gerar obstáculos intransponíveis.

Estas dificuldades, quando organizadas, gerenciadas e mitigadas, diminuem a carência de recursos qualificados. O desenvolvimento conjunto de ações simples proporciona ganhos diretos e de rápido retorno aos processos, diminuindo ou eliminando os desperdícios.

As tecnologias são aliadas no modo como as organizações estabelecem seus processos. Quando combinados com o sistema de gestão integrado WCM, podem gerar um fluxo produtivo mais abrangente, rompendo fronteiras físicas e de tempo para a análise da conjuntura à qual estão inseridas. Se associados ao conhecimento dos trabalhadores, podem auxiliar na resolução de problemas de forma rápida, eficiente e no desenvolvimento de novos conceitos para a melhoria continuada.

A depender da maturidade do processo e dos envolvidos, o uso de ferramentas como 5S, Kanban e VSM e o método PDCA trazem resultados significativos no curto e médio prazo, facilitando a implantação das práticas da Indústria 4.0.

Como consequência, tem-se o desenvolvimento de processos alternativos atrelados aos conceitos de redução de desperdícios e da melhoria continuada, resultando na agregação de valor aos processos associados, gerando um ciclo fechado: a melhoria continuada auxilia na redução dos desperdícios; este procedimento permite a introdução de tecnologia; o uso da tecnologia aumenta a eficiência dos processos, resultando na melhoria dos mesmos e melhor uso de recursos, o que permite reinvestir no desenvolvimento tecnológico.

Os arranjos que o WCM necessita para sua imediata aplicação se destacam com a componente 4, que mostra quais vetores são aplicados simultaneamente entre o WCM e as práticas da Indústria 4.0. Destacam-se:

- a) a cultura organizacional, que prima pelas diretrizes que a organização deve seguir;
- b) a comunicação do topo para a base, enfatizando o papel da alta gestão;
- c) a capacidade de tomada de decisão, principalmente com base estatística e fundamentação dos dados, alicerce das práticas da Indústria 4.0;
- d) a estabilidade dos processos, a definição dos indicadores e dos procedimentos, minimizando os gargalos operacionais.

Se o WCM preza pela eficiência produtiva, associado a um alto grau de padronização dos produtos e serviços, destacando as organizações a nível mundial, as práticas da Indústria 4.0 são os vetores facilitadores, capazes de permitir a rápida expansão dos sistemas produtivos e a monitorização de dados cada vez mais complexos.

Enquanto a componente 1 direciona para as competências humanas e organizacionais e o uso gradual da tecnologia, a componente 4 aponta para a necessidade real e imediata, com aplicações e resultados para o curto e médio prazo. Isto se evidencia, principalmente, pela variável 9, direcionada para a gestão organizacional eficiente nas operações, destacando-se:

- a) a compreensão de todos na organização para metas e objetivos únicos;
- b) o estabelecimento de uma relação de confiança contínua e duradoura, alinhada à estratégia adotada pelas organizações;
- c) a necessidade de entender e padronizar os processos e o uso dos recursos;
- d) o entendimento sobre o controle das operações, com foco na máxima eficiência e agregação de valor, na assertividade e na identificação dos gargalos do processo.

O conhecimento dos recursos disponíveis e o total aproveitamento dos mesmos, associado a um mapeamento detalhado dos processos direciona as organizações para maior eficiência. Quando estes vetores se associam às práticas da Indústria 4.0, permitem às organizações um novo arranjo, mais dinâmico, mais eficiente, monitorável à distância e com a capacidade de exploração de informações de forma mais fiável. Para que este processo de mudança ocorra, é necessário que a alta gestão esteja focada em objetivos muito claros e tenha o correto entendimento e compreensão dos investimentos necessários. A coexistência entre as tecnologias e as pessoas se transforma em um aprendizado constante, uma vez que este novo modelo direciona para benefícios significativos nos processos produtivos.

Para concretizar estas ações com êxito, as organizações devem manter suas estratégias alinhadas à estrutura organizacional, preparando os recursos críticos e o desenvolvimento de talentos de forma correta. Isso permite monitorar as ações adjacentes aos processos, com a capacidade de preparar a organização para mudanças bruscas e repentinas.

A união entre fatores diversos e difusos proporciona uma rápida integração entre os atores envolvidos na resolução dos problemas, viabilizando um maior esforço em tomadas de decisões, capazes de integrar os métodos para a resolução de problemas, o conhecimento dos trabalhadores e as tecnologias empregadas. Destacam-se a necessidade de criação de uma cultura organizacional voltada para a inovação e o desenvolvimento contínuo, para todas as áreas da organização. Associado a estes vetores, a aplicação de métodos e ferramentas que permitam a análise massiva de dados e informações, capazes de gerar projetos de melhoria continuada associados à gestão de operações.

A organização deve, ainda, ser capaz de compreender os desvios que podem ocorrer durante esta fase de transição. Para que isso transcorra de modo menos impactante na gestão das operações, as mudanças não devem ser abruptas. Para cada evolução e resultado atingido, se faz necessário uma fase de adaptação ao novo conceito.

7.1 Contribuição teórica

A contribuição teórica mostra as relações entre as variáveis que influenciam na gestão de operações e suas conexões com os processos de melhoria continuada, o qual inclui o WCM e as práticas da Indústria 4.0.

Os processos de melhoria continuada que antecederam este estudo, incluindo o sistema de gestão integrado WCM, não consideraram a inclusão de uma carga significativa de recursos tecnológicos que as práticas da Indústria 4.0 proporcionam. Primeiro, devido ao custo do desenvolvimento tecnológico embutido ao processo. Segundo, devido à dificuldade em integrar estes recursos aos meios produtivos e de serviços.

Este estudo destaca o que as componentes mostram que o uso das tecnologias nos processos de melhoria continuada é capaz de desenvolver novas habilidades, fazendo com que os processos se tornem sustentáveis e de fácil adaptação às práticas da Indústria 4.0, criando um ciclo contínuo de desenvolvimento nas organizações.

Quanto maior a aplicação de tecnologias, maior o desenvolvimento de habilidades para estas práticas; como consequência, aumenta a agregação de valor aos produtos e serviços, que permitem reinvestir em novas tecnologias e processos mais modernos. Este ciclo permite enfraquecer e interromper as barreiras operacionais apontadas neste processo.

As ferramentas utilizadas para a redução dos desperdícios agregam maior volume tecnológico. As práticas gerenciais utilizadas estão direcionadas para a análise de custos e integração dos processos. A partir deste estudo, podem ser orientadas para a inovação tecnológica e análise massiva de dados, customizando produtos e serviços, alterando a forma como a gestão das operações ocorre dentro das organizações. A disponibilidade de capital intelectual e tecnológico tornam-se diferenciadores e auxiliam neste desenvolvimento, facilitando a transição das organizações para um modelo tecnológico de classe mundial, impactando em todos os negócios.

O link entre os processos de melhoria continuada e as práticas da Indústria 4.0 se dá pelo uso frequente dos métodos e ferramentas que a metodologia lean disponibiliza. O conhecimento das oportunidades de melhoria facilita a rápida tomada de decisão, através de dados consolidados existentes nos processos. Entretanto, somente uma base de dados consolidada não é capaz de permitir uma evolução constante. A integração entre diferentes áreas, através de diferentes recursos tecnológicos, é mais eficaz para o aumento da eficiência organizacional.

Este novo paradigma auxilia no uso mais apropriado de recursos e ferramentas, reestruturando a essência da eficiência na gestão das operações, direcionada para modelos pouco adaptáveis à realidade de cada organização.

O melhor entendimento organizacional facilita estas integrações, combatendo a resiliência humana perante esta nova realidade, direcionando para maior flexibilização na gestão de problemas complexos, facilitando a integração entre diferentes interfaces. Isso faz com que as estratégias, antes latentes, permitam a integração entre os diferentes recursos.

A combinação entre as diferentes abordagens teóricas aqui propostas proporciona maior entendimento da aplicação das ferramentas utilizadas na melhoria continuada, quando direcionadas para o uso de tecnologias e as práticas da Indústria 4.0. A formação das componentes enfatiza esta evolução: desenvolvimento tecnológico associado a processos sustentáveis.

7.2 Limitações do estudo e continuidade da pesquisa

Esta tese não teve a intenção de esgotar o tema estudado. O sistema de gestão integrado WCM, bastante estudado no início dos anos 1990 e 2000, ainda conta com muitos desenvolvimentos e aplicações em expansão. As práticas da Indústria 4.0, tema recente e bastante abrangente, encontra-se em fase de expansão de seus conceitos. Quando ambos estão associados, o nível de conhecimento e desenvolvimento ainda é pouco estudado.

Por se tratar de um tema que tem duas vertentes de exploração, WCM e práticas da Indústria 4.0, esta tese buscou mostrar as conexões entre eles, em um universo bastante reduzido, mas que traz algumas descobertas importantes. A complexidade desta conexão de variáveis limita a um estudo mais aprofundado. Dentre as limitações do estudo, destacam-se:

- a) o número e a abrangência de organizações pesquisadas, apesar de satisfazer as condições para este estudo, é limitado. Destaca-se que o tema é abrangente e há um número considerável de organizações no mundo que utilizam o sistema de gestão integrado WCM em conjunto com as práticas da Indústria 4.0. A dificuldade está no acesso a estas organizações e na disponibilidade das mesmas em responderem o questionário de pesquisa;
- b) o questionário de pesquisa considerou as principais questões acerca do tema. Isso ocorreu devido à extensão que a pesquisa poderia alcançar, tornando-a maçante e cansativa para quem responde. Entretanto, existem técnicas para dividir os questionários e a amostra de modo a minimizar esse aspecto, mas não foram utilizadas nesta tese;
- c) a escolha do método de pesquisa foi satisfatória: *survey* e análise fatorial exploratória, com formação de componentes principais. Este tipo de análise tem

por objetivo explorar temas pouco conhecidos, como é o caso. Mas, se considerarmos que as práticas da Indústria 4.0 ainda não foram exploradas na plenitude, tem-se um vácuo de conhecimento.

Apesar das dificuldades encontradas, o estudo mostrou robustez na investigação dos dados. Os resultados mostraram dez variáveis quantitativas complexas que formaram três componentes, ou áreas de estudo, a serem exploradas. Além disso, direcionou para uma segunda análise, qualitativa, com oito premissas fundamentadas e que corroboraram as variáveis.

Para estudos futuros, sugere-se um maior número de organizações a serem pesquisadas, em uma abrangência maior no mundo, ou seja, muitos países. O método de pesquisa também pode ser alterado, uma vez que este estudo adotou a fundamentação exploratória. Considerando esta análise inicial, estudos futuros podem direcionar para pesquisas com fundamentações confirmatórias, corroborando ou não a presente tese.

Por fim, a exploração prática das variáveis e premissas encontradas, bem como sua aplicação nas organizações e a verificação dos resultados, a fim de validar os resultados já encontrados e discutidos acerca do tema estudado.

REFERÊNCIAS

- AZAM, M., ZEADALLY, S. e HARRAS, K.A. **Deploying fog computing in industrial internet of things and industry 4.0**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, vol. 14 no. 10, pp. 4674–4682.
- ALPENBERG, J. e SCARBROUGH, D.P. **Trust and control in changing production environments**. Journal of Business Research, Elsevier, 2018, vol. 88, pp. 527–534.
- ARAÚJO, C.A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. Em *Questão*, 2006, vol. 12 no. 1, pp. 11–32.
- AZEVEDO, A.L. **Melhoria da eficiência e eficácia de processos de negócio.pdf**, 2017.
- AZEVEDO, P.R.M., MORALES, F.E.C. e PINHO, A.L.S. **Métodos básicos de estatística.pdf**, 2016, 1^a., EDUFRRN, Natal.
- BALDRIGE. **Changes from the 2019–2020 baldrige excellence framework.pdf**, 2020.
- BARKER, R.C. **Production systems without mpr: a lean time based design**, International Journal Management Science, 1994, vol. 22 no. 4, pp. 349–360.
- BAROSZ, P., GOŁDA, G. e KAMPA, A. **Efficiency analysis of manufacturing line with industrial robots and human operators**, Applied Sciences, 2020, available at: <https://doi.org/10.3390/app10082862>.
- BAXTER, P. e JACK, S. **Qualitative case study methodology: study design and implementation for novice researchers**, The Qualitative Report, 2008, vol. 13 no. 4, pp. 544–559.
- BORTOLOTTI, T., BOSCARI, S. e DANESE, P. **Successful lean implementation: organizational culture and soft lean practices**, International Journal of Production Economics, Elsevier, 2015, vol. 160, pp. 182–201.
- BOUCHARD, S., ABDULMOUR, G. e GAMACHE, S. **Agility and industry 4.0 implementation strategy in a quebec manufacturing sme.pdf**, Sustainability, 2022, vol. 14.
- BROWN, S., SQUIRE, B. e BLACKMON, K. **The contribution of manufacturing strategy involvement and alignment to world-class manufacturing performance**, International Journal of Operations & Production Management, 2007, vol. 27 no. 3, pp. 282–302.
- BUER, S.-V., STRANDHAGEN, J.O. e CHAN, F.T.S. **The link between industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda**, International Journal of Production Research, Taylor & Francis, 2018, vol. 56 no. 8, pp. 2924–2940.
- CARDOSO, C. **O programa world class manufacturing da chrysler, FIAT & CO**, Kitemes, 2017, available at: <https://www.kitemes.com.br/2017/12/04/o-programa-world-class-manufacturing-da-chrysler-fiat-co/>.
- CHIARINI, A. e VAGNONI, E. **World-class manufacturing by fiat. Comparison with toyota production system from a strategic management, management accounting, operations management and performance measurement dimension**, International Journal of Production Research, Taylor & Francis, 2015, vol. 53 no. 2, pp. 590–606.
- CHING, N.T., FATHI, M. e GHOBAKHLOO, M. **Modeling lean manufacturing success**, Journal of Modelling in Management, 2018, vol. 13 no. 4, pp. 908–931.
- CICCARELLI, M., PAPETTI, A., CAPPELLETTI, F., BRUNZINI, A. e GERMANI, M. **Combining world class manufacturing system and industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment**, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2022, vol. 16 no. 1, pp. 263–

279.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**, 1998, 2nd ed., Lea.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para indústria 4.0 no brasil**, CNI, 2016, Brasília, p. 34.

COSTA, N. e PATRICIO, L. **Bringing service design to manufacturing companies: integrating pss and service design approaches**, Design Studies, 2018, vol. 55 no. C, pp. 112–145.

D'ORAZIO, L., MESSINA, R. e SCHIRALDI, M.M. **Industry 4.0 and world class manufacturing integration: 100 technologies for a WCM - I4.0 matrix**, Applied Sciences, 2020, vol. 10 no. 14, available at: <https://doi.org/10.3390/app10144942>.

DALENOGARE, L.S., BENITZ, G.N., FABIÁN, A.G. e AYALA, N.F. **The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance**, International Journal of Production Economics, Elsevier b.v., 2018, vol. 204, pp. 383–394.

DALMORO, M. e VIEIRA, K.M. **Dilemas na construção de escalas tipo likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados?**, 2006, XXXII Encontro da Anapad, pp. 1–16. Deming Prize, 2020, available at: https://www.juse.or.jp/deming_en/.

DIETZ, J.L.G., HOOGERVORST, J.A.P., ALBANI, A., AVEIRO, D., BABKIN, E., BARJIS, J., CAETANO, A., HUYSMANS, P., IJIMA, J., KERVEL, S.J.H., MULDER, H., OP, M., PROPER, H.A., SANZ, J., TERLOUW, L., TRIBOLET, J., VERELST, J. e WINTER, R. **The discipline of enterprise engineering**, International Journal of Organisational Design and Engineering, 2013, vol. 3 no. 1, pp. 86–114.

DOMBROWSKI, U. e MIELKE, T. **Lean leadership – 15 rules for a sustainable lean implementation**, Procedia CIRP, Elsevier b.v., 2014, vol. 17, pp. 565–570.

DOOLEY, L. e O'SULLIVAN, D. **Systems innovation manager**, Production Planning & Control, 2010, vol. 11 no. 4, available at: <https://doi.org/10.1080/095372800232108>.

DUBEY, R., GUNASEKARAN, A., CHILDE, S.J., WAMBA, S.F. e PAPADOPOULOS, T. **The impact of big data on world-class sustainable manufacturing**, International Journal Advanced Technology, 2016, vol. 84, pp. 631–645.

EBRAHIMI, M., BABOLI, A. e ROTHER, E. **The evolution of world class manufacturing toward industry 4.0: a case study in the automotive industry**, Ifac-Papersonline, 2019, vol. 52 no. 10, pp. 188–194.

EFQM. **EFQM**, 2019, Brussels.

EISENHARDT, K.M. **Building theories from case study research**, Academy Of Management Review, 1989, vol. 14 no. 4, pp. 532–550.

EISENHARDT, K.M. e MARTIN, J.A. **Dynamic capabilities: what are they?**, Strategic Management Journal, 2000, vol. 21 no. 10/11, pp. 1105–1121.

FARSIJANI, H. **The role of advanced manufacturing systems for world-class business**, IEEE International Engineering Management Conference, 2005, pp. 827–831.

FATORACHIAN, H. e KAZEMI, H. **The management of operations a critical investigation of industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework**, Production Planning & Control, Taylor & Francis, 2018, vol. 29 no. 8, pp. 633–644.

FETTERMANN, D.C., CAVALCANTE, C.G.S., ALMEIDA, T.D. e TORTORELLA, G.L. **How does industry 4.0 contribute to operations management?**, Journal of Industrial and Production Engineering, Taylor & Francis, 2018, vol. 35 no. 4, pp. 255–268.

FCA GROUP. Disponível em: https://www.wcm.fcagroup.com/en-us/wcm_academy/Pages/default.aspx. Acesso em 25/07/2022.

FIELD, A., MILES, J. e FIELD, Z. **Discovering statistics using R**, Choice Reviews Online, 2012.

FLYNN, B.B., SCHROEDER, R.G., FLYNN, E.J., SAKAKIBARA, S. e BATES, K.A. **World-class manufacturing project: overview and selected results**, International Journal of Operations & Production Management, 1997, vol. 17 no. 7, pp. 671–685.

FOIT, K., GOŁDA, G. e KAMPA, A. **Integration and evaluation of intra-logistics processes in flexible production systems based on oee metrics, with the use of computer modelling and simulation of AGVS**, Processes, 2020, vol. 8 no. 12, pp. 1–15.

FREITAS, W.R.S. e JABBOUR, C.J.. **Using case study(ies) as strategy of qualitative research: good practices and suggestions**, Estudo & Debate, 2011, vol. 18 no. 2, pp. 7–22.

FURLAN, A. e VINELLI, A. **Unpacking the coexistence between improvement and innovation in world-class manufacturing: a dynamic capability approach**, Technological Forecasting & Social Change, Elsevier, 2018, vol. 133, pp. 168–178.

GALLALA, A., KUMAR, A.A., HICHRI, B. e PLAPPER, P. **Digital twin for human-robot interaction by means of industry 4.0 enabling technologies**, Applied Sciences, 2022.

GARCIA, D. e GLUESING, J.C. **Qualitative research methods in international organizational change research**, Journal of Organizational Change Management, 2013, vol. 26 no. 2, pp. 423–444.

GHOBAKHLOO, M. **The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0**, Journal of Manufacturing Technology Management, 2018, vol. 29 no. 6, pp. 910–936.

GHOBAKHLOO, M. e AZAR, A. **Business excellence via advanced manufacturing technology and lean-agile manufacturing**, Journal of Manufacturing Technology Management, 2018, vol. 29 no. 1, pp. 2–24.

GÖLZER, P. e FRITZSCHE, A. **Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice**, Production Planning & Control, Taylor & Francis, 2017, vol. 28 no. 16, pp. 1332–1343.

GÓMEZ, F.J. e GODINHO FILHO, M. **Complementing lean with quick response manufacturing: case studies**, International Journal Advanced Manufacturing Technology, 2017, vol. 90, pp. 1897–1910.

GORECKY, D., KHAMIS, M. e MURA, K. **Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future**, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, 2017, vol. 30 no. 1, pp. 182–190.

GUNASEKARAN, A., PAPADOPOULOS, T., DUBEY, R., FOSSO, S., CHILDE, S.J., HAZEN, B. e AKTER, S. **Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance**, Journal of Business Research, 2017, vol. 70, pp. 308–317.

HAIR, J.F., BLACK, W.C., BABIN, B.J., ANDERSON, R.E. e TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**, Bookman, 2009, 6th ed.

HAN, S., CAO, B., FU, Y. e LUO, Z. **A liner shipping competitive model with consideration of service quality management**, Ann Operation Research, 2018, vol. 270, pp. 155–177.

HARRISON, R., VERA, D. e AHMAD, B. **Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems**, Proceedings of The IEEE, 2016, vol. 104, pp. 973–985.

HECKLAU, F., GALEITZKE, M., FLACHS, S. e KOHL, H. **Holistic approach for human resource management in industry 4.0**, Procedia CIRP, 2016, vol. 54, the author(s), pp. 1–6.

HILL, J., THOMAS, A.J., MASON-JONES, R.K. e EL-KATEB, S. **The implementation of a lean six sigma framework to enhance operational performance in an mro facility**, *Production & Manufacturing Research*, 2018, vol. 6 no. 1, pp. 26–48.

HOLWEG, M. **The genealogy of lean production**, *Journal of Operations Management*, 2007, vol. 25 no. 2, pp. 420–437.

HONG, J., LEE, O.D. e SUH, W. **Creating knowledge within a team: a socio- technical interaction perspective**, *Knowledge Management Research & Practice*, 2016, pp. 1–11.

JABBOUR, A.B.L.S., JABBOUR, C.J.C., FOROPON, C. e GODINHO FILHO, M. **When titans meet – can industry 4.0 revolutionise the environmentally- sustainable manufacturing wave ? The role of critical success factors**, *Technological Forecasting & Social Change*, 2018, vol. 132, pp. 18–25.

JARDIM-GONCALVES, R., ROMERO, D. e GRILO, A. **Factories of the future: challenges and leading innovations in intelligent manufacturing**, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2017, vol. 30 no. 1, available at:<https://doi.org/10.1080/0951192x.2016.1258120>.

JOHNSON, R.A. e WICHERN, D.W. **Analysis statistical applied multivariate**, Pearson, 2007, 6th ed.

KAMBLE, S.S., GUNASEKARAN, A. e GAWANKAR, S.A. **Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives**, *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of Chemical Engineers, 2018, vol. 117, pp. 408–425.

KAZANCOGLU, Y. e OZKAN-OZEN, Y.D. **Analyzing workforce 4.0 in the fourth industrial revolution and proposing a road map from operations management perspective with fuzzy dematel**, *Journal of Enterprise Information Management*, 2018, vol. 31 no. 6, pp. 891–907.

KHAN, Z., BALI, R.K. e WICKRAMASINGHE, N. **Developing a bpi framework and pam for SMES**, *Industrial Management & Data Systems*, 2007, vol. 107 no. 3, pp. 345–360.

KOLBERG, D., KNOBLOCH, J. e ZÜHLKE, D. **Towards a lean automation interface for workstations**, *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, 2017, vol. 55 no. 10, pp. 2845–2856.

LATTIN, J.M., CARROLL, D. e GREEN, P.E. **Analyzing multivariate data**, Cengage Learning, 2011, 3rd ed., São Paulo.

LEE, G.L. e OAKES, I.K. **Templates for change with supply chain rationalization**, *International Journal of Operations & Production Management*, 1996, vol. 16 no. 2, pp. 197–209.

LIKER, J.K. **The Toyota way**, Mcgraw-Hill Companies, 2020, 2nd ed.

LIN, J., YU, W., ZHANG, N., YANG, X., ZHANG, H. e ZHAO, W. **A survey on internet of things: architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications**, *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, vol. 4 no. 5, pp. 1125–1142.

LOSONCI, D., DEMETER, K. e JENEI, I. **Factors influencing employee perceptions in lean transformations**, *International Journal Production Economics*, 2011, vol. 131, pp. 30–43.

LOTFI, M. e SAGHIRI, S. **Disentangling resilience, agility and leanness: conceptual development and empirical analysis**, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2018, vol. 29 no. 1, pp. 168–197.

LUGERT, A., BATZ, A. e WINKLER, H. **Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries**, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2018, vol. 29 no. 5, pp. 886–906.

LUTHRA, S. AND MANGLA, S.K. **Evaluating challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies**, *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of

Chemical Engineers, 2018, vol. 117, pp. 168–179.

MAASZ, G.J. e DARWISH, H. **Towards an initiative-based industry 4.0 maturity improvement process: master drilling as a case study**, South African Journal of Industrial Engineering, 2018, vol. 29 no. 3, pp. 92–107.

MALAVASI, M. e SCHENETTI, G. **Lean manufacturing and industry 4.0: an empirical analysis between sustaining and disruptive change**, Politecnico di Milano, 2017.

MARIN, M.A., HAUDER, M. e MATTHES, F. **Case management: an evaluation of existing approaches for knowledge-intensive processes**, 4th International Workshop on Adaptive Case Management and Other Non-Workflow Approaches to bpm, 2015, pp. 1–13.

MATOS, D.A.S. e RODRIGUES, E.C. **Análise fatorial.pdf**, ENAP Fundação Escola Nacional de Administração Pública, 2019, 1ª ed., Brasília.

MENDES, R. DE C. e MATTOS, M.C. **Knowledge management and world class manufacturing : an initial approach based on a literature review**, Perspectivas em Ciência da Informação, 2017, vol. 22 no. 2, pp. 244–263.

MORAES, M.B.C. **Análise multivariada aplicada à contabilidade**, aula FEA/USP, 2016.

MRÓZ, A. **About some aspects of advanced manufacturing engineering department in wcm-oriented production plants**, Management and Production Engineering Review, 2018, vol. 9 no. 4, pp. 76–85.

MRUGALSKA, B. e WYRWICKA, M.K. **Towards lean production in industry 4.0**, Procedia Engineering, 2017, vol. 182, pp. 466–473.

MUTASA, M. e TELUKDARIE, A. **Mapping industry 4.0 on the path to world class manufacturing**, Asem Virtual International Annual Conference Engineering Management and The New Normal, 2021, pp. 537–545.

NEUMAN, W.L. **Social research methods: qualitatite and quantitative approaches**, Pearson, 2014, 7ª ed.

NG, T. e GHOBAKHLOO, M. **What derives lean manufacturing effectiveness: an interpretive structural model**, International Journal of Advanced and Applied Sciences, 2017, vol. 4 no. 8, pp. 104–111.

OLIVEIRA, P. SERGIO G., SILVA, D., SILVA, L.F., TECILIA, M.C. e LLOPES, M.S. **Proposition factor model of world class manufacturing in brazilian enterprises**, Independent Journal of Management & Production, 2016, vol. 7 no. 2, pp. 488–502.

ÖSTLUND, U., KIDD, L., WENGSTRÖM, Y. e ROWA-DEWAR, N. **Combining qualitative and quantitative research within mixed method research designs: a methodological review**, International Journal of Nursing Studies, 2011, vol. 48 no. 3, pp. 369–383.

PARANITHARAN, K.P., BABU, R., PANDI, P. e JEYATHILAGAR, D. **An empirical validation of integrated manufacturing business excellence model**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, vol. 92, pp. 2569–2591.

PARK, J. e BAE, H. **Big data and ai for process innovation in the industry 4.0 era**, Applied Sciences, 2022, vol. 12 no. 13, p. 6346.

PATIDAR, L., SONI, V.K. e SONI, P.K. **Manufacturing wastes analysis in lean environment : an integrated ism-fuzzy micmac approach**, International Journal System Assurance Engineer Management, 2017, vol. 8 no. 2, pp. 1783–1809.

RAMADAN, M., AMER, T., SALAH, B. e RUZAYQAT, M. **The impact of integration of industry 4.0**

and internal organizational forces on sustaining competitive advantages and achieving strategic objectives, Sustainability, 2022.

RAUCH, E., DALLASEGA, P. e MATT, D.T. **Critical factors for introducing lean product development to small and medium sized enterprises in italy**, Procedia CIRP, 2017, vol. 60, pp. 362–367.

RIFQI, H., ZAMMA, A., SOUDA, S. BEN e HANSALI, M. **Positive effect of industry 4.0 on quality and operations management**, International Journal of Online and Biomedical Engineering, 2021, vol. 17 no. 9, pp. 133–147.

RØDSETH, H., FORDAL, J.M. e SCHJØLBERG, P. **The journey towards world class maintenance with profit loss indicator**, Lecture Notes in Electrical Engineering, 2019, vol. 484, pp. 192–199.

ROSSINI, M., COSTA, F., TORTORELLA, G.L. e PORTIOLI-STAUDACHER, A. **The interrelation between industry 4.0 and lean production: an empirical study on european manufacturers**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, vol. 102, pp. 3963–3976.

SAHOO, S. e YADAV, S. **Lean production practices and bundles: a comparative analysis**, International Journal of Lean Six Sigma, 2018, vol. 9 no. 3, pp. 374–398.

SANDERS, A., ELANGESWARAN, C. e WULFSBERG, J. **Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing**, Journal of Industrial Engineering and Management, 2016, vol. 9 no. 3, pp. 811–833.

SANGWA, N.R. e SANGWAN, K.S. **Development of an integrated performance measurement framework for lean organizations**, Journal of Manufacturing Technology Management, 2018, vol. 29 no. 1, pp. 41–84.

SARTAL, A., LLACH, J., VASQUEZ, X.H. e VILA, R.C. **How much does lean manufacturing need environmental and information technologies?**, Journal of Manufacturing Systems, 2017, vol. 45, pp. 260–272.

SARTAL, A. e VÁZQUEZ, X.H. **Implementing information technologies and operational excellence: planning , emergence and randomness in the survival of adaptive manufacturing systems**, Journal of Manufacturing Systems, 2017, vol. 45, pp. 1–16.

SATOLO, E.G., LEITE, C., CALADO, R.D., GOES, G.A. e SALGADO, D.D.A. **Ranking lean tools for world class reach through grey relational analysis**, Grey Systems: Theory and Application, 2018, vol. 8 no. 4, pp. 399–423.

SCHALLOCK, B., RYBSKI, C., JOCHEM, R. e KOHL, H. **Learning factory for industry 4.0 provide future skills beyond technical training**, Procedia Manufacturing, Elsevier b.v., 2018, vol. 23, pp. 27–32.

SCHONBERGER, R.J. **Is strategy strategic? Impact of total quality management on strategy**, Academy of Management, 1992, vol. 6 no. 3, pp. 80–87.

SILVA, D., LOPES, E.L. e JUNIOR, S.S.B. **Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições**, Revista de Gestão e Secretariado, 2014, vol. 05 no. 01, pp. 01–18.

ŚLUSARCZYK, B. **Industry 4.0. Are you ready?**, Polish Journal of Management Study, 2018, vol. 17 no. 1, pp. 232–248.

SONY, M. **Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions**, Production & Manufacturing Research, Taylor & Francis, 2018, vol. 6 no. 1, pp. 416–432.

SOUSA, R. e VOSS, C.A. **Contingency research in operations management practices**, Journals of Operations Management, 2008, vol. 26, pp. 697–713.

STOCK, T. e SELIGER, G. **Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0**, Procedia CIRP, Elsevier b.v., 2016, vol. 40, pp. 536–541.

SUHAIL, S., MALIK, S.U.R., JURDAK, R., HUSSAIN, R., MATULEVIČIUS, R. e SVETINOVIC, D. **Towards situational aware cyber-physical systems: a security-enhancing use case of blockchain-based digital twins**, Computers in Industry, 2022, available at: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103699>.

TEECE, D.J., PISANO, G. e SHUEN, A. **Dynamic capabilities and strategic management**, Strategic Management Journal, 1997, vol. 18 no. 7, pp. 509–533.

TEOH, B., TEOH, P.C. e CHONG, W.Y. **Fourth industrial revolution from the perspective of manufacturing lead time**, International Journal of Business And Economy, 2021, vol. 3 no. 2, pp. 15–23.

TERZIYAN, V., GRYSKO, S. e GOLOVIANKO, M. **Patented intelligence: cloning human decision models for industry 4.0**, Journal of Manufacturing Systems, Elsevier, 2018, vol. 48, pp. 204–217.

THIEDE, S., JURASCHEK, M. e HERRMANN, C. **Implementing cyber-physical production systems in learning factories**, Procedia CIRP, 2016, vol. 54, elsevier b.v., pp. 7–12.

TORTORELLA, G.L. e FETTERMANN, D. **Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies**, International Journal of Production Research, Taylor & Francis, 2018, vol. 56 no. 8, pp. 2975–2987.

UNITED NATIONS. **Central product classification, ver.2.1, st/esa/stat/ser.m/77/ver.2.1**, 2015, available at: [http://unstats.un.org/unsd/cr/downloads/cpcv2.1_complete\(pdf\)_english.pdf](http://unstats.un.org/unsd/cr/downloads/cpcv2.1_complete(pdf)_english.pdf).

VEZA, I., MLADINEO, M. e GJELDUM, N. **Selection of the basic lean tools for development of croatian model of innovative smart enterprise**, Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette, 2016, vol. 23 no. 5, pp. 1317–1324.

VILLALBA-DIEZ, J., ROSSNER, M., LAY, M. e ORDIERES-MERÉ, J. **Lean dendrochronology: complexity reduction by representation of KPI dynamics looking at strategic organizational design**, Management And Production Engineering Review, 2018, vol. 9 no. 4, pp. 3–9.

WAMBA, S.F., SHAHRIAR, A., EDWARDS, A., CHOPIN, G. e GNANZOU, D. **How ‘big data’ can make big impact: findings from a systematic review and a longitudinal case study**, International Journal of Production Economics, 2015, vol. 165, pp. 234–246.

WIELKI, J. e KOZIOL, P. **Optimization of business processes with the use of microlocation tools based on the industry 4.0 concept**, International Multidisciplinary Symposium: Challenges and Opportunities for Sustainable Development Through Quality and Innovation in Engineering and Research Management, 2018, pp. 939–944.

XU, L. DA, XU, E.L. e LI, L. **Industry 4.0: state of the art and future trends**, International Journal of Production Research, 2018, vol. 56 no. 8, pp. 2941–2962.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**, Sage, 2017, 6th ed., Los Angeles.

APÊNDICE 1 – Carta de apresentação e questionário da pesquisa (português)**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Avenida Prof.º Almeida Prado, travessa 2, nº 128, CEP: 05508-900 - São Paulo/SP

Tel.: (11) 3091 – 5363 Fax.: (11) 3091 – 5399

Prezado(a) Senhor(a)

Esta pesquisa faz parte das atividades de pesquisa realizadas pelo Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - POLI / USP.

Sua opinião é muito importante, pois ajudará a mostrar quais variáveis afetam a gestão de operações e o desempenho das organizações, ao considerar as adaptações necessárias no sistema de gestão integrado WCM para as transformações propostas pelas práticas da Indústria 4.0.

Os pesquisadores estão submetidos, e respeitam, o código de ética da Universidade de São Paulo. Todas as informações coletadas aqui são confidenciais e a divulgação ou acesso aos dados individuais da fonte são proibidos a indivíduos, entidades legais, agências públicas ou privadas ou qualquer outro meio.

O questionário de pesquisa é composto por quatro partes, distribuídas da seguinte forma:

- Bloco 1 - Caracterização do entrevistado;
- Bloco 2 - Caracterização da empresa;
- Bloco 3 - Caracterização dos métodos aplicados;
- Bloco 4 - Considerações finais.

Agradecemos sua participação nesta pesquisa e esperamos que seja de grande valor para a organização.

Atenciosamente,

José Daniel Rodrigues Terra, doutorando em Engenharia de Produção – POLI/USP - daniel.terra@usp.br.

Fernando Tobal Berssaneti, Prof.º Dr. da Faculdade de Engenharia de Produção – POLI/USP – fernando.berssaneti@usp.br.

Bloco 1 – Caracterização do entrevistado

Nome: _____

Telefone (DDI + N°): _____

E-mail: _____

Cargo / função atual: _____

Tempo em que trabalha na empresa:

 Menos 2 anos De 2 anos até 5 anos De 5 anos até 10 anos Mais de 10 anos

Na empresa em que trabalha:

Conhece o sistema de gestão integrado WCM? Sim NãoAplica o sistema de gestão integrado WCM? Sim NãoConhece o conceito e as ferramentas das práticas da Indústria 4.0? Sim NãoAplica o conceito e as ferramentas das práticas da Indústria 4.0? Sim Não**Bloco 2 – Caracterização da empresa**

Nome: _____

País de origem: _____

De acordo com o número de trabalhadores, a empresa ou o grupo à qual a empresa pertence tem:

 Até 100 trabalhadores Mais de 100 até 500 trabalhadores Mais de 500 até 1000 trabalhadores Mais de 1000 trabalhadores

Área(s) de atuação: _____

Sobre a aplicação do sistema de gestão integrado WCM e das práticas da Indústria 4.0 na empresa em que trabalha:

Os trabalhadores recebem treinamento sobre o sistema de gestão integrado WCM?

- Sim
- Não
- Não sabe responder

O plano estratégico da organização tem relação com o sistema de gestão integrado WCM?

- Sim
- Não
- Não sabe responder

O plano estratégico da organização tem relação com o conceito das práticas da Indústria 4.0?

- Sim
- Não
- Não sabe responder

Bloco 3 – Caracterização dos sistemas de gestão integrados aplicados

1. Relação entre o sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0.

O desenvolvimento de novas competências humanas e organizacionais permite explorar novas oportunidades de inovação e incremento de tecnologias, impactando na gestão estratégica.

- Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

Através do uso das tecnologias em processos de manufatura, o sistema de gestão integrado WCM é capaz de estabelecer estratégias para a competitividade em diferentes mercados, estabelecendo vantagens competitivas de longo prazo.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

São importantes para a implantação das práticas da Indústria 4.0 (até 3 respostas):

- Compreensão organizacional e processual
- Flexibilidade
- Integração de indicadores
- Modelos de gestão complexos, direcionados para a resolução de problemas
- Processos sobrepostos
- Resiliência dos trabalhadores quanto às mudanças
- Nenhum dos anteriores

A disponibilidade de capital intelectual é necessária para desenvolver processos, geralmente criados de forma rápida e iterativa e para produzir resultados adaptáveis.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

Qual(is) conhecimentos, em diferentes sistemas de gestão integrados de manufatura, permite identificar tendências estratégicas no desenvolvimento de produtos com qualidade (até 3 respostas)?

- Value Stream Mapping* - VSM
- Kanban e 5S
- Plan, Do, Check, Action* - PDCA
- Seis Sigma
- Total Productive Maintenance* - TPM
- World Class Manufacturing* – WCM
- Nenhuma das anteriores

Qual(is) tecnologias aumentam a produtividade e estão orientadas para a estratégia adotada pelas organizações (até 3 respostas)?

- Big data*
- Internet of Things – IoT*
- Manufatura aditiva
- Monitoramento de chão de fábrica
- Nenhuma das anteriores

O uso das tecnologias depende de uma gestão de operações organizada e eficaz e exige disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos qualificados.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

O acesso, de todos os trabalhadores, aos programas de qualidade auxilia em maior agregação de valor, facilitando a resolução de problemas.

Sim Não

Qual(is) tecnologias propiciam ao sistema de gestão integrado WCM a transição das organizações para um modelo estratégico de criação e agregação de valor (até 3 respostas)?

- Big data*
- Internet of Things – IoT*
- Manufatura aditiva
- Monitoramento de chão de fábrica
- Nenhuma das anteriores

São utilizadas como estratégia de diferenciação na agregação de valor: desenvolvimento de tecnologias, implantação das práticas da Indústria 4.0 e a integração digital na manufatura.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

Qual(is) vetores auxiliam o sistema de gestão integrado WCM com as políticas estratégicas para a competitividade através da capacitação pelas práticas da Indústria 4.0, com modelos de gestão direcionados a diferentes tecnologias (até 3 respostas)?

- Gestão pela qualidade total e coleta contínua de dados
- Integração de recursos e áreas
- Reengenharia
- Automação de processos (*Robotic Process Automation* - RPA)
- Virtualização de processos
- Nenhuma das anteriores

2. Definições estratégicas da gestão de operações das organizações em relação ao sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0.

O desenvolvimento de práticas da qualidade de longo prazo e a flexibilidade para atender os clientes auxilia na quebra de barreiras operacionais.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

A dificuldade de implantar o sistema de gestão integrado WCM em fábricas de projetos, com alta variabilidade e produção sob demanda coloca em risco a gestão de operações integrada com as práticas da Indústria 4.0.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

Na empresa em qual trabalha, qual o nível de maturidade na gestão de operações em relação à implementação das práticas da Indústria 4.0?

- Muito bom: todos os processos estão interligados e monitorados de forma virtual
- Bom: os processos estão interligados e monitorados de forma virtual, com problemas pontuais
- Razoável: os processos estão interligados mas não são monitorados de forma virtual
- Ruim: poucos processos estão interligados e não são monitorados de forma virtual

Muito ruim: os processos não estão interligados

As estratégia e competências tecnológicas direcionam para processos sustentáveis e auxiliam na gestão das operações.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

As organizações que utilizam o sistema de gestão integrado WCM estão direcionadas para a agregação de valor.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

3. O sistema de gestão integrado WCM e as práticas da Indústria 4.0 influenciam nas mudanças dos conceitos organizacionais e produtivos.

Sistemas de produção digital facilitam a adaptabilidade dos processos, baseados no modelo de fluxo de valor para as práticas da Indústria 4.0.

Concordo totalmente Concordo Indiferente Discordo Discordo totalmente

Qual(is) método(s) das práticas da Indústria 4.0, impulsionados pelo envolvimento dos trabalhadores, incentivam a eficiência dos processos, resultando em aumento e melhoria da produtividade (até 3 respostas)?

Melhor aproveitamento de recursos e ferramentas

Maior eficiência operacional

Maior integração entre diferentes áreas

Mais segurança aos trabalhadores

Redução dos desperdícios

Nenhuma das anteriores

Os objetivos estratégicos para a manufatura estão direcionados para (até 3 respostas):

Desenvolvimento e integração de tecnologias

Integração de tecnologias

WCM

Nenhum dos anteriores

Bloco 4 – Considerações finais

A empresa deseja receber os resultados da pesquisa no final do estudo?

Sim Não

A empresa permite que seu nome seja incluído em futuras publicações, resultado deste estudo?

Sim Não

Comentários e sugestões: _____

APÊNDICE 2 – Carta de apresentação e questionário da pesquisa (inglês)**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Avenida Prof.º Almeida Prado, travessa 2, nº 128, CEP: 05508-900 - São Paulo/SP

Tel.: (11) 3091 – 5363 Fax.: (11) 3091 – 5399

Dear,

This survey is part of the research activities carried out by the Department of Production Engineering of Polytechnic School University of São Paulo - POLI / USP - Brazil.

Your input is extremely important as it will help to show what variables impact the management of operations and the performance of organizations, when considering the necessary adaptations in WCM for the transformations that Industry 4.0 practices proposes.

Researchers are subject and respect the university's code of ethics. All information collected here are confidential, and disclosure or access to the individual data from the reporting source is prohibited to individuals, legal entities, public or private agencies, or any other means.

The survey is divided into four parts, distributed as follows:

Block 1 - Interviewee characterization;

Block 2 - Company characterization;

Block 3 - Characterization of applied methods;

Block 4 - Final considerations.

We appreciate your participation in this survey, and we hope it will be of great value to your business.

Sincerely,

José Daniel Rodrigues Terra, Ph.D student in Production Engineering – POLI/USP - (daniel.terra@usp.br).

Fernando Tobal Berssaneti, Prof.º Dr. at Faculty of Production Engineering - POLI/USP – fernando.berssaneti@usp.br.

Block 1 – Interviewee characterization

Name: _____

Phone (country code + phone number): _____

E-mail: _____

Current position on the company: _____

Time on the company:

 Up to 2 years More than 2 up to 5 years More than 5 up to 10 years More than 10 years

Your company:

Know the WCM integrated management system? Yes NoApply the WCM integrated management system? Yes NoKnow the concept and tools of Industry 4.0 practices? Yes NoApply the Industry 4.0 practices concept and tools? Yes No**Block 2 – Company characterization**

Name of the company: _____

Country of the company: _____

Regarding the number of employees, the company or group to which the company belongs has:

 Until 100 employees More than 100 up to 500 employees More than 500 up to 1000 employees More than 1000 employees

Area of expertise: _____

About implementation WCM and Industry 4.0 practices integrated management system in your company:

Do employees receive training on the WCM integrated management system?

Yes

No

I am not sure about that

Is the company's strategic plan related to the WCM integrated management system?

Yes

No

I am not sure about that

Is the company's strategic plan relating to the Industry 4.0 practices concept?

Yes

No

I am not sure about that

Block 3 – Characterization of Applied methods

1. Relationship between the WCM integrated management system and Industry 4.0 practices.

The development of human and organizational skills allows us to explore new opportunities for innovation and technology enhancement, impacting on strategic management.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Through the use of technologies in manufacturing processes, the WCM integrated management system is able to establish strategies for competitiveness in different markets, establishing long-term competitive advantages.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Are important for the deployment of Industry 4.0 practices (up to 3):

- Organizational and procedural understanding.
- Flexibility.
- Integration of indicators.
- Complex problem-solving management models.
- Parallel processes.
- Employee resilience to change.
- None.

The availability of intellectual capital is needed to develop processes, often quickly and iteratively created and to produce adaptive results.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Which knowledge, among different manufacturing methods, allows to identify strategic trends in the development of quality products (up to 3)?

- Value Stream Mapping – VSM.
- Kanban e 5S.
- Plan, Do, Check, Action - PDCA.
- Six Sigma.
- Total Productive Maintenance – TPM.
- World Class Manufacturing – WCM.
- None.

Which technologies increase productivity and are oriented to the strategy adopted in your company (up to 3)?

- Big data.
- Internet of Things – IoT.
- Additive manufacturing.
- Factory floor monitoring.
- None.

The use of technologies depends on organized and effective operations management and requires the availability of qualified human and technological resources.

- Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Access by all employees to quality programs helps to add more value, facilitating problem solving.

- Yes No

WCM enables organizations to transition to a strategic model of value creation and aggregation, with the help of the following technologies (up to 3):

- Big data.
- Internet of Things – IoT.
- Additive manufacturing.
- Factory floor monitoring.
- None.

The company use as a differentiation strategy in value adding: technology development, Industry 4.0 practices deployment and digital integration in manufacturing:

- Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

In your company, which vectors help the WCM integrated management system with strategic policies, which focus on competitiveness and training with industry 4.0, through management models directed to different technologies (up to 3)?

- Total quality management and continuous data collection.
- Integration of resources and areas.
- Reengineering.
- Process automation (Robotic Process Automation - RPA).
- Process virtualization.
- None.

2. Strategic definitions of corporate operations management using the WCM integrated management system and Industry 4.0 practices.

Developing long-term quality practices and the flexibility to serve customers helps break down operational barriers.

- Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

The difficulty of deploying of WCM integrated management system in factories with high variability and on demand production puts at risk the integrated operations management with Industry 4.0 practices.

- Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

In your company, how mature is operations management in relation to the implementation of Industry 4.0 practices?

- Very good: all processes are virtually interconnected and monitored.
- Good: Processes are interconnected and monitored virtually, with occasional problems.
- Fair: Processes are interconnected but not monitored virtually.
- Bad: Few processes are interconnected and not monitored virtually.
- Too bad: processes are not interconnected.

Technology strategy and competencies drive sustainable processes and assist in operations management.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Organizations that use the WCM integrated management system are focused on value addition.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

3. The WCM integrated management system and Industry 4.0 practices influence changes in organizational and productive concepts.

Digital production systems facilitate process adaptability based on the value stream model for Industry 4.0 practices.

Strongly Agree Agree Indifferent Disagree Strongly disagree

Which methods Industry 4.0 practices, driven by employee involvement, encourage process efficiency, resulting in increased and improved productivity (up to 3)?

- Best use of resources and tools.
- Increased operational efficiency.
- Greater integration between different areas.
- More employee safety.
- Waste reduction.
- None.

The strategic objectives for manufacturing are directed to (up to 3):

- Technology development.
- Technology integration.
- WCM.
- None.

Block 4 – Final considerations

Does the company wish to receive the survey results at the end of the study?

Yes No

Does the company allow its name to be included in future publications, the result of this study?

Yes No

Comments and suggestions: _____

APÊNDICE 3 – Resultados da Análise Fatorial Exploratória

Teste Bartlett

k-quadrado: 248,86

graus de liberdade (df): 45

p-value: 5,08e-30

Teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

MSA geral = 0,79

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
0,77	0,78	0,76	0,85	0,86	0,87	0,34	0,69	0,79	0,68	0,89
0,74	0,78	0,77	0,87	0,85	0,89		0,74	0,83	0,72	0,90

Alpha de Cronbach

Menor: 0,77

Media: 0,82

Maior: 0,88

raw_alpha	std.alpha	G6 (smc)	average	S/N	Alpha se	mean	sd	median
0,82	0,82	0,83	0,32	4,6	0,03	1,40e-17	0,62	0,32

Variável	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average	S/N	Alpha se	var	median
V1	0,80	0,80	0,80	0,30	3,9	0,032	0,013	0,30
V2	0,80	0,80	0,81	0,31	4,0	0,031	0,015	0,33
V3	0,81	0,81	0,81	0,31	4,2	0,030	0,012	0,34
V4	0,81	0,81	0,82	0,32	4,2	0,030	0,014	0,33
V5	0,80	0,80	0,81	0,30	3,9	0,032	0,015	0,29
V6	0,80	0,80	0,81	0,31	4,0	0,032	0,015	0,29
V8	0,83	0,83	0,84	0,35	4,9	0,027	0,008	0,35
V9	0,80	0,80	0,81	0,31	4,1	0,031	0,016	0,33
V10	0,81	0,81	0,82	0,32	4,3	0,029	0,014	0,33
V11	0,80	0,80	0,82	0,31	4,1	0,031	0,016	0,29

Variância e covariância

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
V1	0,56	0,32	0,28	0,30	0,33	0,28	0,19	0,18	0,13	0,20
V2	0,32	0,70	0,16	0,19	0,29	0,36	0,19	0,20	0,38	0,19
V3	0,28	0,16	0,60	0,28	0,38	0,19	0,02	0,16	0,21	0,20
V4	0,30	0,19	0,28	0,63	0,28	0,26	0,07	0,20	0,14	0,19
V5	0,33	0,29	0,38	0,28	1,07	0,37	0,24	0,40	0,28	0,33
V6	0,28	0,36	0,19	0,26	0,37	0,82	0,14	0,30	0,37	0,25
V8	0,19	0,19	0,02	0,07	0,24	0,14	1,16	0,24	0,16	0,10
V9	0,18	0,20	0,16	0,20	0,40	0,30	0,24	0,75	0,37	0,30
V10	0,13	0,38	0,21	0,14	0,28	0,37	0,16	0,37	1,13	0,29
V11	0,20	0,19	0,20	0,19	0,33	0,25	0,10	0,30	0,29	0,61

Poder do teste

n = 91

delta = 0,31

sd = 0,62

sig.level = 0,05

power = 0,9184426

alternative = two sided

Correlação linear

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
V1	1,00	0,52	0,48	0,50	0,42	0,42	0,23	0,28	0,16	0,35
V2	0,52	1,00	0,25	0,29	0,34	0,47	0,22	0,28	0,42	0,29
V3	0,48	0,25	1,00	0,45	0,48	0,28	0,02	0,24	0,26	0,32
V4	0,50	0,29	0,45	1,00	0,35	0,36	0,08	0,30	0,17	0,31
V5	0,42	0,34	0,48	0,35	1,00	0,39	0,21	0,45	0,26	0,41
V6	0,42	0,47	0,28	0,36	0,39	1,00	0,14	0,38	0,38	0,35
V8	0,23	0,22	0,02	0,08	0,21	0,14	1,00	0,26	0,14	0,12
V9	0,28	0,28	0,24	0,30	0,45	0,38	0,26	1,00	0,40	0,44
V10	0,16	0,42	0,26	0,17	0,26	0,38	0,14	0,40	1,00	0,35
V11	0,35	0,29	0,32	0,31	0,41	0,35	0,12	0,44	0,35	1,00

Singularidade

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
0,26	0,33	0,01	0,57	0,55	0,55	0,71	0,39	0,45	0,62

Cargas fatoriais para as variáveis

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
Componente 1	0,75	0,46	0,30	0,53	0,29	0,40		0,11		0,24
Componente 2	0,12		0,18	0,30	0,43	0,35	0,15	0,70	0,35	0,50
Componente 3	0,25		0,93	0,25	0,33				0,14	0,15
Componente 4	0,14	0,62	0,12		0,16	0,40		0,20	0,64	0,21
Componente 5	0,27	0,26			0,23		0,50	0,26		

Estatística descritiva

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10	V11
Min.	-4,63	-2,75	-2,93	-2,88	-2,81	-3,56	-1,88	-3,72	-2,96	-4,22
1st Qu	-0,63	-0,35	-0,35	-0,36	-0,87	-0,24	-0,95	-0,25	-0,14	-0,38
Media	0,70	0,84	-0,35	-0,36	0,01	-0,24	-0,02	-0,25	-0,14	-0,38
Mean	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3rd Qu	0,70	0,84	0,93	0,90	1,06	0,86	0,91	0,90	0,80	0,90
Max.	0,70	0,84	0,93	0,90	1,06	0,86	1,84	0,90	0,80	0,90

Variância total: 8,03

Variância generalizada: 0,004

Autovetores

	Vt.1	Vt.2	Vt.3	Vt.4	Vt.5	Vt.6	Vt.8	Vt.9	Vt.10	Vt.11
Vt.1	-0,28	0,03	-0,28	0,35	-0,10	-0,10	0,23	-0,08	0,27	0,75
Vt.2	-0,31	0,00	0,12	0,49	-0,02	0,31	0,51	-0,33	-0,07	-0,43
Vt.3	-0,25	0,24	-0,24	-0,03	-0,50	-0,12	-0,18	0,14	0,58	-0,40
Vt.4	-0,25	0,17	-0,27	0,22	-0,10	-0,53	-0,29	-0,18	-0,60	-0,11
Vt.5	-0,43	0,08	-0,38	-0,47	-0,07	0,58	-0,06	-0,04	-0,28	0,10
Vt.6	-0,36	0,12	0,08	0,35	0,60	0,18	-0,46	0,33	0,14	-0,04
Vt.8	-0,24	-0,93	-0,09	0,05	-0,13	-0,07	-0,11	0,14	0,00	-0,08
Vt.9	-0,33	-0,07	0,09	-0,42	0,42	-0,34	0,05	-0,55	0,31	-0,06
Vt.10	-0,38	0,07	0,78	-0,09	-0,38	0,00	-0,16	0,02	-0,11	0,23
Vt.11	-0,27	0,10	0,01	-0,23	0,15	-0,32	0,57	0,63	-0,13	-0,08

Autovalores

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A8	A9	A10	A11
3,07	1,09	0,95	0,67	0,51	0,50	0,39	0,35	0,29	0,20

Percentual da variância

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A8	A9	A10	A11
38,25	13,54	11,89	8,41	6,41	6,18	4,90	4,41	3,59	2,43

Componentes Principais

	Autovalores	Variância (%)	Variância Acumulada (%)	Critério de Kaiser (A \geq 1)	Critério de variância acumulada (\geq 70%)
V1	3,07	39,31	39,31	V1	V1
V2	1,09	11,62	50,93	V2	V2
V3	0,95	9,68	60,61		V3
V4	0,67	9,00	69,61		V4
V5	0,51	6,57	76,18		V5
V6	0,50	6,03	82,21		
V8	0,39	5,90	88,11		
V9	0,35	4,81	92,92		
V10	0,29	4,15	97,07		
V11	0,20	2,98	100,00		

Significância das variáveis

Componente 1

Variável	Correlação	<i>p-value</i>
V1	0,72	1,26e-15
V5	0,71	5,57e-15
V6	0,68	6,99e-14
V2	0,66	9,64e-13
V9	0,64	7,26e-12
V11	0,64	8,62e-12
V4	0,62	3,60e-11
V3	0,62	4,10e-11
V10	0,55	1,21e-08
V8	0,32	1,78e-03

Componente 2

Variável	Correlação	<i>p-value</i>
V8	0,48	1,25e-06
V10	0,46	5,80e-06
V9	0,35	7,97e-04
V1	-0,31	2,42e-03
V4	-0,45	8,80e-06
V3	-0,50	5,07e-07

Componente 3

Variável	Correlação	<i>p-value</i>
V8	0,70	1,85e-14
V1	0,37	3,29e-04
V11	-0,31	2,42e-03
V10	-0,40	1,03e-04

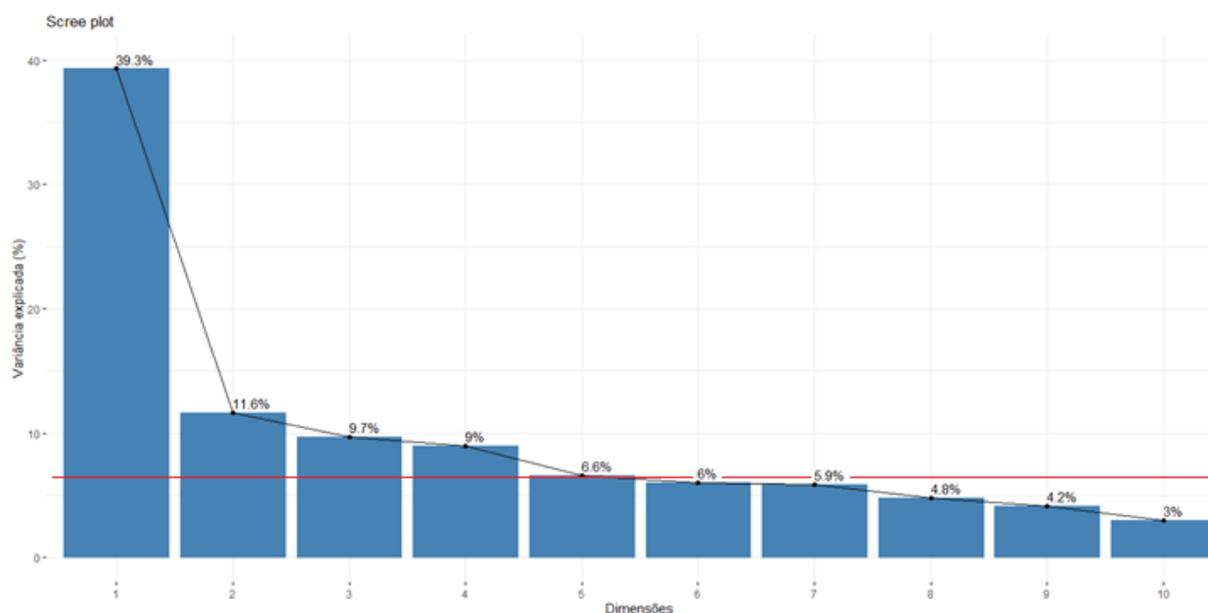
Componente 4

Variável	Correlação	<i>p-value</i>
V9	0,37	3,05e-04
V5	0,32	1,84e-03
V8	0,29	5,25e-03
V11	0,27	8,53e-03
V10	-0,26	1,38e-02
V6	-0,33	1,60e-03
V2	-0,54	3,93e-08

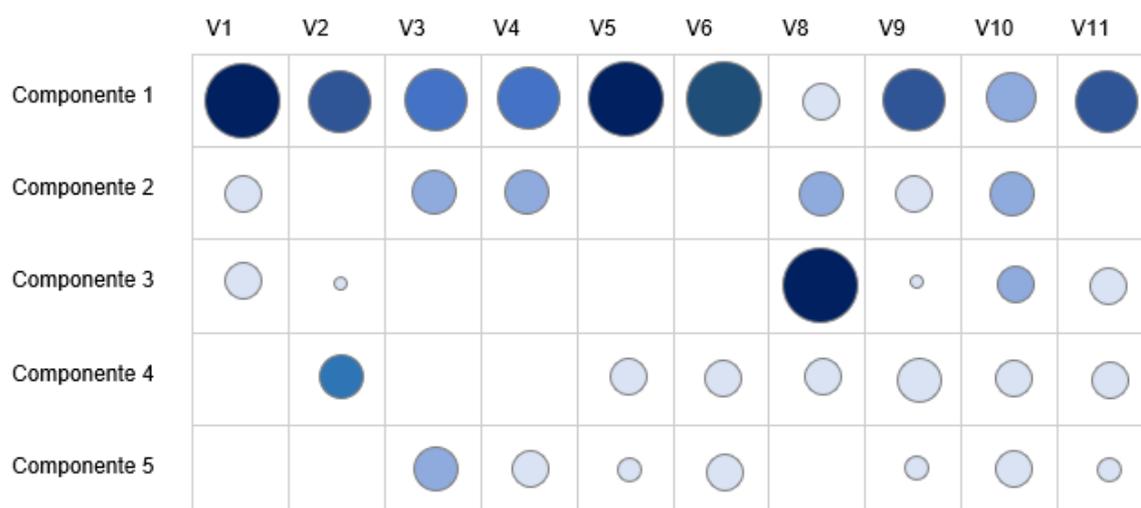
Componente 5

Variável	Correlação	<i>p-value</i>
V3	0,45	6,82e-06
V10	0,32	1,99e-03
V5	0,22	3,88e-02
V9	-0,21	4,83e-02
V11	-0,22	3,92e-02
V4	-0,30	3,29e-03
V6	-0,31	2,83e-03

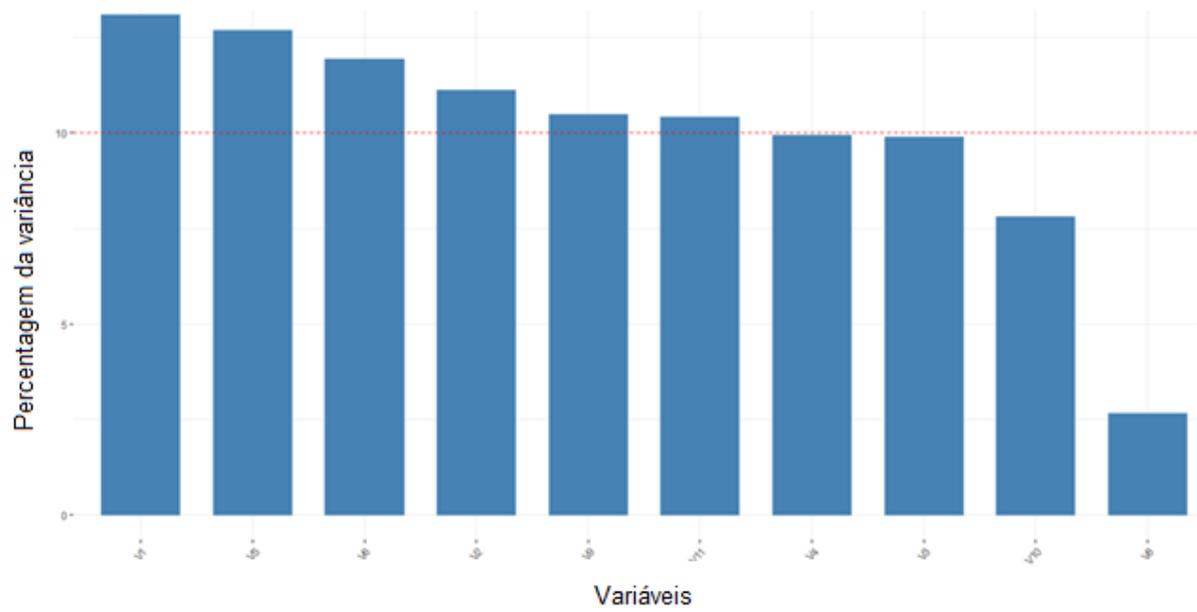
Teste Scree



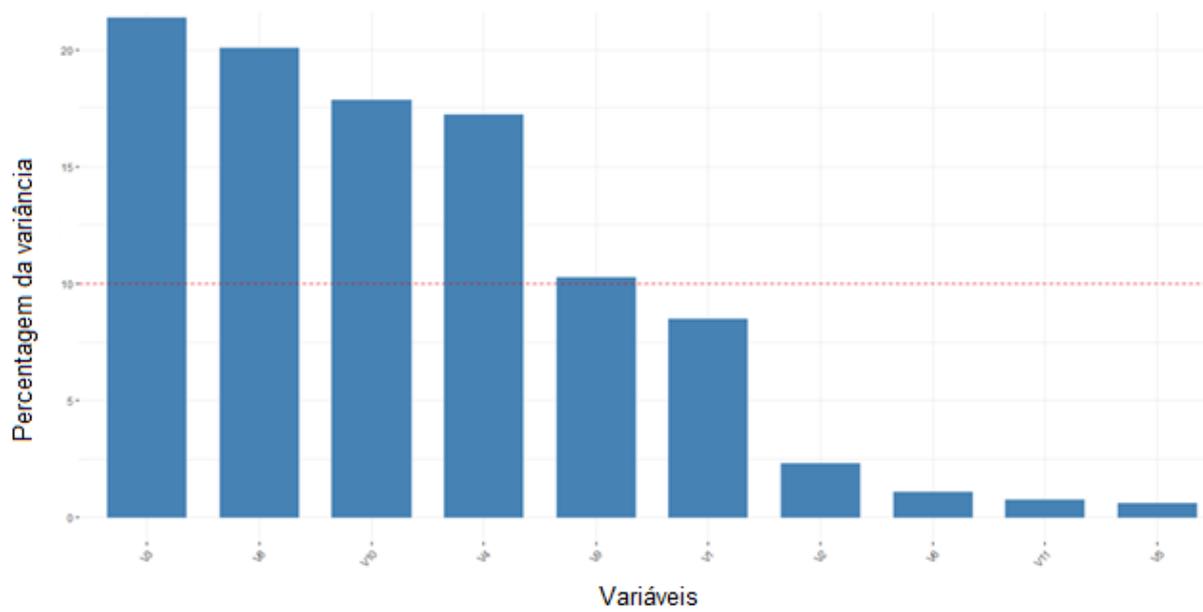
Contribuição das componentes



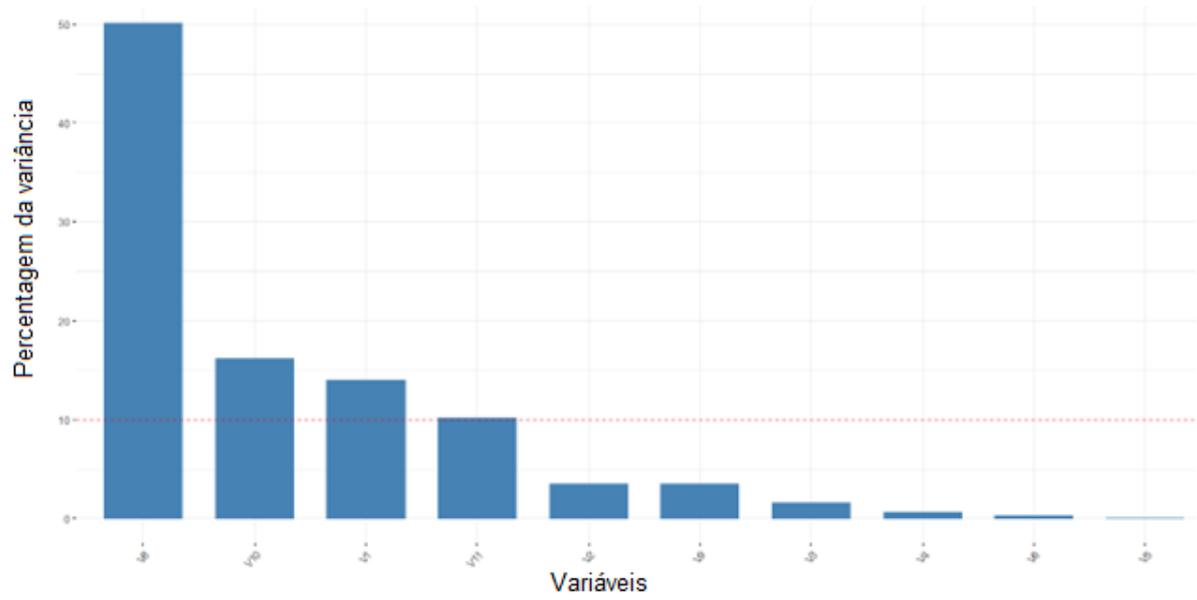
Componente 1



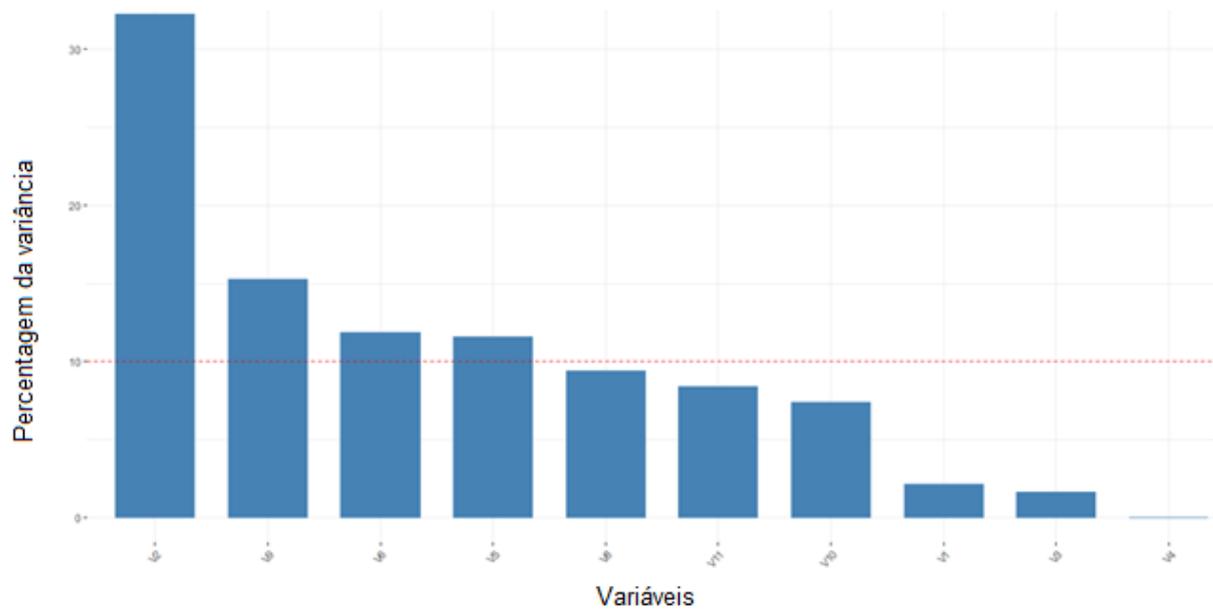
Componente 2



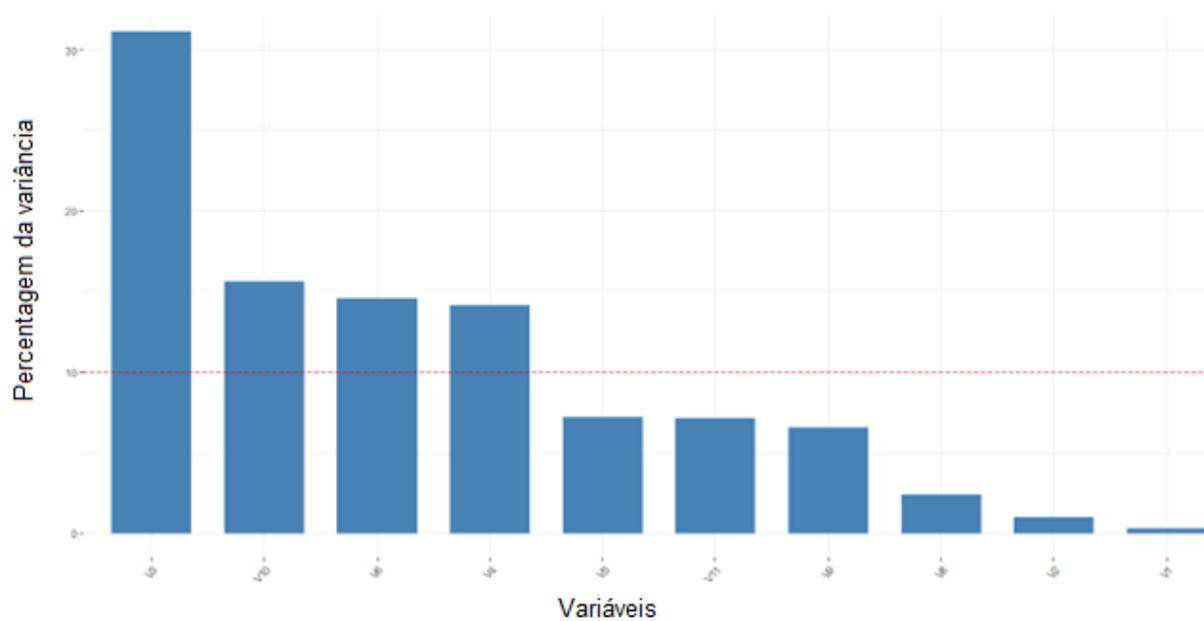
Componente 3



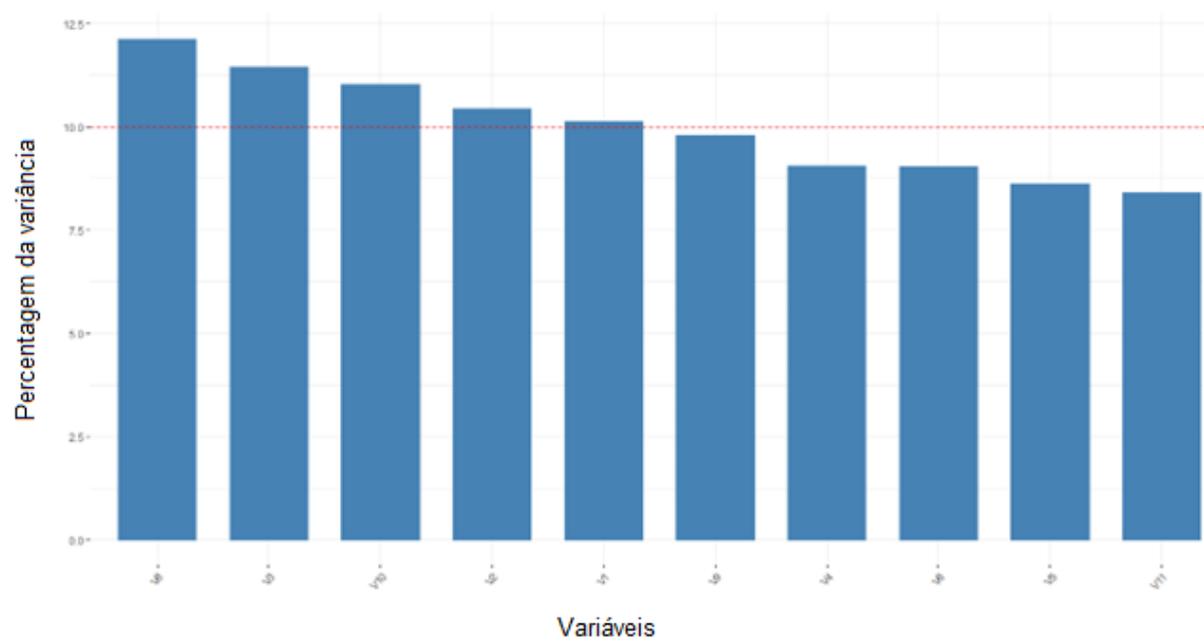
Componente 4



Componente 5



Contribuição unificada para as componentes de 1 a 5



APÊNDICE 4 – *Software R*

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing.

R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

URL: <https://www.R-project.org/>.

A BibTeX entry for LaTeX users is:

@Manual

{,title =

{R: A Language and Environment for Statistical Computing},

author = {{R Core Team}},

organization = {R Foundation for Statistical Computing},

address = {Vienna, Austria},

year = {2021},

url = {<https://www.R-project.org/>},

}