

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS  
NÍVEL MESTRADO**

**JOCIELI FRANCISCO DA SILVA**

**ANÁLISE DAS PRÁTICAS ADOTADAS NA GESTÃO DE PORTFÓLIO DOS  
PROJETOS DE DIGITALIZAÇÃO DAS EMPRESAS DE MANUFATURA DE  
GRANDE PORTE**

**São Leopoldo**

**2021**

JOCIELI FRANCISCO DA SILVA

**ANÁLISE DAS PRÁTICAS ADOTADAS NA GESTÃO DE PORTFÓLIO DOS  
PROJETOS DE DIGITALIZAÇÃO DAS EMPRESAS DE MANUFATURA DE  
GRANDE PORTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Débora Oliveira da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira da Rocha

São Leopoldo  
2021

S586a Silva, Jocieli Francisco da.  
Análise das práticas adotadas na gestão de portfólio dos projetos de digitalização das empresas de manufatura de grande porte / por Jocieli Francisco da Silva. – 2021.  
184 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2021.  
Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Débora Oliveira da Silva.  
Coorientador: Dr. Luiz Alberto Oliveira da Rocha.

1. Indústria 4.0. 2. Digitalização. 3. Gestão de portfólio.  
4. Gestão de projetos. 5. Inovação. I. Título.

CDU: 658.5.011.8

JOCIELI FRANCISCO DA SILVA

**GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS DA INDÚSTRIA 4.0 NAS  
EMPRESAS DE MANUFATURA DE GRANDE PORTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

**BANCA EXAMINADORA**

---

Mario Sérgio Salerno – Universidade de São Paulo - USP

---

Daniel Pacheco Lacerda – Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

---

José Antônio Valle Antunes Júnior– Universidade do Vale do Rio dos Sinos -  
UNISINOS

## **AGRADECIMENTOS À CAPES**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que me concedeu sabedoria e resiliência para chegar até aqui. Ele me ensinou que a jornada é dura, que as dificuldades são grandes, mas que todo o esforço um dia valerá a pena.

Gostaria de agradecer a minha família que está sempre me apoiando. Especialmente ao meu avô e meu tio (in memória) que eu tenho certeza que, onde quer que estejam, me amam e se orgulham desta conquista. Nossa vida nunca foi fácil, mas nem por isso desistimos. Ter o suporte da minha família e ouvir que se orgulham das minhas conquistas me ajuda a querer e tentar chegar cada dia mais longe. O céu é o nosso limite.

Quero agradecer especialmente a minha mãe, uma figura de força, coragem e amor. Tua vida nunca foi fácil, mas nem por isso tu perdeste o riso e o amor à vida, para mim será sempre o maior exemplo e o amor da minha vida. Gratidão especial também a minha irmã, que é meu porto seguro. Contigo divido alegrias, memes, medos, projetos de vida e somente tu me compreendes e não me julgas. Teus olhos brilham pelas minhas vitórias iguais aos meus brilham de orgulho de ti. Te amo minha preta!

Quero agradecer aos meus mestres, professores que são meus exemplos. Vocês me ensinaram a pensar, refletir e ver as coisas pelo ângulo que poucos enxergam. Tenho muita gratidão por tudo que aprendi com vocês. Aos meus orientadores, um agradecimento especial. Obrigada por toda paciência e compreensão no desenvolvimento das atividades. Com vocês aprendi a ser humana antes de ser engenheira. Gratidão por terem cruzado o meu caminho.

Gostaria de agradecer aos meus amigos, especialmente a minha amiga Flávia que foi meu suporte durante o curso. Com você dividi momentos muito alegres, mas dividi inúmeros problemas e medos. Você estava sempre presente, com as palavras mais confortantes e o abraço mais aconchegante. Na tua amizade sempre encontrei conforto e confiança para seguir firme nos meus projetos. Muito obrigada por tudo, nossa amizade será eterna.

Por fim, gostaria de agradecer a empresa Alpha e todos os seus colaboradores, que dispuseram de seu tempo para contribuir com essa pesquisa.

A Todos, MUITO OBRIGADA!!!!

## RESUMO

A indústria 4.0 vem impulsionando mudanças significativas nos modelos de negócios, permitindo às organizações aumentarem o grau de inovação de suas operações e se tornarem mais competitivas. O termo indústria 4.0 surgiu no ano de 2012 e é considerado um tema emergente e em desenvolvimento. Diante disso, conduzir projetos neste contexto é considerado um desafio, uma vez que, há um nível de incerteza muito alto em relação a estes projetos. A literatura caracteriza projetos desta natureza como projetos de inovação, em virtude da semelhança de suas características. Esta pesquisa teve como objetivo compreender como é gerenciado o portfólio de projetos de indústria 4.0 em uma empresa de manufatura de grande porte, que possui iniciativas consolidadas em relação a estes projetos. Utilizado a metodologia do estudo de caso, buscou-se identificar como a empresa conduz os projetos da indústria 4.0, quais as ferramentas utilizadas na etapa de seleção de ideias, orçamentação, alocação de recursos e balanceamento do portfólio, como estes projetos de indústria 4.0 convergem com a estratégia da empresa e qual o impacto destes projetos no portfólio da organização. Além disso, o estudo identificou os principais desafios inerentes a estes projetos. Os resultados que emergiram do caso foram comparados à literatura existente sobre gestão de portfólio de projetos de inovação. Os resultados apontam que não há divisão do portfólio de projetos por categorias, divergindo do que preconiza a literatura. Em relação as ferramentas, são utilizadas as mesmas ferramentas para avaliar projetos com características distintas e prevalece a utilização dos indicadores financeiros para a seleção dos projetos, mesmo que a literatura sugira que em projetos de inovação devam ser utilizadas ferramentas mais flexíveis. Os achados apontam que não há balanceamento de portfólio na empresa, contrariamente o que sugere a literatura. No que tange aos desafios enfrentados por estes projetos, eles convergem com a literatura e foram classificados como: desafios tecnológicos, desafios financeiros, alteração de competências dos colaboradores e desafios culturais.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Digitalização. Gestão de Portfólio. Gestão de Projetos. Inovação.

## ABSTRACT

Industry 4.0 has been driving significant changes in business models, allowing organizations to increase the degree of innovation in their operations and become more competitive. The term industry 4.0 appeared in 2012 and is considered an emerging and developing theme. Therefore, conducting projects in this context is considered a challenge, since there is a very high level of uncertainty in relation to these projects. The literature characterizes projects of this nature as innovation projects, due to the similarity of their characteristics. This research aimed to understand how the portfolio of industry 4.0 projects is managed in a large manufacturing company, which has consolidated initiatives in relation to these projects. Through the technique of the case study, we sought to identify how the company conducts the projects of industry 4.0, which tools are used in the stage of selecting ideas, budgeting, resource allocation and portfolio balancing, as these projects of industry 4.0 converge with the company's strategy and what is the impact of these projects on the organization's portfolio. In addition, the study identified the main challenges inherent in these projects. The results that emerged from the case were compared to the existing literature on portfolio management of innovation projects. The results show that there is no division of the project portfolio by categories, diverging from what the literature recommends. Regarding tools, the same tools are used to evaluate projects with different characteristics and the use of financial tools for project selection prevails, even though the literature suggests that more flexible tools should be used in innovation projects. The findings indicate that there is no portfolio balance in the company, contrary to what the literature suggests. Regarding the challenges faced by these projects, they converge with the literature and were classified as: technological challenges, financial challenges, changes in the skills of employees and cultural challenges.

**Key-words:** Industry 4.0. Digitalization. Portfolio Management. Portfolio Management. Project management. Innovation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos Projetos .....	20
Figura 2: Classificação dos Projetos .....	38
Figura 3: Modelo Diamante .....	40
Figura 4: Exemplo de Gráfico de Bolha.....	45
Figura 5: Matriz BCG.....	46
Figura 6: <i>Roadmap</i> de Fabricante de Misturadores e Agitadores .....	47
Figura 7: Processo de Planejamento de Portfólio .....	48
Figura 8: Semáforo.....	49
Figura 9: Matriz de Posição Tecnológica .....	49
Figura 10: Matriz de Atributos .....	50
Figura 11: Ciclo de Vida .....	51
Figura 12: Lista de Incertezas .....	51
Figura 13: Relação Cenário vs. Retorno .....	52
Figura 14: Framework dos Baldes Estratégicos .....	53
Figura 15: Gráfico de Oportunidade e Sucesso .....	54
Figura 16: Seção da Ferramenta Proposta pelos Autores .....	56
Figura 17: Pipeline de Inovação .....	57
Figura 18: Árvore de Decisão Binária.....	58
Figura 19: O Método DeBK .....	62
Figura 20: Modelo de <i>Stage Gate</i> .....	64
Figura 21: Método ECV .....	69
Figura 22: Lista de Classificação Dinâmica Ordenada.....	70
Figura 23: Diagrama de Bolhas 3M.....	71
Figura 24: Modelo de Pontuação .....	72
Figura 25: Método Proposto para Seleção de Ferramenta de Acordo com Grau de Inovação.....	74
Figura 26: Métodos para Gestão de Portfólio de Inovação .....	75
Figura 27– Etapas do <i>Design Thinking</i> .....	77
Figura 28: A Lógica da Cebola .....	84
Figura 29: Etapas para Condução do Estudo de Caso .....	86
Figura 30: Método de Trabalho .....	88
Figura 31: Processo de Seleção dos Artigos.....	90

Figura 32: Organograma da Empresa.....	99
Figura 33: Processo de Gerenciamento de Projetos na Empresa Alpha .....	107
Figura 34: Categoria de Projetos da Empresa Alpha .....	120
Figura 35: Desafios dos Projetos das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 na Empresa Alpha.....	128

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Intenção de Investimento das Empresas que não Utilizam Tecnologias Digitais .....	19
Gráfico 2: Número de Publicações por Ano .....	22
Gráfico 3: Fatores que Afetaram as Decisões de Investir .....	25

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0.....	31
Quadro 2: Quadro Conceitual.....	80
Quadro 3: Resultados Pesquisa <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i> .....	89
Quadro 4: Roteiro de Coleta de Dados .....	93
Quadro 5: Perfil dos Especialistas que Validaram o Roteiro de Coleta de Dados.....	94
Quadro 6: Perfil dos Entrevistados.....	98
Quadro 7: Síntese dos Resultados.....	131

## LISTA DE SIGLAS

3DP	Impressão Tridimensional
AHP	Análise Hierárquica de Processo
AI	Inteligência Artificial
AU	Realidade Aumentada
AV	Realidade Virtual
BCG	Boston Consulting Group
BSC	Balanced ScoreCard
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CSP	Sistema Cyber Físico
DT	Design Thinking
ECV	Valor Comercial Esperado
EMPRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
FDM	Modelagem de Deposição por Fusão
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IIoT	Internet das Coisas Industrial
IJP	Impressão a Jato de Tinta
IoS	Internet dos Serviços
IoT	Internet das Coisas
LENS	Modelagem Líquida Projetada a Laser
LOM	Fabricação de Objetos Laminados
PPM	Portfolio Project Management
ROI	Retorno sobre o Investimento
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	21
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>21</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>21</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	21
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	26
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>28</b>
2.1 INDÚSTRIA 4.0 .....	28
<b>2.1.1 Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0</b> .....	<b>30</b>
2.2 DEFINIÇÕES INICIAIS: PROJETO E PORTFÓLIO DE PROJETOS DE INOVAÇÃO .....	37
2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS PARA GERENCIAR PROJETOS DE INOVAÇÃO .....	41
<b>2.3.1 Ferramentas e Métodos Financeiros</b> .....	<b>42</b>
<b>2.3.2 Ferramentas e Métodos Probabilísticos</b> .....	<b>43</b>
<b>2.3.3 Ferramentas e Métodos Estratégicos</b> .....	<b>44</b>
<b>2.3.4 Diagramas e Gráficos</b> .....	<b>44</b>
<b>2.3.5 Modelos Combinados</b> .....	<b>47</b>
2.3.5.1 O Framework dos "Baldes" Estratégicos.....	47
2.3.5.2 O formulário de avaliação de Paulson, O' Connor e Robeson (2007).....	54
2.3.5.3 A proposta de arquitetura de Mathews (2010) .....	56
2.3.5.4 O modelo proposto por Oliveira et al. (2014).....	60
2.3.5.5 O Modelo de Stage Gate.....	64
2.3.5.6 O modelo de gerenciamento de portfólio de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a, 1997b, 1999, 2000, 2001) .....	67
2.3.5.7 Modelo de gestão de gestão de portfólio de inovação de Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019) .....	73
2.3.5.8 <i>Design Thinking (DT)</i> .....	76
2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	78
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>84</b>

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	84
3.2 MÉTODO DE TRABALHO .....	87
3.3 SELEÇÃO DO CASO .....	91
3.3 COLETA DE DADOS .....	95
3.4 ANÁLISE DE DADOS.....	96
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>98</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ALPHA .....	98
<b>4.2.1 Definição de Industria 4.0 e Conexão com a Estratégia da Empresa .....</b>	<b>102</b>
<b>4.2.2 Surgimento das Ideias e Seleção dos Projetos .....</b>	<b>104</b>
<b>4.2.3 Alocação de Recursos e Orçamentos .....</b>	<b>111</b>
<b>4.2.4 Ferramentas Utilizadas .....</b>	<b>116</b>
<b>4.2.5 Balanceamento do Portfólio .....</b>	<b>120</b>
<b>4.2.6 Desafios Enfrentados pelos Projetos de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 .....</b>	<b>122</b>
4.3 SINTESE DO CAPÍTULO.....	128
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>133</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE A – ARTIGO SUBMETIDO.....</b>	<b>149</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Inovação é um processo de geração de valor alcançado por meio de uma mudança, gerada através da criação de uma ideia. A inovação tem duas características: ter um certo grau de novidade ou de mudança e garantia de utilidade ou sucesso na aplicação da ideia. (GRANSTRAND; HOLGERSSON, 2020). Desde o século passado a inovação vem sendo reconhecida como um critério competitivo para as organizações. Empresas do mundo todo reconhecem a importância da inovação para alavancar a competitividade e o crescimento econômico. (SILVA, 2016).

Nas últimas décadas, a inovação tem sido reconhecida como um dos principais pilares para aumentar a competitividade e o crescimento das empresas. (BAGNO; SALERNO; DIAS, 2017). Há dois tipos de inovação: inovações incrementais, que são menos arriscadas e oferecem recursos a curto prazo e inovações radicais, que usualmente são de alto risco e oferecem retorno no horizonte de prazo mais distante. (COOPER; SOMMER, 2020; HUVAJ; JOHNSON, 2019). A maioria das empresas persegue projetos de inovação incremental e radical simultaneamente, este pacote de projetos é conhecido como portfólio de projetos da empresa. (HUVAJ; JOHNSON, 2019).

Portfólio de projetos é um conjunto de projetos que são realizados e gerenciados com os mesmos recursos da organização. Esses projetos competem entre si por recursos escassos como: pessoas, orçamentos, tempo, uma vez que, geralmente não há recursos suficientes para realizar todos os projetos desejados pela organização. (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). A gestão do portfólio de projetos tem como objetivo traduzir a estratégia de inovação em decisões de investimento em projetos específicos. (HUVAJ; JOHNSON, 2019). É um processo dinâmico, envolvendo a reconsideração contínua dos projetos ativos do negócio e a realocação de recursos para: adequar prioridades de inovação em evolução, avaliar novos projetos que devem se adequar às prioridades da carteira e decidir se os projetos existentes devem ser estendidos, acelerados ou eliminados. (COOPER; SOMMER, 2020).

O portfólio da organização usualmente possui projetos de diferentes níveis (investimentos em desenvolvimento, melhoria de desempenho, etc). Como resultado desta variedade de projetos, a tomada de decisão, a seleção, a determinação de prioridades e a alocação pontual de recursos financeiros para os projetos podem ter

efeitos significativamente diferentes no desempenho da organização. (BORJY *et al.*, 2019).

As empresas adotaram estruturas de gerenciamento de portfólio de projetos, incluindo o uso de critérios de avaliação e decisão de projetos, rotinas de avaliação e controle de projetos e outros meios para formalizar seu gerenciamento de portfólio de projetos. (MARTINSUO, 2013). Os gerentes ajustam rotineiramente os portfólios de projetos de suas empresas para manter uma combinação adequada de inovações incrementais e radicais, alinhadas com seus objetivos estratégicos e circunstâncias ambientais. (HUVAJ; JOHNSON, 2019). A falta de um portfólio de projetos adequado, com projetos que garantam a inovação, pode levar à redução da competitividade da organização e de sua participação no mercado. (BORJY *et al.*, 2019).

Segundo Felice, Petrillo e Zomparelli (2018), pesquisas indicam que a digitalização de processos é o principal caminho para permitir que as empresas aumentem seu grau de inovação. A digitalização é uma forma de impulsionar a inovação, através da mudança em quase todos os segmentos industriais. A força disruptiva da digitalização transformou inúmeras indústrias como varejo (Amazon), mídia e entretenimento (Netflix, Spotify) e turismo (AirBnB), nas quais os produtos foram transformados e os mercados remodelados por soluções digitais. Essa transformação se estende ainda para negócios e processos produtivos, nos quais há uma mudança digital acontecendo, que é comumente chamada de indústria 4.0. (ECHTERFELD; GAUSMEIER, 2018).

O termo indústria 4.0 surgiu na Alemanha, no ano de 2011, e vem sendo chamada de quarta revolução industrial. (LASI *et al.*, 2014). Trata-se da integração de tecnologias digitais aos processos produtivos para permitir maior flexibilidade, adaptabilidade e aumento da eficiência da empresa, além de permitir a integração de clientes e parceiros do negócio. (MARQUES *et al.*, 2017). Nos últimos anos o conceito de indústria 4.0 tem sido tema de discursos em eventos de países do mundo todo e por indústrias globais de todos os setores. (SCHNEIDER, 2018). A indústria 4.0 representa a inserção das tecnologias de automação na indústria de fabricação, principalmente as tecnologias habilitadoras, como os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem. (L. XU; D. XU; LI, 2018). Essa integração de sistemas cibernéticos aos processos produtivos, permite a criação de produtos personalizados de forma mais rápida e eficiente. (FALLER; FELDMÜLLER, 2015).

Na indústria 4.0 os sistemas são inteligentes, com base na conectividade e a principal ideia é incorporar o autogerenciamento. Os equipamentos de produção se transformam em sistemas de produção cibernéticos, existindo uma gama de sensores conectados, com capacidade de tomada de decisão autônoma. (ALMADA-LOBO, 2015). O objetivo da indústria 4.0 é tornar a fábrica um sistema digital e inteligente, no qual a fabricação é liderada pelas informações, de forma personalizada, flexível e eficiente. (K. ZHOU; LIU; T. ZHOU, 2015). Há centenas de tecnologias habilitadoras que integram o contexto da indústria 4.0, porém as mais citadas na literatura são: a) os sistemas *cyber-physical* (CPS); b) *big data* (BD); c) internet das coisas (IoT); e d) computação em nuvem. (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019).

Segundo Marques *et al.* (2017), as empresas identificam uma gama de oportunidades em relação à adoção de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, a saber: aumento da competitividade, facilidade nas adaptações de novos produtos, redução de riscos e falhas, qualificação de mão de obra e serviços de tecnologia. Por outro lado, há também uma série de desafios e necessidades que devem ser superados para execução destes projetos. Entre eles estão os desafios técnicos para implementação, a padronização dos sistemas, a segurança da informação e proteção da privacidade dos dados. (L. XU; E. XU; LI, 2018).

No contexto da decisão estratégica, os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 são um desafio para as empresas, especialmente em relação à capacidade financeira. Projetos desta natureza são projetos com alto grau de investimento e alto índice de incerteza, além de serem projetos com dificuldades de mensuração de retorno. (ERBAY; YILDIRIM, 2018). Outro desafio para os projetos de tecnologia habilitadoras da indústria 4.0 é a maturidade do setor de tecnologia de informação, pois existe a necessidade de garantir a segurança e manutenção de sigilo dos dados e dos processos produtivos das organizações. Ao mesmo tempo, é necessário haver facilidade e rapidez no acesso aos dados. (VERMULM *et al.*, 2018). Além disso, há a necessidade de mão de obra capacitada para operar em um ambiente flexível, adaptável e ainda sem todas as especificações definidas. Ainda assim, acredita-se que a transição das empresas para o contexto indústria 4.0 possa ser positiva, superando os custos adicionais, especialmente para as organizações de classe mundial que possuem mão de obra e apoio para o desenvolvimento destes projetos. (GHOBAKHLOO, 2018).

## 1.1 TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

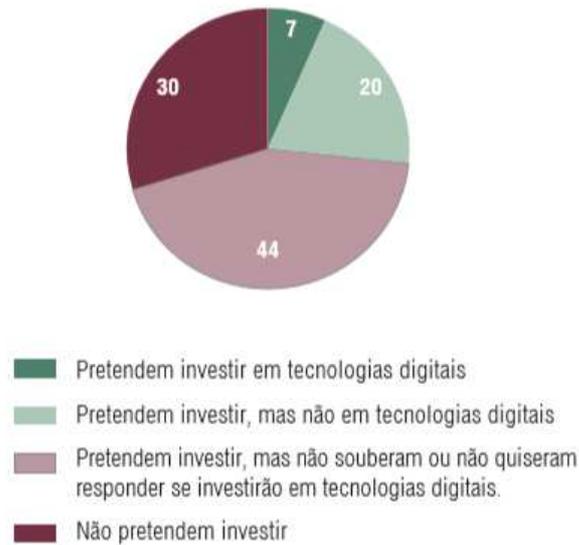
As inovações tecnológicas e as mudanças no ambiente empresarial afetam o desempenho e a sustentabilidade da empresa. Em um ambiente tecnológico, como é o caso da indústria 4.0, as direções geralmente são incertas, fazendo com que as empresas tenham que desenvolver um plano estratégico abrangente e detalhado, buscando garantir o maior índice possível de sucesso na condução dos projetos desta natureza. (GHOBAKHLOO, 2018).

Projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 trazem inovação e podem ajudar as empresas a se tornarem mais competitivas. A Confederação Nacional das Indústrias (CNI) (2018) do Brasil realizou um levantamento sobre a perspectiva de as empresas brasileiras investirem em projetos desta natureza. Entre as grandes empresas industriais, os resultados apontam para um crescimento significativo no percentual de empresas que possuem projetos para investimentos em tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, passando de 63% em 2016 para 73% em 2018.

Os investimentos nos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 estão frequentemente associados às empresas que já utilizam alguma destas tecnologias. Por outro lado, há organizações que não possuem nenhuma tecnologia habilitadora da indústria 4.0 e declaram não pretender investir nesse campo. O Gráfico 1 apresenta os dados referentes às empresas que não possuem experiência com tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Verifica-se que apenas 7% delas têm interesse em investir em projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, enquanto, que 30% não tem interesse em investir nos projetos desta natureza. (CNI, 2018). Esses dados sugerem que deve haver dificuldades para gerenciar estes projetos, uma vez que, apontam que as organizações que possuem tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 percebem benefícios e, portanto, têm interesse em ampliar os investimentos nestes projetos. As empresas que não possuem projetos desta natureza não parecem seguras em iniciar o processo.

### Gráfico 1: Intenção de Investimento das Empresas que não Utilizam Tecnologias Digitais

Percentual (%) de empresas que não utilizam tecnologias digitais\*



Fonte: CNI (2018, p. 18).

Apesar do crescente interesse pelo tema indústria 4.0, tanto no campo empresarial como no campo acadêmico, pouca atenção tem sido dada ao assunto em termos de discussão da sua influência na competitividade das organizações. Há um vasto campo de oportunidades e desafios relevantes a serem explorados em relação aos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e, dentro deste contexto, não estão bem definidas quais as oportunidade e desafios são percebidos pelas empresas na gestão destes projetos. (MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018).

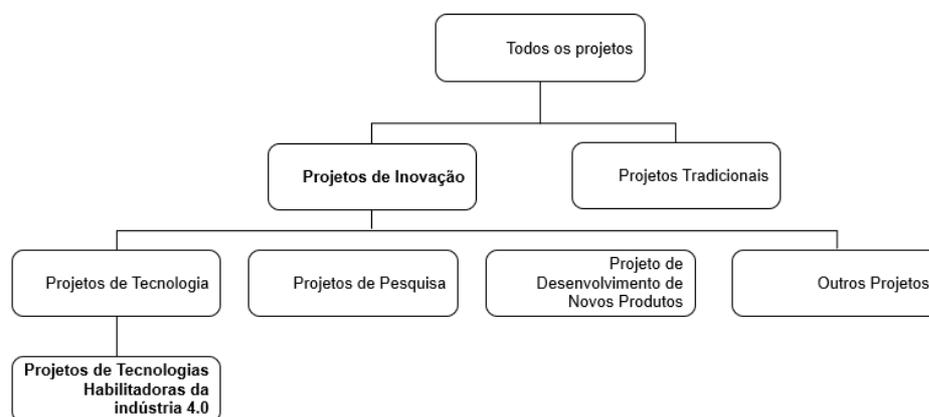
No Brasil há muitas oportunidades de melhoria para as organizações com a implantação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, porém são necessárias, primeiramente, ações para transpor as barreiras e evoluir em termos de inovação tecnológica. Nesse sentido, há alguns incentivos legais, como as chamadas Lei de Inovação, Lei do Bem e o Código de Ciência e tecnologia, mas ambos ainda sem resultados significativos. (SALERNO, 2017). O Brasil terá que realizar avanços no campo da tecnologia e financiamentos para conseguir dar suporte às necessidades empresariais nos projetos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. As principais barreiras que devem ser superadas pelo país para haver a difusão destes projetos são: a) reduzir a dificuldade dos empresários em adquirir recursos, b) propor mecanismos para criar novos recursos para subvenções econômica e financiamento

não reembolsável, c) promover a formação de recursos humanos qualificados e também d) apoiar a criação de empresas e startups de base tecnológica. (VERMULM *et al.*, 2018).

As organizações reconhecem as vantagens das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, porém sabe-se que falta uma abordagem sistemática para avaliar a situação atual das organizações e verificar se elas estão aptas a conduzirem os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. (GHOBAKHLOO, 2018). Os modelos conceituais existentes para seleção de projetos não oferecem suporte para a inclusão de todos os fatores a serem considerados no ambiente de tomada de decisão, as oportunidades e ameaças associadas a estes projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 não são claramente identificadas e incorporadas nos cálculos de risco. (HAMZEH *et al.*, 2018).

Como as empresas precisam de um fluxo contínuo de inovação para sobreviver, precisam estabelecer um processo de tomada de decisão para gerenciar seus projetos de inovação. (RÖTH; SPIETH; LANGE, 2019). Os projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, demandam altos investimentos, são complexos e envoltos em muitas incertezas e não há definições claras quanto aos objetivos e os resultados. (FILIPOV; MOOI, 2010). Porém estes projetos são necessários para aumentar a competitividade sustentada das empresas brasileiras. (CNI, 2020). A Figura 1 foi adaptada do modelo proposto por Filipov e Mooi (2010) e apresenta a posição dos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 dentro da classificação geral dos projetos de uma empresa.

Figura 1: Classificação dos Projetos



Fonte: Adpatado de Filipov e Mooi (2010)

Considerando este contexto surge então a questão de pesquisa deste trabalho:  
*Como é gerenciado o portfólio dos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 nas empresas de manufatura de grande porte?*

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos, geral e específicos, desse trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Identificar se há um portfólio de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e como é gerenciado este portfólio nas empresas de manufatura de grande porte.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos, que foram respondidos ao longo da pesquisa, foram definidos em:

- a) Verificar quais os métodos e ferramentas descritos na literatura para conduzir os portfólios de projetos de inovação, uma vez que, os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 se enquadram na categoria de inovação;
- b) Verificar como é gerenciado o portfólio de projetos de tecnologias habilitadoras da 4.0 em grandes organizações, através de um estudo de caso;
- c) comparar os achados empíricos com os existentes na literatura, identificando lacunas e oportunidades de melhoria;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

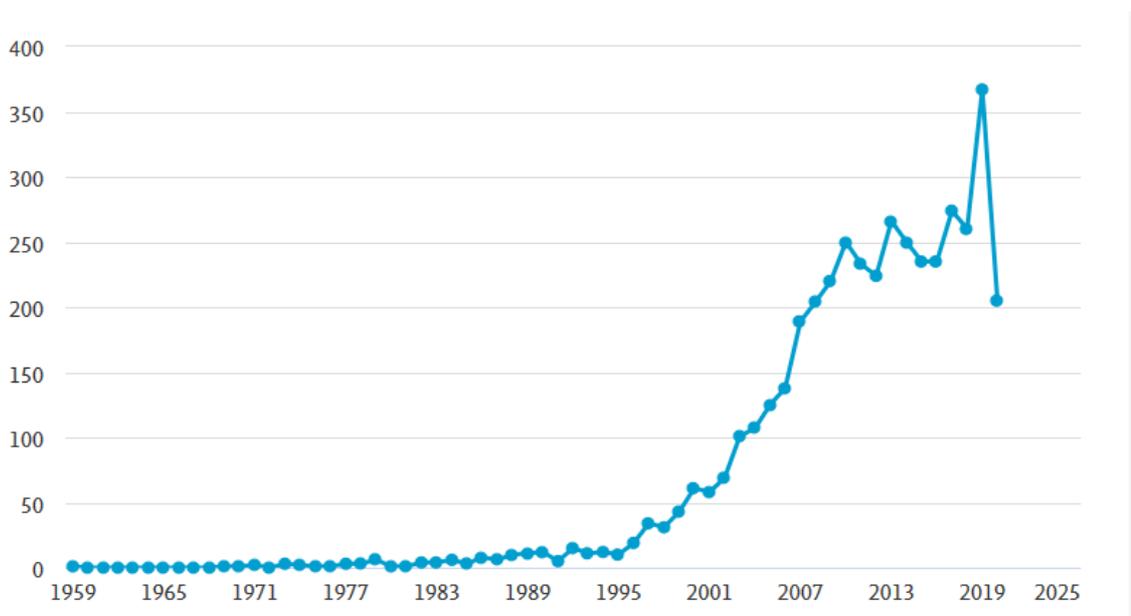
Esta seção aborda as justificativas que fundamentam o estudo. Elas são divididas em dois contextos distintos: justificativa acadêmica e justificativa gerencial.

O primeiro trata da justificativa acadêmica, fornecendo uma visão geral de como o assunto vem sendo abordado no contexto acadêmico.

No processo de transição das organizações para a indústria 4.0 um dos fatores de sucesso mais cruciais é selecionar o portfólio de projetos que melhor se encaixa nos objetivos da organização. A incerteza relacionada aos projetos, a prioridade entre eles, as várias relações de interdependências, as dificuldades na eletividade dos critérios de avaliação de projetos e as diferentes perspectivas dos tomadores de decisão são alguns dos fatores que tornam a seleção de portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 consideravelmente complicada. (KESKIN, 2020).

O gerenciamento de portfólio tem atraído atenção na literatura nos últimos anos. Estudos relacionados à expressão de busca "portfolio management", na base de dados Scopus, representam mais de 4mil documentos e um crescente interesse no tema nos últimos 10 anos, 2.549 documentos foram publicados de 2011 a 2020. O Gráfico 2 apresenta o número de publicações retornados na pesquisa. Há um declive no gráfico, que representa o ano de 2021. Esta redução no número de publicações ocorre em virtude de ser o ano que a pesquisa está ocorrendo e por conta disso há apenas os dados do mês de janeiro e fevereiro sendo contabilizados.

Gráfico 2: Número de Publicações por Ano



Fonte: Scopus (2020)

Apesar do crescente interesse em pesquisas sobre gerenciamento de portfólio, a literatura apresenta pouca discussão em relação ao gerenciamento de portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Uma pesquisa simples na base de dados da *Scopus*, utilizando a expressão de busca "portfolio management" AND "industry 4.0" retorna apenas 3 resultados e na *Web of Science* apenas 1 documento. Alterando-se a expressão de busca para "project portfolio" AND "industry 4.0" retornam apenas 3 documentos na base *Scopus*, sendo apenas 1 documento diferente dos retornados na pesquisa anterior.

Os resultados destes estudos existentes apontam que as melhores práticas relativas ao gerenciamento de portfólio de projetos devem ser reestruturadas para esse contexto de indústria 4.0. O foco deve ser ajustado e abranger aspectos da organização, do processo e do gerenciamento de conhecimento. Em muitas empresas, o número de projetos, a heterogeneidade entre eles, a necessidade de diferentes habilidades dentro e fora da empresa aumentam a complexidade no gerenciamento dos recursos e dos dados. (BIBAUD-ALVES *et al.*, 2018). Há falta de entendimento de quais projetos e programas da indústria 4.0 são catalisadores de mudanças estratégicas. Alinhar projetos ou programas de indústria 4.0, com objetivos estratégicos, tem o maior potencial de agregar valor a uma organização. O desalinhamento dos projetos com a estratégia da organização acarreta problemas como: dificuldades na seleção dos projetos, perda de tempo, dinheiro e oportunidade, produtividade reduzida, desmotivação de indivíduos e equipes, conflitos internos e o fracasso do projeto. (DIAZ *et al.*, 2020).

Keskin (2020) afirma que o gerenciamento de portfólio de projetos da indústria 4.0 é essencial para as organizações. A escolha dos projetos certos garante o sucesso do processo de implementação da indústria 4.0 nas organizações. As empresas devem projetar suas ações na jornada de indústria 4.0, considerando as dimensões organizacional, financeira, técnica, relacionada a riscos e produtividade em consonância com seus objetivos estratégicos. (KESKIN, 2020).

Considerando que projetos de tecnologia, como os de indústria 4.0, tem características comuns aos projetos de inovação, entre elas o alto grau de incerteza, (FILIPOV; MOOI, 2010) foi realizado um levantamento da literatura para identificar quais as ferramentas e métodos utilizados na gestão dos portfólios de inovação. Esta revisão teve como objetivo identificar se as ferramentas e métodos utilizadas na gestão de portfólio de inovação são também utilizadas na gestão do portfólio de

projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e assim contribuir para a literatura sobre gerenciamento de portfólio de projetos de indústria 4.0, uma área que ainda carece de pesquisas.

A importância da inovação é reconhecida também pela área gerencial. Uma pesquisa realizada pela confederação nacional das indústrias (CNI), com mais de 400 empresas brasileiras de médio e grande porte, apontou que 83% delas afirmam que precisarão de mais inovação para sobreviver no pós-pandemia corona vírus. Os entrevistados destacam que a inovação será o ponto chave para acelerar a retomada das atividades e o crescimento econômico brasileiro. Entre os setores prioritários para recebimento dos investimentos em inovação estão a linha de produção e a área de vendas. (CNI, 2020).

O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2018) desenvolveu, em 2017, o plano de políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil, no qual aponta as vantagens oriundas de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e também algumas dificuldades que precisam ser superadas para o desenvolvimento destes projetos, entre elas: a) dificuldades na obtenção de empréstimos bancários, b) baixa difusão tecnológica nas empresas, c) falta de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias, d) falta de mão de obra qualificada para a tecnologia, e) falta de apoio governamental para atrair empreendedores tecnológicos, f) falta de incentivo financeiro para aportes de tecnologia e g) aquisição de ativos tecnológicos. Percebe-se que há muitas ações para serem realizadas no cenário nacional para que se tenha condições de avançar com projetos dessa natureza, especialmente em relação aos aspectos tecnológicos e financeiros. (VERMULM *et al.*, 2018).

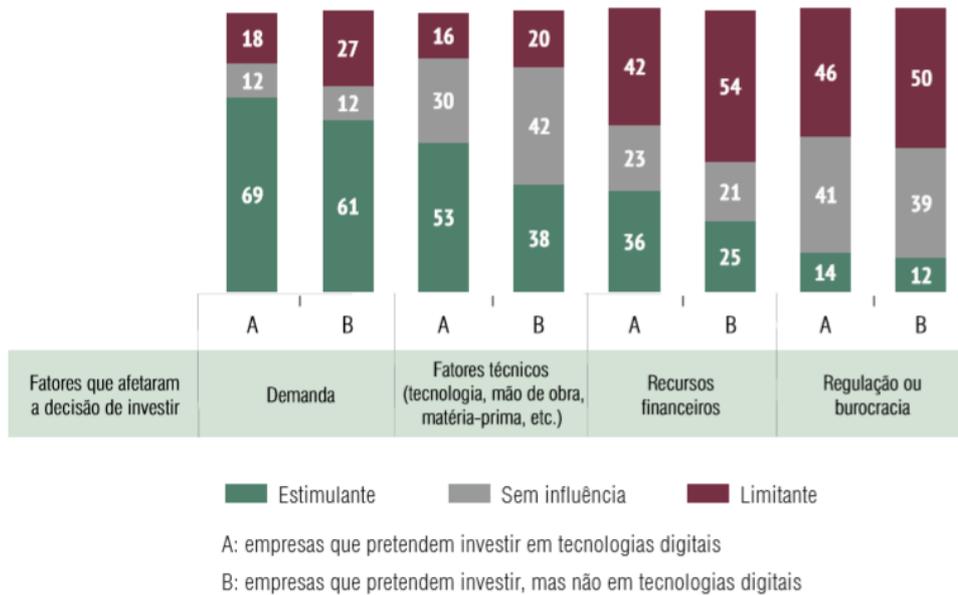
A Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) está desenvolvendo parcerias com outros países para levantar verbas e tecnologias que permitam o desenvolvimento dos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 no Brasil, uma vez que, estes projetos são decisivos para o desenvolvimento econômico do Brasil, alavancando a competitividade do país e reduzindo a defasagem do Brasil em relação ao mundo. (EMBRAPII, 2019).

Em 2018, a CNI realizou um estudo com as empresas brasileiras buscando elencar quais os fatores que afetam as decisões de investimento em projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Apesar do crescente interesse pela indústria 4.0 e o incentivo de alguns órgãos brasileiros, a pesquisa revelou que apenas 1,6%

da indústria nacional está no caminho da digitalização, (CNI, 2018). Esse estudo classificou as empresas em dois tipos: as empresas que pretendem investir em tecnologias da indústria 4.0 e as que não pretendem. O Gráfico 3 apresenta os resultados encontrados.

**Gráfico 3: Fatores que Afetaram as Decisões de Investir**

Comparação entre as empresas que pretendem (A) e não pretendem (B) investir em tecnologias digitais  
Percentual de respostas (%) das empresas que planejam investir em 2018



Fonte: CNI (2018, p. 24).

Para as empresas que pretendem investir em projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, a expectativa de aumento da demanda é o fator que estimula de forma mais significativa o investimento (69%). Os fatores técnicos, como mão de obra, tecnologias necessárias, matéria-prima, entre outros, também são considerados um fator positivo (61%). Ao passo que, os recursos financeiros (36%) e burocracia (14%) existentes contam como fatores limitantes para o investimento. (CNI, 2018).

Há uma falta de entendimento sobre os projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 nas empresas. As empresas estão preocupadas em conduzir projetos desta natureza em razão dos altos investimentos, da necessidade de uma força de trabalho de alta qualidade, da falta de padrões de tecnologias de base e da falta de conhecimento dos benefícios reais. Portanto, os pesquisadores precisam desenvolver pesquisas para entender as estruturas que suportam o processo de tomada de decisão em relação a estes projetos em cenários reais. (KIPPER *et al.*, 2019).

Os estudos realizados mostram que há barreiras a serem superadas pelas empresas brasileiras para a condução dos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, especialmente no que tange aos recursos financeiros e tecnológicos. Por outro lado, as organizações precisam se tornar mais competitivas. Acredita-se que as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem ajudar a alavancar a competitividade das organizações, porém não se sabe como as empresas estão conduzindo o portfólio de projetos desta categoria.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho aborda o gerenciamento de portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 em empresas de manufatura de grande porte. Segundo o Sebrae (2013) empresas de grande porte são as que possuem 500 ou mais empregados. Foram selecionadas empresas de grande porte porque segundo a pesquisa da CNI (2018) este era o segmento que possuía mais iniciativas de projetos de indústria 4.0.

O estudo de caso foi realizado em uma única empresa, subsidiária de um multinacional alemã, atuante no ramo industrial e fabricante de cilindros e motores. Foi estudado o portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, apenas da área de manufatura/operações desta empresa. O portfólio de projetos das demais áreas da organização não foi avaliado. Foram entrevistadas pessoas do nível estratégico e tático vinculadas à área de manufatura. Não foram ouvidos profissionais de nível operacional.

O estudo observou todas as fases da gestão de portfólio de projetos. Iniciando pela geração da ideia, depois a seleção da ideia, posteriormente a alocação dos recursos e investimentos, a processo de seleção e priorização dos projetos para implantação e a finalizando com os aspectos relacionados ao balanceamento do portfólio. O estudo não tratará de aspectos relativos às competências dos profissionais envolvidos nesses projetos.

Os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 foram classificados como projetos de inovação, por terem características semelhantes a estes como altos investimentos e alto grau de incerteza. Diante disso, os métodos, ferramentas e modelos identificados na literatura e confrontados no estudo de caso são os utilizados para abordar o portfólio de projetos de inovação.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em cinco capítulos: introdução, revisão da literatura, metodologia, resultados, e discussões e conclusões. O capítulo 1 trata da introdução. Integram este capítulo o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas, as delimitações e a estrutura do trabalho, trazendo toda a contextualização em relação ao estudo.

No capítulo 2 explora-se o que há de mais relevante na literatura em relação aos temas abordados neste estudo, trazendo os principais termos e conceitos definidos e o que há de consolidado na literatura .

Na sequência, compondo o capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos selecionados para a condução do estudo. Trata-se da revisão sistemática da literatura e do estudo de caso e estes derivaram-se dos objetivos da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e as discussões do estudo. Nesta seção os resultados oriundos do estudo de caso realizado são comparados e discutidos com os resultados existentes na literatura.

Finalmente, evidenciando uma síntese dos resultados obtidos, as limitações do estudo e as direções de pesquisa futura identificadas, são apresentadas no capítulo 5. Na sequência estão as referências utilizadas para embasamento do trabalho e os apêndices.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo aborda os temas que nortearam a realização desta pesquisa. Inicia-se pela seção 2.1 na qual são apresentadas as principais definições dos conceitos de indústria 4.0, um dos temas do trabalho. A subseção 2.1.1 apresenta as definições das principais tecnologias habilitadoras que integram a indústria 4.0. A seção 2.2 aborda a definição de portfólio de projetos de inovação, a seção 2.3 traz a apresentação das ferramentas e métodos mais utilizados na gestão do portfólio dos projetos de inovação, categoria no qual se enquadram os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. A seção 2.4 traz as considerações sobre o referencial teórico apresentado.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

Na evolução histórica dos sistemas de produção, seus parâmetros de medição sempre foram produtividade, custo e qualidade, avaliados de forma integrada. A primeira revolução industrial centrou-se na produtividade e eficiência da fabricação como os principais eixos do desenvolvimento. Através da melhoria da produtividade, foi movendo-se do trabalho manual para a produção mecânica. A segunda revolução industrial trouxe a introdução da eletricidade, gerando valores significativos de melhoria na produtividade. A terceira revolução industrial produziu um salto significativo, combinando sistemas de tecnologia e automação de TI, melhorando assim a eficiência do trabalho e aumentando a produtividade. A continuação da melhoria da produtividade e a flexibilidade dos sistemas de manufatura, garantida pela integração das tecnologias digitais aos processos produtivos, é o resultado da quarta revolução Industrial, chamada de indústria 4.0. (TÜRKEŞ *et al.*, 2019)

O termo indústria 4.0 surgiu em 2011, na Feira de Hanover, na Alemanha (Sanders *et al.*, 2016), e tem como objetivo integrar as tecnologias digitais aos processos produtivos, auxiliando na melhoria da produção e do gerenciamento das empresas. (FALLER; FELDMÜLLER, 2015). A Indústria 4.0 refere-se ao paradigma da automatização dos sistemas industriais (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019) permitindo o alcance de flexibilidade, produtividade, qualidade e gerenciamento, possibilitando assim novas estratégias de negócios industriais. (SACOMANO *et al.* 2018).

No ambiente da indústria 4.0, os sistemas estão conectados, são automatizados, inteligentes e se autoconfiguram, aumentando a eficiência e o desempenho da organização. (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019). Neste ambiente, a linha de produção é controlada remotamente e deve ser criada primeiramente em um ambiente virtual, para minimizar o máximo de erros no momento da implantação. O cliente tem acesso on-line ao status de todas as fases de produção do seu pedido e, por conta da flexibilidade da linha, ele pode solicitar customizações do produto mesmo em fase de processamento. Além disso, o sistema pode solicitar manutenções e emitir avisos aos envolvidos no processo a qualquer momento. (SACOMANO *et al.* 2018).

No contexto da indústria 4.0 um novo e valioso recurso surge: os dados. Esse recurso torna-se valioso pela capacidade de rastreabilidade, previsibilidade e principalmente por ser aparentemente inesgotável. Diferente de outros recursos críticos, os dados não diminuem pela sua utilização e os estoques tendem a aumentar. (KLINGENBERG, BORGES, ANTUNES JR., 2019). Contudo, os dados por si só não têm capacidade de gerar grandes informações. Para isso, eles precisam ser bem coletados, analisados e utilizados no suporte à tomada de decisão. Eles devem ser tratados para oferecerem informações confiáveis, gerando uma vantagem competitiva visível através da sua conexão ao sistema de produção. (SACOMANO *et al.*, 2018).

Esta transformação refere-se às tendências para a digitalização dos ambientes de fabricação que leva à automatização de processos e, também, transporta os sistemas de negócio para um próximo nível, introduzindo o uso inteligente de máquinas interconectadas através do uso de tecnologias, como: sensores inteligentes para obter dados confiáveis para análise, tecnologia de robótica para substituir o trabalho em tarefas perigosas como operações precisas, análise de dados para verificar o que está acontecendo e o que provavelmente acontecerá, computação em nuvem para armazenamento mais rápido, compartilhado e confiável, processamento de imagem para executar as operações com maior nível de qualidade em um ambiente digitalizado, inteligência artificial para apoiar o trabalho e tornar os robôs mais autônomos, impressão 3D para encurtar o tempo para o mercado e várias tecnologias de ponta com benefícios muito numerosos. (ERBAY; YILDIRIM, 2018)

Os indutores chave da indústria 4.0 são representados pelas tecnologias. Crescimento exponencial de empresas como Uber e Air BnB tem ocorrido graças à tecnologia. Governos como do Reino Unido, Alemanha, China e outros já lançaram

programas de revolução para alcançar esse paradigma de digitalização. Empresas da indústria como a General Electric (GE), Siemens, ABB e Intel estão mudando sua estratégia de gestão e de produção para incorporar a indústria 4.0. As vantagens esperadas pela digitalização são diferentes de país para país. Empresas do Japão e da Alemanha estão implementando a digitalização para aumentar sua eficiência e qualidade do produto. Enquanto nos Estados Unidos, a tendência é usar a tecnologia para desenvolver novos modelos de negócios com ofertas digitais e serviços, de modo que possam fornecer esses produtos e serviços digitalmente e com mais velocidade. Já as empresas de manufatura da China concentram-se na digitalização como uma estratégia para ganhar dos concorrentes internacionais reduzindo custos. (TÜRKEŞ *et. al.*, 2019).

Para que estes requisitos sejam possíveis são associadas tecnologias à manufatura. As tecnologias que permitem esta configuração de sistema são numerosas e estão em evolução. Sua aplicação e configuração variam de acordo com o contexto em que são inseridas. (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019). A seção seguinte faz um levantamento das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 mais utilizadas na manufatura e suas definições.

### **2.1.1 Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0**

Segundo Klingenberg, Borges e Antunes Jr. (2019) existem 111 tecnologias digitais, que podem ser classificadas em 4 grupos distintos: geração e captura de dados, transmissão de dados, condicionamento, armazenamento e processamento de dados e aplicação dos dados, porém apenas cinco delas são citadas na literatura com mais frequência: os sistemas cyber físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Big Data, Big Data Analytics e computação em nuvem.

Para Felice, Petrillo e Zomparelli, (2018) entre todas as tecnologias digitais elencadas por Klingenberg, Borges e Antunes Jr. (2019), as mais utilizadas no contexto da indústria 4.0 são: os sistemas cyber físicos (CPS), Big Data, Internet das coisas (IoT), automação, manufatura aditiva, computação em nuvem e simulação. Já Sacomano *et al.* (2018) elencam 15 tecnologias diferentes e as classificam em 3 categorias: elementos bases ou fundamentais, elementos estruturantes e elementos complementares.

Os elementos bases ou fundamentais representam a base tecnológica que apoia a estrutura da indústria 4.0. Enquadram-se neste grupo os sistemas cyber físicos, a internet das coisas e a internet de serviços. Os elementos estruturantes compõem-se das tecnologias que permitem as aplicações dos conceitos da indústria 4.0 e dão suporte a ela. São pertencentes a este grupo a automação, comunicação máquina a máquina (M2M), inteligência artificial, big data analytics, computação em nuvem, integração de sistemas, segurança cibernética e eles estão presentes em várias aplicações. E os elementos complementares são os que ampliam as possibilidades de avanço das empresas no cenário da indústria 4.0, mas não necessariamente tornam-na 4.0 apenas por seu uso; incluem-se aqui os acessórios Qrcode, etiquetas de RFID, realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e manufatura aditiva. (SACOMANO *et al.* 2018). O quadro 1 foi adaptado de Sacomano *et al.* (2018) e apresenta a distribuição das tecnologias mencionadas.

Quadro 1: Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0

Indústria 4.0							
Elementos Complementares	Etiquetas de RFID	QR Code	Realidade Aumentada (RA)		Realidade Virtual (RV)		Manufatura Aditiva
Elementos Estruturantes	Automação	Comunicação Máquina a Máquina (M2M)	Inteligência Artificial (AI)	Análise de Big Data	Computação em Nuvem	Integração de Sistemas	Segurança Cibernética
Elementos Base ou Fundamentais	Internet das Coisas (IoT)			Sistemas Ciber Físicos (CPS)		Internet dos Serviços (IoS)	

Fonte: Adaptado de Sacomano *et al.* (2018).

Big data e Big data Analytics são comumente confundidos pela maioria dos usuários, pois Big data refere-se a um grande volume de dados desestruturados e Big Data Analytics, aborda a análise realizada de uma grande quantidade de dados gerados por fontes distintas. O termo analytics consiste em usar alguma ferramenta para encontrar padrões e extrair informações relevantes do conjunto de dados. Big Data por si só, sem analytics, não tem utilidade. (KLINGENBERG; BORGES; ANTUNES JR., 2019).

Sistemas cyber físicos (CPS) são tecnologias associadas aos recursos físicos e computacionais capazes de interagir com os seres humanos. (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). Essa capacidade adquirida de integrar os sistemas e expandir os resultados

do mundo físico através de tecnologias computacionais é um facilitador para maior disponibilidade e acessibilidade de dados e informações. (BAHETI; GILL, 2011). O uso desta tecnologia de sensores associados às máquinas e conectadas à rede resulta na geração de um alto volume de dados, conhecido como Big Data. Como resultado disso, o sistema cyber físico pode gerenciar os dados coletados e utilizá-los como informação para gerenciar os sistemas, tornando as máquinas inteligentes e auto adaptáveis e aumentando o potencial econômico. Ele transforma fábricas tradicionais em fábricas inteligentes, as conhecidas indústrias 4.0. O sistema cyber físico consiste em dois componentes principais: a conectividade avançada, que garante a aquisição de dados do mundo físico e informações feedback do espaço cibernético em tempo real e o gerenciamento inteligente de dados, responsável pela análise computacional que constrói o espaço cibernético. (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Big Data analytics refere-se a um grande volume de dados complexos e desvinculados vindos de várias fontes autônomas. (WU *et al.*, 2013). Trata-se de conjuntos de dados que não podem ser adquiridos, armazenados e gerenciados por softwares comuns de bancos de dados. (CHEN; LIU, 2014). Devido ao rápido desenvolvimento de redes capaz de coletar e armazenar uma grande quantidade de dados, o Big Data tem se expandido nas diversas áreas de conhecimento da ciência e da engenharia, porém um dos desafios mais significativos desta ferramenta é explorar esse volume de dados e extrair informações ou conhecimentos úteis para tomada de decisão. (WU *et al.*, 2013).

O Big Data pode ser caracterizado em quatro vetores: volume, variedade, velocidade e valor. Volume refere-se à quantidade de dados gerados, armazenados e processados das diversas fontes e o benefício deste está na capacidade de criação de informações ocultas para análise posterior. A variedade trata dos diferentes tipos de dados, estruturados e não estruturados, coletados de diversos sensores, plataformas, smartphones ou redes sociais. Estes dados incluem textos, imagens, registros, vídeos e a maioria é gerada pelos aplicativos móveis e pelos usuários da internet. A velocidade caracteriza a rapidez na transferência dos dados, de modo que possa acompanhar as mudanças existentes. Já o valor é o aspecto mais importante e refere-se ao processo de descobrir os valores ocultos nestes imensos conjuntos de dados oriundos de diversas fontes e em diferentes formatos. (HASHIM *et al.*, 2015).

A Internet das coisas (IoT) ou Internet Industrial das Coisas (IIoT) é uma das tecnologias mais utilizadas e uma premissa básica para a implementação da Indústria 4.0, por ser o ponto-chave da transformação, ela trata da vinculação de objetos à Internet. IoT é responsável por conectar pessoas, máquinas, produtos e serviços agilizando o fluxo de informações do processo, permitindo a tomada de decisão em tempo real e abrindo novas oportunidades de utilização nos mais diversos segmentos. (A. SHARMA; GUPTA; A. SHARMA, 2017).

Como a IoT suporta todos os tipos de novas tecnologias de informação ela é capaz de obter informações continuamente de diferentes sensores e objetos, encaminhá-las com segurança e confiabilidade para os datacenters alocados na nuvem e atualizar os parâmetros dos sensores do circuito ao qual está integrada. Deste modo, em um sistema com infraestruturas flexíveis que tenham capacidade de realizar troca eficaz de informações, a IoT é capaz de detectar falhas e acionar as manutenções. (Wan *et al.*, 2016).

Internet de Serviços (IoS) trata da criação de novos serviços por meio da internet ou ainda internamente pela empresa. Quando o cliente acessa um site para compra de determinado item e esse não está disponível nas características que deseja, o site cria um alerta e fica monitorando a internet por um período de tempo até que encontre o produto desejado e então avisa ao cliente. Este é um entre muitos outros serviços existentes e que podem ser criados no campo de atuação da IoS. (SACOMANO *et al.*, 2018).

Computação em nuvem é um modelo que permite o acesso universal a uma rede compartilhada de recursos, onde estão conectados vários recursos configurados como: redes, servidores, aplicativos que podem ser rapidamente supridos e liberados com o mínimo de interação do provedor de serviços. (BOTTA, 2016). Devido à necessidade de armazenar, processar e analisar grandes quantidades de dados as organizações estão adotando ainda mais a tecnologia de computação em nuvem. O fato é que inúmeras vezes as organizações não possuem infraestrutura para sua implantação e encontram barreiras tecnológicas e econômicas. Neste caso, as organizações devem se concentrar em seu negócio principal e contratar empresas que possuam infraestrutura, flexibilidade e disponibilidade de recursos para fornecer esse serviço. (HASHEM *et al.*, 2015).

Manufatura aditiva trata-se de um processo de criação de produtos de modelo 3D, a partir da união de materiais. Ele normalmente ocorre pela adição de camadas,

em oposição as metodologias de fabricação mais usuais caracterizadas pela remoção de material. A manufatura aditiva pode ser utilizada para todas as classes de materiais desde metais, cerâmica, polímeros, compósitos e até sistemas biológicos. (FRAZIER, 2014). Essa metodologia auxilia na melhoria e otimização dos produtos, mas é limitada a certos mercados que tem volume baixo e produção personalizada (LEE *et al.*, 2013).

Para Huang. *et al.* (2013) a fabricação pelo processo de manufatura aditiva é resultado de três etapas: i) a criação de um modelo 3D computadorizado e convertido em formato padrão, ii) o arquivo é enviado para a máquina, com a tecnologia de manufatura aditiva, onde será produzido e iii) a peça é construída camada após camada neste equipamento. Para a consolidação desse processo são utilizadas maneiras distintas. Alguns processos utilizam energia térmica de elétrons e feixes de luz e outros usam jatos de tinta para impressão. Os principais processos de manufatura aditiva são: a) Fabricação de objetos laminados (LOM), b) Impressão a jato de tinta (IJP), c) Modelagem de deposição por fusão (FDM), d) Modelagem líquida projetada a laser (LENS), e) Estereolitografia (SLA), f) Sinterização seletiva a laser (SLS) e g) Impressão tridimensional (3DP).

Simulação pode ser definida como uma representação simplificada de determinada operação do mundo real em um período de tempo estabelecido. (GOIENETXEA URIARTE; NG; URENDA MORIS, 2018). A simulação é uma técnica com um enorme potencial de utilização, pois permite a construção de modelos detalhados que fornecem um bom entendimento e análise do sistema. (ZÚÑIGA; MORIS; SYBERFELDT, 2017). A simulação é uma ferramenta exploratória de apoio à decisão. Baseada em experimentos, construção de cenários e entendimento do comportamento das variáveis (AZEVEDO *et al.*, 2010). Existem diferentes técnicas de simulação com objetivos de melhorar os processos e todas com aplicações diferentes. Alguns exemplos de técnicas para melhoria dos processos são: programação linear, dinâmica de sistemas, simulação de Monte Carlo, simulação por eventos discretos e outras abordagens. (ZÚÑIGA; MORIS; SYBERFELDT, 2017). No mundo da tomada de decisão a simulação por eventos discretos é a mais usual e permite ao gerenciador de decisão criar cenários hipotéticos e variados para testar soluções antes de sua real implementação. (GOIENETXEA URIARTE; NG; URENDA MORIS, 2018).

Inteligência artificial (AI) é o ramo da ciência da computação responsável por desenvolver softwares e máquinas com inteligência comparável à do ser humano.

(SALEHI; BURGUEÑO, 2018). Ela busca implementar o aprendizado nos sistemas, através de algoritmos matemáticos ou computacionais (HALL, 2001). Os objetivos da inteligência artificial são encontrar novos métodos capazes de extrair informações úteis usando sensores, desenvolver técnicas para construção, extração e retenção de informações em determinada base, desenvolver algoritmos capazes de utilizar informações para tomada de decisão e elaborar componentes capazes de atender as necessidades de um sistema integrado (HALL, 2001).

A incorporação de inteligência artificial às máquinas e computadores é facilitada pela quantidade de dados online e a computação de baixo custo. Além disso, é uma técnica que não tem restrição de áreas e há evidências de sua utilização para auxílio na tomada de decisão em organizações de saúde, manufatura, educação, financeira e marketing. (JORDAN; MITCHELL, 2015). Os sistemas de produção são um ambiente onde a inteligência artificial tem um papel essencial, fornecendo suporte para aprendizado, raciocínio e atuação. Sua tecnologia permite que o envolvimento do ser humano seja minimizado, fazendo com que a produção seja organizada automaticamente e os processos operacionais e produtivos sejam monitorados e controlados em tempo real. (HALL, 2001).

A automação é considerada um pré-requisito da indústria 4.0 e sua implantação na empresa deve ocorrer antes da migração para indústria 4.0. Ela refere-se à capacidade de realização de tarefas sem a interação humana. Neste ambiente os equipamentos interagem sozinhos e controlam a si próprios a partir das informações/orientações recebidas. (SACOMANO *et al.*, 2018). Os sistemas de automação mais conhecidos e usuais são os robôs. Nos sistemas de produção eles estão se tornando cada vez mais autônomos, flexíveis e cooperativos. No futuro, eles serão mais seguros e irão interagir uns com os outros e trabalhar lado a lado com os humanos, ensinando e aprendendo com eles. Devido a suas funções, o número de robôs e o campus de atuação (produção, logística, gerenciamento de escritório) vem crescendo. Isto é resultado da facilidade do uso e da disseminação da indústria 4.0. (BAHRIN *et al.*, 2016).

A realidade aumentada (RA) está posicionada entre a realidade física e a realidade virtual. Através de sua utilização é possível aumentar o padrão e ter maior detalhamento do que se vê. Ela aumenta o mundo real sem substituí-lo. Dentro do contexto industrial, ela possui uma gama de aplicações em projetos de fabricação,

operações de montagem, logística, qualidade, manutenção, prototipagens e controle de supervisão e aquisição de dados. (MASOOD; EGGGER, 2019).

A Realidade Virtual (RV) refere-se a um conjunto de hardwares que permitem a sensação de realidade de algo que não se encontra no mundo físico, apenas no virtual. (SACOMANO *et al.* 2018). A realidade virtual pode oferecer muitos benefícios no campo da indústria 4.0, como realizar treinamentos de processos grandes e complexos por meio da simulação, porém para isso ainda é necessário superar os desafios existentes. Entre eles, estão o custo de adoção, a confiabilidade dos modelos desenvolvidos, as atualizações e reproduções em tempo real. (LIAGKOU; SALMAS; STYLIOS, 2019).

A comunicação máquina a máquina (M2M) pode ser definida como a comunicação entre duas máquinas ou entre uma máquina e um computador, uma vez que há transferência de dados que ocorre por bluetooth, cabos, internet, rede de telefone, etc. O processo M2M ocorre em quatro etapas: geração de dados, transmissão dos dados, análise e tomada de decisão, permitindo assim que as máquinas se tornarem inteligentes e conduzam os processos de forma autônoma. (SACOMANO *et al.*, 2018).

O Qrcode assemelha-se a um código de barras só que possui duas dimensões. Ele pode ser lido por um telefone que tenha câmera digital e leitor instalados e consegue armazenar mais informações (lote, contatos do destinatário, dados de produção, etc.) que um código de barras comum. (SACOMANO *et al.*, 2018).

Etiquetas de RIFD são pequenos dispositivos eletrônicos, dotados de microchips ou antenas, que emitem e respondem determinada frequência de rádio, fornecendo a comunicação por radiofrequência. Elas são coladas a produtos, embalagens, equipamentos ou até animais. Elas possuem três classificações: etiquetas de RFID passivas, só respondem ao sinal enviando e não possuem fonte própria de energia; etiquetas de RFID ativas, com fonte de energia própria, emitem o próprio sinal e etiquetas de RFID semipassivas ou semiativas que possuem fonte de energia, mas precisam de leitor para comunicar as informações. (SACOMANO *et al.*, 2018).

A integração de sistemas é um dos principais desafios da indústria 4.0 e vem sendo abordada em congressos internacionais, pois é uma necessidade que garante o seu funcionamento. Há uma discrepância entre os sistemas da empresa e os

sistemas de determinado fabricante, o que na maioria dos casos torna-se um impeditivo para a integração. (SACOMANO *et al.*, 2018).

A preocupação em relação à segurança cibernética é recente, pois com o uso de todas as novas tecnologias e dispositivos conectados, os ataques cibernéticos, através de IoT, tornam-se mais fáceis. A maioria das invasões ocorrem por falta de atualizações de segurança ou ferramentas antivírus, controladores estes que foram projetados quando esse item não era preocupante. Há várias redes que permitem o acesso dos hackers, como é o caso dos laptops utilizados dentro e fora das instalações, pen drives usados entre vários computadores e muitas redes atuando juntas sem isolamento de redes desconhecidas. (BENIAS; MARKOPOULOS, 2017).

## 2.2 DEFINIÇÕES INICIAIS: PROJETO E PORTFÓLIO DE PROJETOS DE INOVAÇÃO

Projeto é uma atividade que possui um escopo único, mobiliza recursos humanos, financeiros e materiais para atender um objetivo específico, dentro de determinado espaço de tempo. (CASTRO; CARVALHO, 2010). Segundo Carvalho e Rabechini Jr (2011) projeto é uma iniciativa única, constituída de um grupo de atividades, com limitações de tempo, custo e recursos e com o objetivo bem definido: gerar um produto ou serviço.

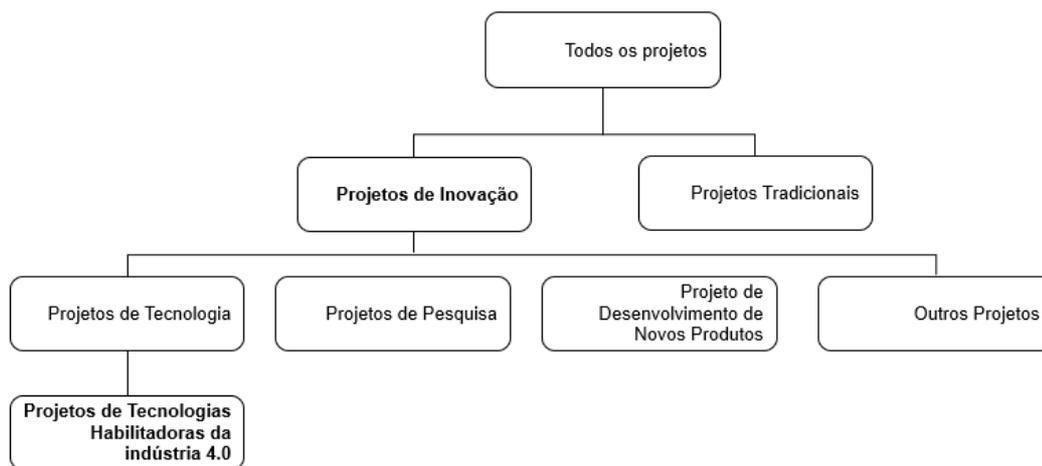
Projetos fazem parte das rotinas diárias das organizações e a capacidade de selecionar bons projetos é vital para as empresas. Decisões erradas na seleção de projetos geram consequências negativas. “Por um lado, os recursos são gastos em projetos inadequados e, por outro, a organização perde os benefícios que poderia ter conquistado caso esses recursos fossem gastos em projetos mais adequados”. (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014).

Um portfólio de projetos é um grupo de projetos executados por uma organização. Esses projetos competem entre si pelos recursos, uma vez que, a organização não tem capacidade de implantar todos eles. (COOPER; SOMMER, 2020; SILVA, 2016). A tomada de decisão em relação aos projetos selecionados será realizada de acordo com os critérios definidos pela organização. “A dificuldade para se selecionar os projetos acentua-se por aspectos como incerteza, interrelação entre os projetos, mudanças constantes nos projetos, além de fatores de sucessos, que não são fáceis de medir”. (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014).

A gestão eficaz do portfólio de projetos produz equilíbrio na carteira de projetos da empresa e maior proporção entre projetos de alto valor, além de melhor equilíbrio entre projetos e recursos. Os benefícios são evidentes: empresas com gerenciamento efetivo de portfólio tendem a ter melhor desempenho no desenvolvimento de novos produtos em geral, maior proporção no lançamento de produtos que atendam às metas de vendas e lucro, maior rentabilidade de novos produtos. (BORJY *et al.*, 2019). Apenas uma minoria das empresas alcança esses resultados, enquanto, que a maioria luta com os desafios do gerenciamento adequado do portfólio. Entre esses desafios estão os *pipelines* sobrecarregados e a falta de dados confiáveis sobre os quais basear para tomar as decisões de escolha do portfólio. (COOPER; SOMMER, 2020).

Filipov e Mooi (2010) classificam os projetos em convencionais e projetos de inovação, apontando que há diferenças significativas entre eles. Os projetos convencionais têm objetivos e processos claros e bem definidos, enquanto, que os projetos de inovação têm como características a falta de objetivos claros, o alto grau de incerteza nos processos e a necessidade de exploração maior que em projetos convencionais. Visando evidenciar essas diferenças entre os projetos os autores propuseram uma classificação para eles, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Classificação dos Projetos



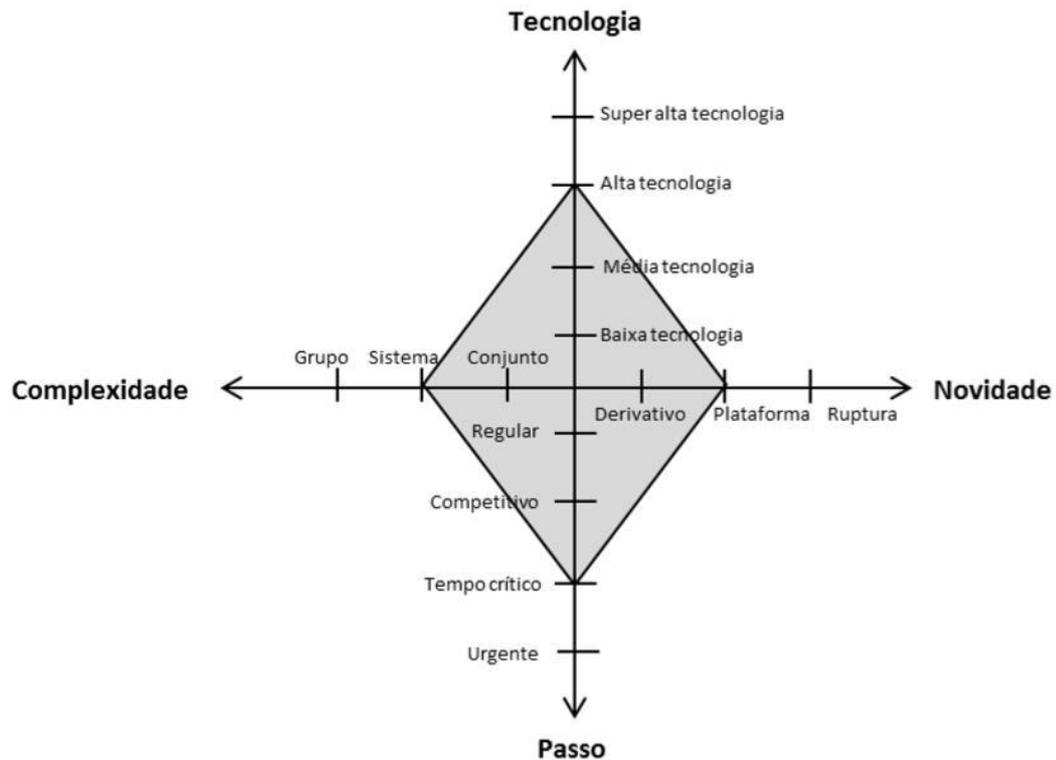
Fonte: Adpatado de Filipov e Mooi (2010)

Inicialmente todos os projetos são divididos entre convencionais e de inovação. Os projetos convencionais correspondem aqueles comumente executados pela organização. Os projetos de inovação são subdivididos em: projetos de tecnologia,

projetos de pesquisa, projetos de desenvolvimento de novos produtos ou outros projetos de inovação que não se enquadrem nestas categorias. (FILIPOV; MOOI, 2010). Os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 são enquadrados dentro dos projetos de tecnologia. Por esta razão são considerados projetos de inovação. Os tipos e graus de inovação dos projetos possuem complexidade e incertezas. Quanto maior o grau de incerteza mais desafiador é o projeto, pois lidará com tentativa e erro. (SALERNO, GOMES, 2018).

Shenhar e Dvir (2010) propõem classificar os projetos de acordo com o grau de incerteza, uma característica dos projetos de inovação como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Para isso desenvolveram uma classificação que chamaram de modelo diamante. Trata-se de uma metodologia que classifica os projetos, quanto ao grau de incerteza, em quatro dimensões: i) Novidade: representa a incerteza dos projetos, seja a incerteza sobre os objetivos do projeto, a incerteza no mercado, ou ambas, apresentando três níveis: derivativo, plataforma, ruptura. ii) Tecnologia: apresenta a incerteza tecnológica, classificada em quatro níveis: baixa, média, alta e super alta; iii) complexidade: representa a complexidade do produto, da tarefa ou da organização e é dividida em três níveis: conjunto, sistema e grupo; iv) passo: representa a incerteza em relação ao tempo e compreende quatro níveis: regular, competitivo, crítico e urgente. O modelo se propõe a auxiliar a definir os projetos com base nos riscos e benefícios esperados e é apresentado na Figura 3. (SHENHAR; DVIR, 2010).

Figura 3: Modelo Diamante



Fonte: Shenhar e Dvir (2010)

Cada projeto de inovação tem um conjunto de características como: maturidade tecnológica, campo de aplicação, tempo de desenvolvimento ou equilíbrio econômico. Estes projetos geralmente não são monitorados individualmente, usualmente eles são monitorados no nível do portfólio. (BORJY et al., 2019). Os portfólios de projetos de inovação concorrem aos mesmos recursos que os portfólios de projetos tradicionais. A gestão do portfólio de projetos de inovação pode, portanto, ser considerada como um processo dinâmico de tomada de decisão que deve levar em conta as mudanças no escopo do portfólio. (GIDEL; BUET; MILLET, 2014).

Projetar um portfólio de inovação requer uma compreensão fundamental do comportamento do processo de inovação e de como ele difere do processo de desenvolvimento de novos produtos. Um portfólio de projetos, que gerencia projetos por meio de um processo quase determinístico e com baixas taxas de atrito, difere de um portfólio de inovação, que é gerenciado por meio de um processo complexo e com oportunidades emergentes. (MATHEWS, 2010).

Um desafio crítico para as empresas é definir uma abordagem adequada para avaliar projetos de inovação mais radical. Estudos têm mostrado que abordagens gerenciais inadequadas são capazes de extinguir iniciativas radicais, levando ao

incrementalismo nas carteiras. Enquanto, que a inovação incremental depende de dados históricos relacionados a tecnologias bem conhecidas e do mercado, a inovação radical lida com grandes incertezas e dados insuficientes. (BRASIL et al., 2018). Ao contrário de um portfólio de projetos, que é regido por uma estratégia clara, um portfólio de inovação é tipicamente iniciado com apenas uma estratégia em desenvolvimento, mais precisamente chamada de "intenção estratégica". Os detalhes da estratégia surgem à medida que os conceitos mais promissores surgem e as incertezas são resolvidas. (MATHEWS, 2010).

Para os projetos de inovação radical os modelos tradicionais de avaliação têm sido criticados, pois a inovação radical deve ser analisada com ferramentas que não sejam as ferramentas financeiras que são largamente utilizadas para a avaliação da inovação incremental, incluindo o retorno sobre o investimento (ROI), fluxo de caixa com desconto e valor presente líquido. (SALERNO *et al.*, 2015).

Os projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 são classificados como projetos de inovação porque não possuem objetivos claros e definidos como os projetos tradicionais. Estes projetos têm como características necessidade de alto investimento, possuem alto índice de incerteza e dificuldades na mensuração de retorno. (FILIPOV; MOOI, 2010; ERBAY; YILDIRIM, 2018). Portanto, ferramentas de gestão de projetos de inovação são indicadas para gerenciar portfólios de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

### 2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS PARA GERENCIAR PROJETOS DE INOVAÇÃO

Essa seção apresenta as ferramentas e métodos sugeridos pela literatura para gerenciar os projetos de inovação, categoria que contempla os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

Para identificar os métodos e ferramentas que podem ser utilizadas para gerenciar os projetos de inovação foi realizada uma revisão sistemática da literatura, que é descrita na seção de metodologia. Entre os resultados da revisão encontram-se ferramentas e métodos de abordagem financeira, probabilística, estratégicas, diagramas e gráficos e modelos combinados. A seguir são apresentados estes os métodos e ferramentas identificados no levantamento da literatura.

### 2.3.1 Ferramentas e Métodos Financeiros

Algumas ferramentas são utilizadas para auxiliar na seleção dos projetos, de modo que facilite a tomada de decisão sobre quais projetos irão compor a carteira das organizações. As ferramentas financeiras mais comuns para apoio à tomada de decisão na seleção dos projetos são: o ponto de equilíbrio, o valor presente líquido (VPL) e o retorno sobre o investimento (ROI). (SANTOS, 2009).

O ponto de equilíbrio trata do nível de atividade no qual o negócio passa a ser rentável, ou seja, quando o total de receitas obtidas pelas suas vendas se iguala ao total de despesas. Quando o ponto de equilíbrio é atingido, os custos totais devem ser iguais às receitas daquele produto. Para que seja possível calcular o ponto de equilíbrio, primeiro define-se a equação dos custos e depois a das receitas e então iguala-se as duas equações. (SANTOS, 2009). O ponto de equilíbrio pode ser definido como a equação 1:

$$\text{Custos} = \text{Receitas} \quad (1)$$

O valor presente líquido (VPL) trata da comparação entre duas alternativas e ocorre quando é necessária uma escolha entre um ou outro produto. VPL refere-se ao valor temporal do dinheiro, ou seja, qual o seu valor no futuro. Ele é utilizado para que a empresa possa escolher onde investir seu dinheiro para obter maior retorno. (SANTOS, 2009). O cálculo do VPL pode ser obtido pela equação 2:

$$\text{VPL} = \frac{\text{VF}}{(1+r)} \quad \begin{array}{l} \text{VPL} = \text{valor presente} \\ \text{VF} = \text{Valor Futuro} \\ r = \text{taxa de desconto} \end{array} \quad (2)$$

O Retorno sobre o investimento (ROI) é uma das maneiras que a empresa tem para determinar a relação entre o valor aplicado em um investimento e seus ganhos financeiros. Trata-se de uma análise desenvolvida para mensurar o lucro e guiar decisões com finalidade de demonstrar se existe ou não viabilidade econômica no investimento. Não existe na literatura uma fórmula absoluta para o cálculo do ROI. Diante disso, a mais comumente usada e classificada como mais simples, foi definida

por Andru e Botchkarev (2011) e é descrita pela equação 3: (PADUAM; FABRI; L'ERARIO, 2015):

$$ROI = \frac{(\text{Retorno Obtido} - \text{Custo do Investimento})}{\text{Custo do Investimento}} \times 100 \quad (3)$$

Como descrito por Brasil *et al.* (2018), essas ferramentas financeiras não são as mais indicadas para selecionar os projetos de inovação, porque não são capazes de lidar com a falta de passado dados, incerteza, reversibilidade do investimento em inovação. Para esses autores uma ferramenta financeira que contempla de forma mais adequada os projetos de inovação é a teoria de opções reais.

A teoria de opções reais é utilizada para avaliar projetos de ativos reais como: avaliação de imóveis e recursos, avaliação de projetos de P&D, projetos de investimento de capital e avaliação de propriedade intelectual. (SANTOS; PAMPLONA, 2002). A abordagem de opções reais consiste em um conjunto de métodos alternativos para avaliar um projeto, baseados na ideia de que a flexibilidade gerencial pode ser quantificada e isso aumenta o valor global de um projeto. (BRASIL *et al.*, 2018). Essa teoria pode ser utilizada para avaliar a flexibilidade da gerência em tomar decisões do tipo quando investir, abandonar ou parar temporariamente um projeto e quando modificar suas características operacionais ou trocar um ativo por outro. À medida que o projeto vai avançando, as incertezas vão diminuindo e o fluxo de caixa vai tornando-se visível, fazendo com que projetos de investimento de capital tornem-se uma opção real para a organização. (SANTOS; PAMPLONA, 2002).

### **2.3.2 Ferramentas e Métodos Probabilísticos**

A Análise Hierarquia de Processos (AHP) é um dos métodos mais utilizados em projetos com certo grau de incerteza. A AHP é um método eficaz para avaliar os critérios de tomada de decisão em ambientes incertos. Por meio de uma estrutura de níveis, os critérios são dimensionados entre si e comparados por matrizes. Trata-se de uma metodologia simples e fácil de implementar para avaliar critérios quantitativamente e qualitativamente. O processo de seleção é composto basicamente por quatro etapas: definição do problema de decisão e estabelecimento de uma estrutura hierárquica, criação de matrizes de comparação entre os critérios,

cálculo do peso dos critérios e verificação das proporções de consistência das matrizes de comparação. (SEVINÇ; GÜR; EREN, 2018).

A AHP é selecionada como o melhor método para garantir a relatividade e a priorização. Trata-se de um método no qual há uma desintegração da estrutura complexa em seções menores, formando uma estrutura hierárquica. A AHP ajuda a desintegrar o programa não estruturado para a decisão lógica da hierarquia. (ERBAY; YILDIRIM, 2018).

### **2.3.3 Ferramentas e Métodos Estratégicos**

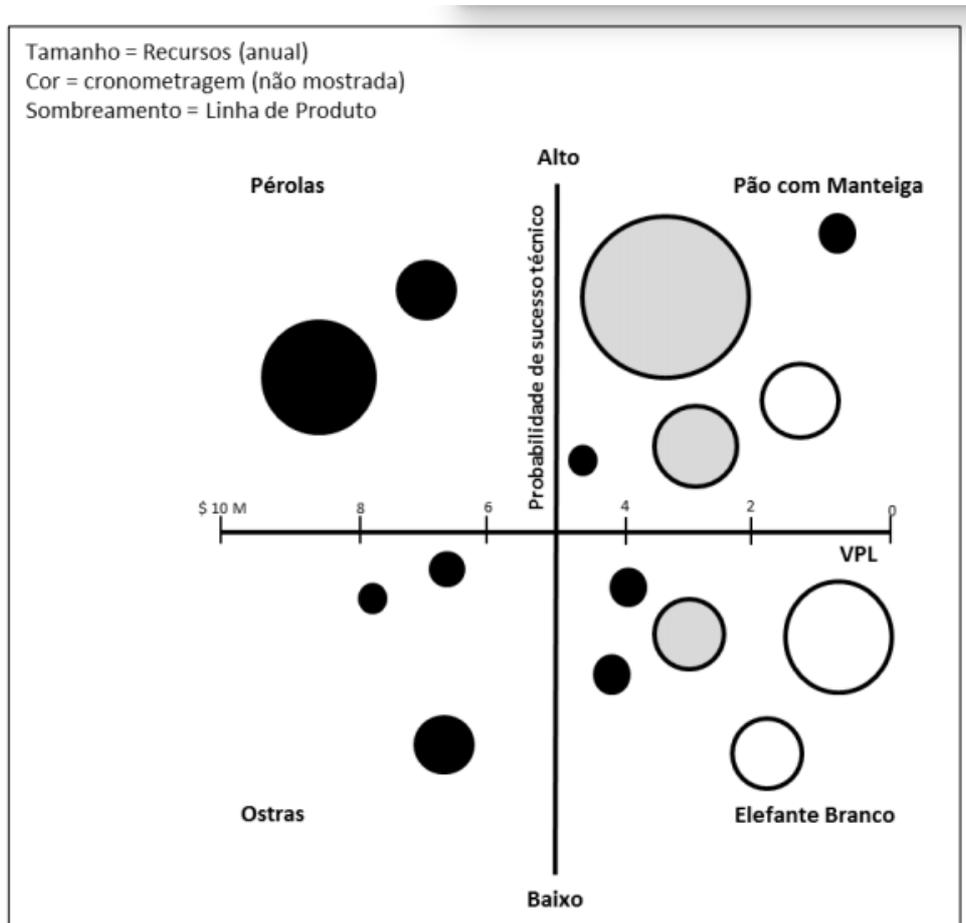
Para Loch, Solt e Bailey (2008) os projetos de inovação devem ser classificados de acordo com a complexidade e a incerteza. Em casos de alto grau de complexidade, nos quais o problema é tão complexo que não se pode planejar uma melhor solução, a técnica indicada é o selecionismo. Este método baseia-se em ensaios paralelos de múltiplas abordagens, observando o que funciona e o que não funciona e escolhendo a melhor abordagem para seguir.

Nos casos em que a incerteza é alta, Loch, Solt e Bailey (2008) sugerem utilizar a técnica da aprendizagem. Esse método utiliza a improvisação e a experiência da equipe para nortear as ações a serem tomadas. O processo se sucede pela tentativa e erro, há simultaneidade no planejamento e a execução e a avaliação ocorrem no curto prazo para que se possa prever modificações do que foi planejado ou ajustes no que foi realizado. (RUSSO; SBRAGIA, 2014).

### **2.3.4 Diagramas e Gráficos**

Os diagramas de bolhas representam os projetos em uma grade bidimensional. Os eixos podem variar, mas o mais popular é o diagrama de risco vs. recompensa, no qual um dos eixos representa o retorno para a empresa e no outro a probabilidade de sucesso do projeto. Esta ferramenta é indicada para verificar o equilíbrio do portfólio dos projetos. A Figura 4 representa um exemplo deste tipo de diagrama, na linha vertical é colocada a probabilidade de sucesso técnico do projeto e na linha horizontal o VPL. O tamanho das bolhas representa os reembolsos anuais para o projeto e as cores o tempo do projeto. (COOPER; EDGETT, 2001)

Figura 4: Exemplo de Gráfico de Bolha



Fonte: Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a)

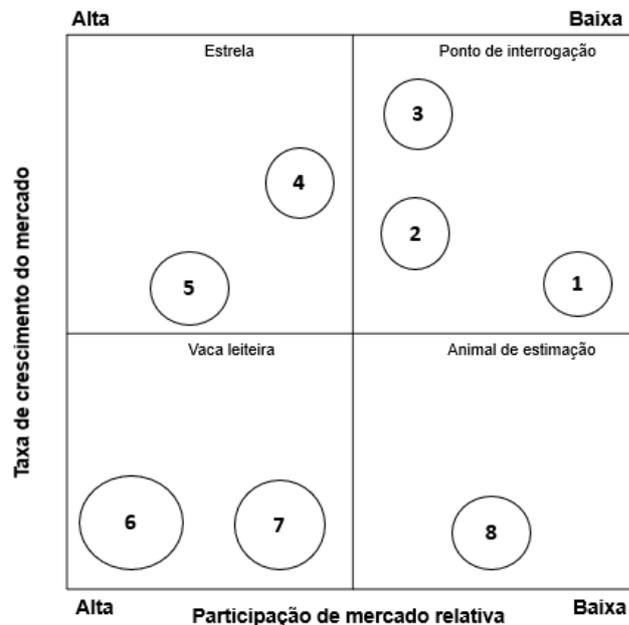
Os projetos pertencentes ao quadrante pão com manteiga são os projetos que a empresa possui capacidade técnica para execução, porém o VPL não é atrativo. As pérolas são os projetos mais desejados, pois a empresa possui alta capacidade de execução e o VPL é atrativo. As ostras representam os projetos que tem um VPL atrativo, mas a capacidade técnica da empresa é baixa e os pertencentes ao quadrante elefante branco são os que possui VPL baixo e baixa probabilidade de sucesso da empresa, como consequência projetos que devem ser evitados.

A Matriz Boston Consulting Group (BCG) é semelhante ao diagrama de bolhas e representada pela Figura 5. Trata-se de uma matriz que avalia o portfólio de projetos através do fluxo de caixa gerado. Diante disso, o eixo vertical representa a taxa de crescimento do mercado e o eixo horizontal a participação da empresa neste mercado.

Nos quatro quadrantes são plotados os projetos da empresa e estes são representados como (ZIN; BOMBANA; BARCELLOS, 2018):

- a) Ponto de interrogação: projetos que operam em mercados em desenvolvimento, porém a empresa possui com baixa participação;
- b) Estrela: Projetos no qual a empresa tem alta participação no mercado e este está em desenvolvimento;
- c) Vaca leiteira: projetos com alta participação no mercado, mas com mercado em declínio;
- d) Animal de estimação: projetos com baixa participação no mercado e mercado sem crescimento.

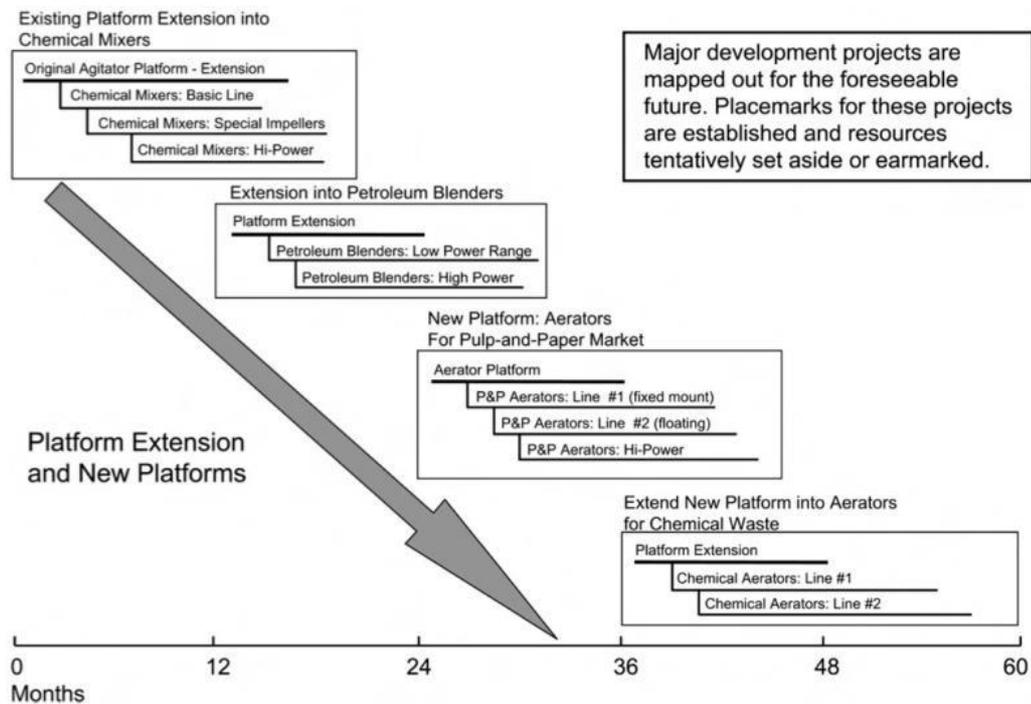
Figura 5: Matriz BCG



Fonte: Adaptado de Singh (2004)

Os *Roadmaps* são uma ferramenta visual e descritiva que aponta como o projeto será desenvolvido ao longo do período. O projeto é subdividido em etapas que facilitam o planejamento. Inicia-se com a estratégia do negócio e vai desdobrando-a em pequenos pacotes. O resultado final é um mapeamento das principais iniciativas ao longo de uma linha do tempo. Os *roadmaps* de produto mostram as principais iniciativas de desenvolvimento das plataformas e produtos ao longo de um período. A Figura 6 apresenta o exemplo de um *roadmap* de produto de um fabricante de equipamentos.

Figura 6: *Roadmap* de Fabricante de Misturadores e Agitadores



Fonte: Cooper; Edgett (2001)

### 2.3.5 Modelos Combinados

Nesta seção são apresentados os modelos aqui denominados combinados. Trata-se de modelos desenvolvidos especificamente para gerenciar portfólios de inovação e usualmente compõem-se de mais de uma ferramenta.

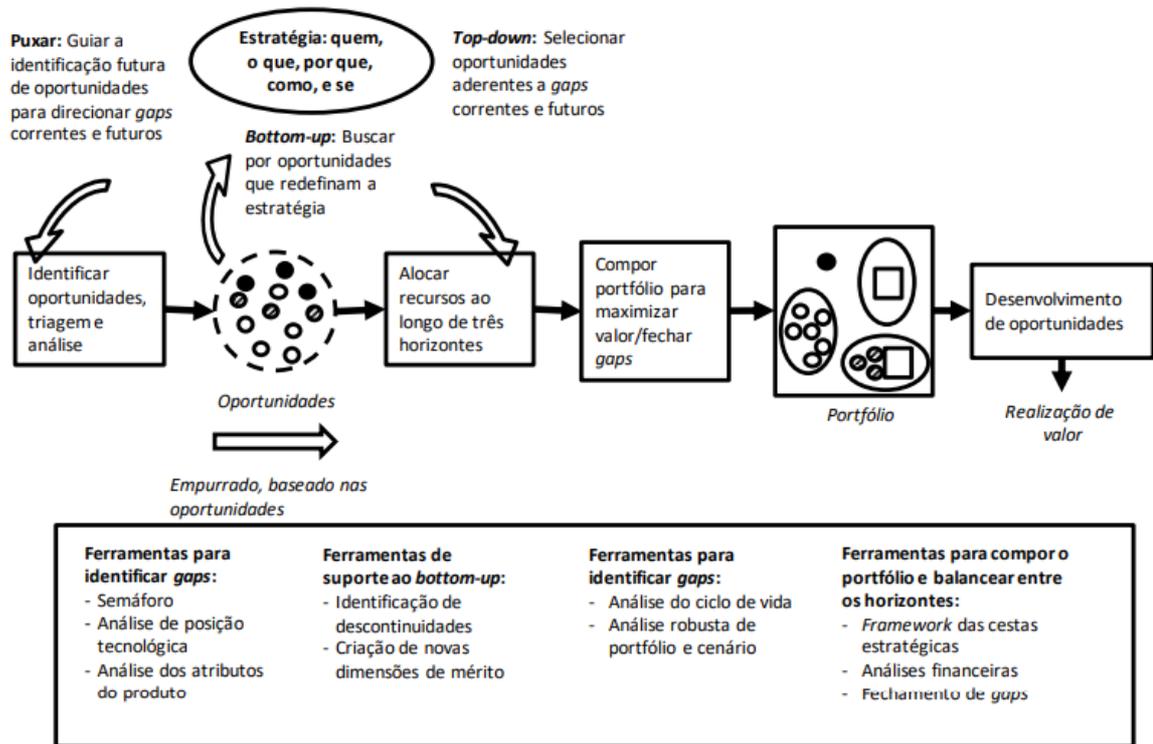
#### 2.3.5.1 O Framework dos "Baldes" Estratégicos

Terwiesch e Ulrich (2008) propõem um modelo de planejamento de portfólio que tem como objetivos:

- i) identificar as lacunas atuais em relação à estratégia de negócios;
- ii) identificar lacunas futuras;
- iii) encontrar o equilíbrio entre fortalecer a posição estratégica atual e explorar estratégias futuras;
- iv) criar o portfólio de inovação para cada horizonte ou balde estratégico e
- v) buscar oportunidades para redefinir a estratégia.

A Figura 7 apresenta o modelo proposto pelos autores.

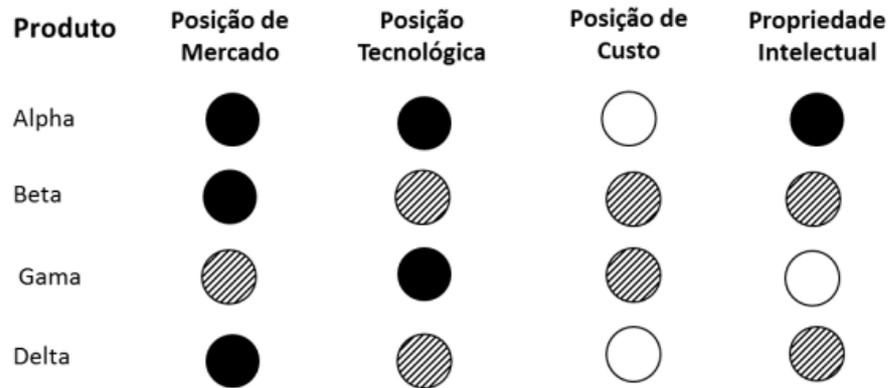
Figura 7: Processo de Planejamento de Portfólio



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

O primeiro objetivo do modelo é identificar as lacunas atuais em relação à estratégia da empresa. Para isso a primeira etapa corresponde a avaliação da posição atual da empresa e busca mapear a posição estratégica para a oferta dos produtos mais importantes. A abordagem do semáforo é uma sugestão de ferramenta que pode ser utilizada para visualizar a posição da estratégica dos principais produtos da empresa. A matriz é construída de forma que as linhas são preenchidas com os produtos e as colunas com os critérios e utilizando uma escala de cores (verde, amarelo e vermelho) estes produtos são classificados em: verde quando a empresa é líder de mercado, amarelo quando é umas das cinco principais e vermelho para outras classificações. A Figura 8 representa um exemplo de gráfico de semáforo.

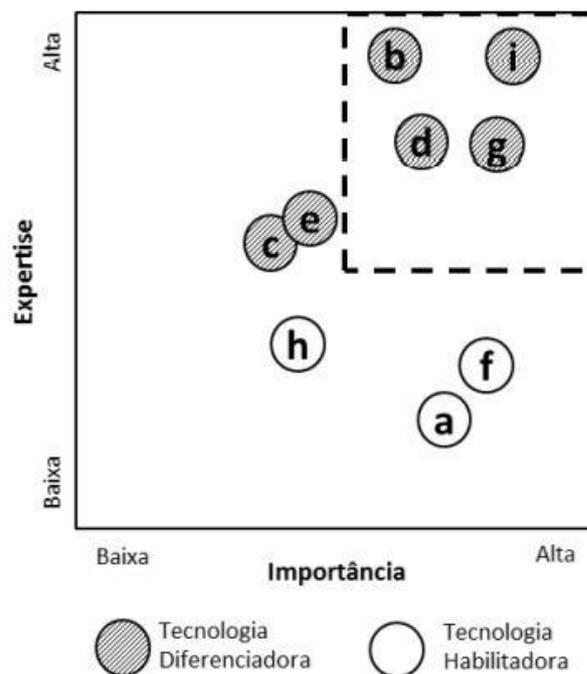
Figura 8: Semáforo



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

A etapa 2 é a avaliação da posição atual da tecnologia. A ferramenta sugerida nesta etapa é a matriz de análise de posição tecnológica que avalia a capacidade da empresa e a importância da tecnologia para a estratégia da organização. As tecnologias são representadas por círculos e segundo três critérios: tecnologias diferenciadoras (só a empresa possui), tecnologias habilitadoras (a empresa precisa, mas os concorrentes também possuem) e tecnologias intermediárias. A Figura 9 representa uma matriz de posição tecnológica.

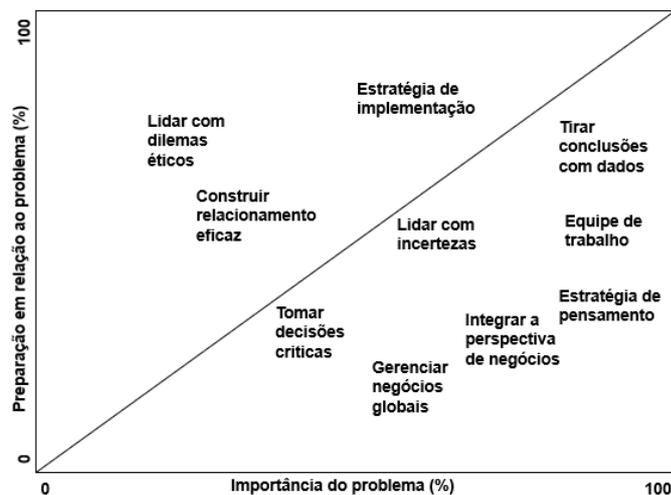
Figura 9: Matriz de Posição Tecnológica



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

A etapa 3 corresponde a avaliação da perspectiva do cliente. Depois de identificadas as necessidades é necessário separar as características essenciais do produto, estas podem ser realizadas utilizando-se a avaliação da posição estratégica ou a análise dos atributos. A análise dos atributos é obtida através da divisão do produto em um conjunto de atributos, estes são identificados quanto a sua importância para o cliente e a posição estratégica da empresa em relação a eles. A Figura 10 é um exemplo de matriz de atributos.

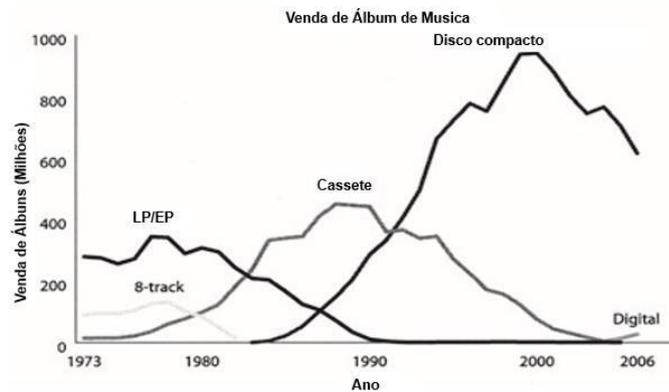
Figura 10: Matriz de Atributos



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

O segundo objetivo é identificar lacunas futuras para desenvolver estratégias que explorem as oportunidades existentes ou protejam a posição da empresa em relação ao mercado. Nessa fase as indústrias devem acompanhar o ciclo de vida dos produtos, que frequentemente tem a estrutura de uma curva S, com 4 fases (fase embrionária, fase de crescimento, fase madura, fase de declínio) que auxiliam a definir quais produtos devem ser priorizados, avaliados e substituídos. A Figura 11 representa o ciclo de vida dos equipamentos eletrônicos.

Figura 11: Ciclo de Vida



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

Nesta etapa há necessidade de avaliar ainda a robustez do portfólio, isso ajudará a organização a se preparar para futuros incertos. Para isso sugerem que se faça uma lista das incertezas de mercado mais relevantes para a empresa e plote alguns cenários. A Figura 12 apresenta um exemplo da lista de incerteza. Depois disso, a empresa deve analisar o retorno de mercado para cada um dos cenários, como sugerido pela Figura 13, essa avaliação de robustez de portfólio vai ajudar a empresa a identificar um conjunto de lacunas potenciais futuras e abordá-las antes que elas surjam e assim proteger a posição estratégica da organização.

Figura 12: Lista de Incertezas

Incertezas	Cenários			
	A: Status Quo	B: Saída da Energia Nuclear	C: Preço da Energia Muito Elevado	D: Aumento da Competição e Entrada de Mercado
1. Aumento do preço do óleo			X	
2. Mudanças políticas com ambientalistas em coalisão governamental		X		
3. Problemas técnicos com a planta nuclear		X		
4. Comunidade europeia requer a separação dos donos entre as plantas de energia e rede de distribuição				X
5. Abertura europeia de mercado energético				X
6. Recursos de energia renovável rentável			X	

Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

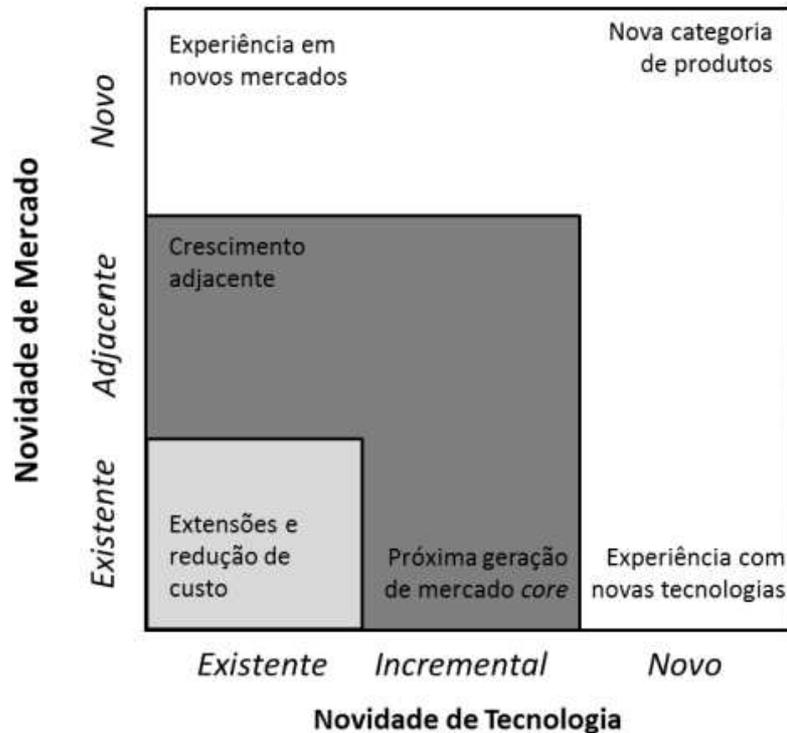
Figura 13: Relação Cenário vs. Retorno

Incertezas	Cenários			
	A: Status Quo	B: Saída da Energia Nuclear	C: Preço da Energia Muito Elevado	D: Aumento da Competição e Entrada de Mercado
1. Casas Elétricas	++	-	o	-
2. Eletricidade para Indústria	++	-	o	-
3. Gás Natural para casas	++	o	-	o
4. Gás Natural para Indústrias	++	o	o	-

Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

O terceiro objetivo do modelo é encontrar o equilíbrio entre fortalecer a posição estratégica atual e explorar estratégias futuras. A ferramenta sugerida pelos autores nesta etapa são os baldes estratégicos, uma metodologia na qual a empresa possui níveis de inovação e define como alocará os recursos. A ideia principal desta metodologia é que a empresa deve considerar oportunidades em áreas familiares (inferior esquerdo), mas também explorar novos territórios, criando assim opções para futuros movimentos estratégicos. A alocação de recursos deve considerar três níveis para tecnologia e para mercado: o existente, o incremental e o novo. A Figura 14 representa um exemplo do framework dos baldes estratégicos.

Figura 14: Framework dos Baldes Estratégicos

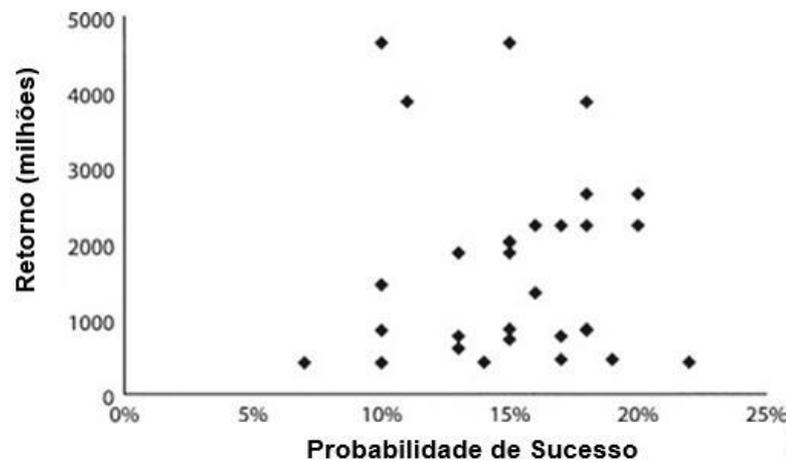


Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

O quarto objetivo do modelo é a criação de um portfólio de inovação para cada balde estratégico. Para isso é necessário considerar as interdependências entre as oportunidades de canibalização de mercado e o uso de recursos e metas financeiras. Os autores defendem que a sensibilidade a estas dependências mantém o valor em todo o portfólio e evita possíveis conflitos entre a maximização da carteira e o investimento em inovação.

Duas outras ferramentas de portfólio são amplamente utilizadas para auxiliar a definir o tamanho dos baldes: os gráficos de oportunidade e sucesso e a matriz BCG. O gráfico de oportunidade e sucesso mostra a recompensa no eixo y e a probabilidade de sucesso no eixo x, como mostra a Figura 15. Estas ferramentas fornecem poucas informações que podem relatar os possíveis retornos e as probabilidades de sucesso e não capturam as interdependências entre as oportunidades e, portanto, eles realmente perdem o ponto focal do gerenciamento de portfólio.

Figura 15: Gráfico de Oportunidade e Sucesso



Fonte: Terwiesch e Ulrich (2008)

O último objetivo é buscar oportunidades para redefinir a estratégia da organização. Para isso os autores sugerem que a organização acompanhe o ciclo de vida dos produtos e utilize a estrutura de balde estratégico como uma ferramenta robusta de planejamento de portfólio. Essas ferramentas são especialmente importantes à medida que uma indústria amadurece e está ameaçada de interrupção.

Terwiesch e Ulrich (2008) destacam que o framework dos baldes estratégicos ajuda a equilibrar a inovação incremental com a exploração de oportunidades futuras, mas não deve ser uma ferramenta única, pois a estratégia da empresa muda de acordo com a necessidade do mercado. O portfólio de inovação deve ser uma atividade dinâmica que acompanhe os ajustes estratégicos e preencha as lacunas do mercado.

#### 2.3.5.2 O formulário de avaliação de Paulson, O' Connor e Robeson (2007)

Paulson, O' Connor e Robeson (2007) defendem que as ferramentas financeiras não são adequadas para medir os projetos de inovação pelas suas características. Os autores afirmam que é necessária a criação de uma ferramenta útil de avaliação de portfólio que satisfaça conceitualmente os requisitos dos paradigmas das finanças quantitativas. Esta ferramenta deve abordar inter-relações de risco entre potenciais investimentos em inovação e os negócios atuais, a inter-relação de troca e todas as principais fontes de risco previsíveis. Além disso, deve acomodar o aprendizado e a descoberta de forma flexível e deve desenvolver informações dentro

da empresa e fora da empresa, garantir que o aumento do risco e da incerteza penalize a decisão de investimento, permitir uma avaliação relativa de carteiras inovadoras e acomodar atualizações periódicas.

Os autores destacam que há três dificuldades na valorização do portfólio de inovação radical: i) as incertezas e os riscos são tão grandes que as ferramentas financeiras não são confiáveis; ii) há muitas dimensões que devem ser abordadas no portfólio como: escolha de tecnologias, mercados a serem desenvolvidos, tamanho de mercados potenciais, custos de busca da potencial inovação, operações, ambiente político, impostos, rentabilidade, estruturas organizacionais, ambiente econômico e concorrência; iii) a tomada de decisão relacionada aos projetos de inovação e ao portfólio abrange vários níveis na empresa.

Depois de identificados os desafios os autores desenvolveram uma ferramenta que possa auxiliar os gestores nas decisões sobre portfólio e projetos de inovação. Esta ferramenta é composta de oito categorias: i) impacto do projeto na renovação da empresa; ii) impacto do projeto no crescimento da empresa; iii) impacto do projeto no mercado; iv) impacto do projeto no portfólio; v) capacidades da equipe e ritmo de projeto, vi) recursos firmes para este projeto; vii) impacto do ambiente externo no projeto e viii) saúde do portfólio. Cada uma das categorias contém entre 3 e 13 questões que serão pontuadas pelos tomadores de decisão. A Figura 16 apresenta o recorte da seção 1 da ferramenta proposta.

Figura 16: Seção da Ferramenta Proposta pelos Autores

		Respostas			
		Projeto 1		Projeto 2	
		Relevância (0,1)	Nível de valor (1-5)	Relevância (0,1)	Nível de valor (1-5)
VII	<b>Impacto do Ambiente Externo no Projeto: o grau em que o regulador, competidor, cadeia de valor ou reações do cliente podem prevenir uma comercialização de sucesso.</b>				
7.1	Nós não antecipamos barreiras regulatórias proibitivas para o sucesso comercial do projeto.	1	5	1	5
7.2	Com o melhor de nosso conhecimento não há abordagens concorrentes para resolver o problema que este projeto trabalha para resolver .	1	1	1	1
7.3	A possibilidade de repercussão negativa dos consumidores em termos de implicações sociais ou políticas negativas deste projeto é baixa.	1	4	1	5
<b>Valor total</b>			10		11
<b>Máximo potencial de valor</b>			15		15
		% drivers importância	% do valor máximo	% drivers importância	% do valor máximo
<b>Totais do projeto</b>		100,0	66,7	100,0	73,3
<b>Projeto agregado/Mercado no projeto</b>		70%			

Fonte: Paulson, O' Connor e Robeson (2007)

As seções devem ser pontuadas para cada projeto do portfólio, pois estes resultados irão permitir a avaliação da saúde do portfólio. A ferramenta é baseada em três métricas: i) um índice para cada projeto em todas as seções, rotulado de "Valor Total", ii) um índice que agrega o valor para todos os projetos, rotulado como "Valor Potencial Máximo e iii) um índice final que incorpora a saúde geral do portfólio, chamado de "Portfólio Total". Estas três métricas podem orientar as decisões futuras em relação aos projetos e ao portfólio. Gráficos de barras com os resultados do formulário são ferramentas que podem orientar os tomadores de decisão a identificar quais áreas específicas que podem exigir foco ou melhoria, porém não há receitas prontas, cada empresa deve adotar o que melhor se adequa a sua necessidade. (PAULSON; O' CONNOR; ROBESON, 2007).

#### 2.3.5.3 A proposta de arquitetura de Mathews (2010)

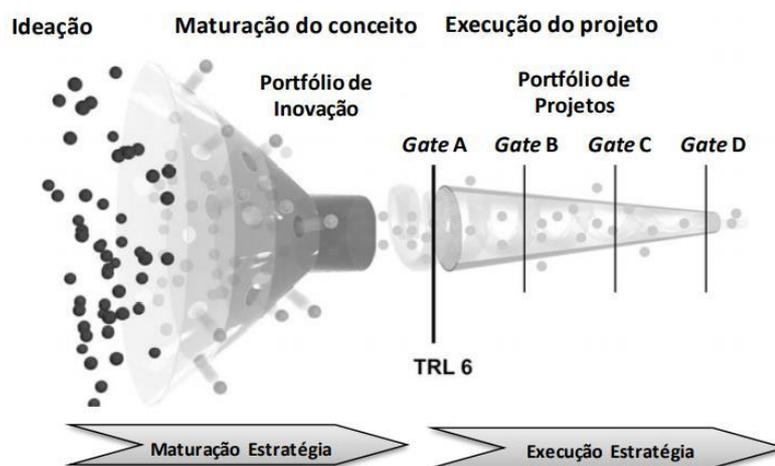
O portfólio de inovação inclui o melhor conjunto de conceitos que suportam uma estratégia coerente, com a ideia de que, embora alguns conceitos possam não

proporcionar os mesmos retornos que outros, a agregação global tem um alto potencial de criação de valor. Diante desse contexto, os métodos de gerenciamento de portfólio de projetos tradicionais não são adequados aos projetos de inovação e um processo de gestão de portfólio diferente foi necessário para preencher a lacuna entre ideias e produtos em desenvolvimento. (MATHEWS, 2010).

A arquitetura do portfólio deve considerar os desafios existentes nos projetos de inovação, que são os mesmos ao desafios dos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 (mencionados no capítulo 1) e são definidos como: i) pouco valor nos conceitos iniciais; ii) poucos dados para serem explorados no início da ideia; iii) todos os conceitos devem ser explorados, mas há poucas oportunidades para isso; iv) é difícil determinar o valor dos conceitos e v) a mistura dos conceitos dificulta a comparação.

Os desafios existentes podem ser superados agrupando-se os conceitos em clusters em torno de impulsos estratégicos. À medida que uma estratégia emerge, esses clusters não alinhados com ela podem ser eliminados, à medida que a estratégia amadurece, os clusters conceituais são examinados com cada vez mais detalhes e finalmente a avaliação de conceitos pode ser avaliada com precisão. O processo que desenvolvemos para abordar essas questões começa com interface com o sistema de ideação, prossegue através de uma triagem inicial grosseira e de várias fases de maturação do conceito e termina com a integração dos conceitos remanescentes no portfólio do projeto. A Figura 17 apresenta o modelo proposto por Mathews (2010).

Figura 17: Pipeline de Inovação



Fonte: Mathews (2010)

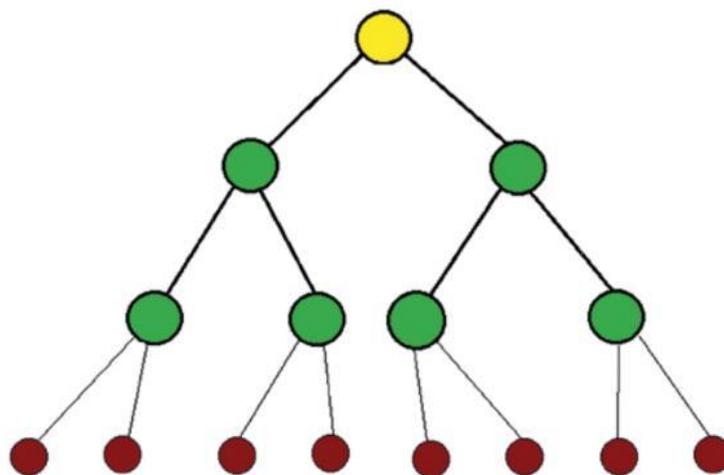
O pipeline é composto de quatro etapas: front end, fase 0, fase 1-3 e back end (MATHEWS, 2010).

#### Front End: Ideação

Há um trade-off entre as ideias que emergem na etapa de ideação do portfólio e o banco de dados necessário para a tomada de decisão dos investimentos. O limite de ideias para a entrada no portfólio de inovação deve minimizar a rejeição prematura de conceitos potencialmente bem-sucedidos. Neste caso, sugere-se a utilização de uma árvore de decisão como uma abordagem mais eficiente e fácil para definir os critérios mínimos de entrada no portfólio. (MATHEWS, 2010).

As árvores de decisão ilustram as representações das relações existentes em um conjunto de dados, através de elementos gráficos que auxiliam na tomada de decisão. Os dados são divididos em subgrupos que são chamados de nós. Há cinco propriedades na construção de uma árvore: (1) a hierarquia é denominada árvore e cada segmento é denominado nó; (2) há um nó raiz, que contém todo o banco de dados; (3) o nó raiz contém as informações dos dados que podem ser subdivididos dentro de outros nós, os nós filhos; (4) existe um único caminho entre a raiz e cada nó; (5) quando os dados de determinado nó não podem ser mais subdivididos e formar outro nó, ele é considerado um nó terminal. A Figura 18 representa uma árvore de decisão binária. (FREITAS, 2019).

Figura 18: Árvore de Decisão Binária



Fonte: Freitas (2019)

Para Hansen e Birkinshaw (2007) no processo de geração de ideia os gerentes naturalmente procuram primeiro dentro de seus próprios grupos funcionais ou unidades de negócios por ideias criativas. Para promover um melhor desempenho na geração de ideias podem se juntar profissionais de vários setores e unidades e fazer um brainstorming. Caso não haja um fluxo de geração de ideias a empresa procura a colaboração com parceiros externos.

#### Fase 0: Triagem grosseira

A Fase 0 corresponde a avaliação qualitativa grosseira que permite uma avaliação rápida para separar os conceitos que receberão mais atenção. Nessa triagem é realizada meia dúzia de perguntas que são pontuadas, ponderadas e depois resumidas e totalizadas para produzir um ranking. As perguntas estão relacionadas ao valor global e probabilidade de sucesso do projeto dentro da organização, incluindo questões como alinhamento de recursos e da organização, vantagem competitiva e posição de propriedade intelectual. (MATHEWS, 2010).

#### Fases 1-3: Amadurecendo os Conceitos

A Fase 1 dá ênfase a compreensão da proposta do valor empresarial da ideia, portanto as informações são bastante rasas. O especialista deve selecionar uma estimativa da "ordem aproximada de magnitude" para cada um dos atributos. Os valores selecionáveis são organizados ao longo de uma escala exponencial que abrange a possível gama de conceitos mantidos no portfólio. (MATHEWS, 2010).

A ênfase da fase 1 é na compreensão da proposta de valor empresarial, tanto contextual quanto quantitativamente. O limiar quantitativo neste ponto é bastante baixo. O analista seleciona uma estimativa de "ordem aproximada de magnitude", essencialmente um valor representando o cenário mais parecido, para cada um dos atributos. Os valores selecionáveis são organizados ao longo de uma escala exponencial que abrange a possível gama de conceitos mantidos no portfólio. Depois de selecionados os valores de atributo para todos os conceitos, o processo de portfólio pode exibir graficamente a comparação relativa dos valores agregados de clusters de conceitos dispostos entre diferentes impulsos estratégicos e com isso permite que o gerente de portfólio selecione esses clusters, ou impulsos estratégicos em mais em sintonia com as capacidades corporativas e a direção. Esse processo arquiva muitos conceitos com menos mérito, reduzindo efetivamente o número da Fase 1 pela metade. Os conceitos restantes são promovidos à Fase 2 com investimentos incrementais concomitantes. (MATHEWS, 2010).

Na Fase 2, o foco é uma melhor compreensão dos riscos e oportunidades implícitos nos pressupostos. O analista adiciona mais detalhes à estimativa inicial, especificando valores de cenário otimistas e pessimistas. Os cenários são projetados para obter a gama de resultados que poderiam emergir de variâncias nas premissas subjacentes, fornecendo insights-chave sobre grandes riscos e oportunidades que podem surgir mais tarde no rastreamento do projeto. Novamente os clusters são compostos por conceitos de maturidade alinhados à estratégia organizacional e a seleção é realizada com o objetivo de que o número de conceitos viáveis da Fase 2 fique pela metade para que estes sejam promovidos à Fase 3 e analisados. (MATHEWS, 2010).

A Fase 3 está concentrada em derivar os elementos do *business case* e as particularidades dos requisitos de investimento. A análise da Fase 3 desenvolve fluxos de caixa para cada um dos cenários desenvolvidos para os conceitos e tem atenção redobrada em descrever como uma parte dos investimentos iniciais de desenvolvimento será direcionada para mitigação de riscos. (MATHEWS, 2010).

#### O Back End: o portfólio de projetos

O objetivo é entregar conceitos de maior qualidade no portão A do processo de portfólio de projetos. Os conceitos que sobreviveram ao processo até agora estão mais alinhados e refinados com a estratégia e passaram por uma avaliação das incertezas ou riscos que ainda devem ser mitigados. Todos esses elementos são necessários para passar o portão A, a revisão inicial para entrada no portfólio do projeto. (MATHEWS, 2010).

Mathews (2010) afirma que o portfólio de inovação serve como um importante sistema de avaliação e alinhamento entre eventos de ideação e portfólios de projetos. A alta taxa de incerteza faz com que a estratégia e os conceitos caminhem juntos, reduzindo o custo da análise através da aplicação de um conjunto mínimo de atributos. Além disso, o uso de fases permite maior flexibilidade que o uso de gates, permitindo que os analistas calibrem seu nível de confiança à medida que as informações são coletadas e organizadas para cada conceito.

#### 2.3.5.4 O modelo proposto por Oliveira et al. (2014)

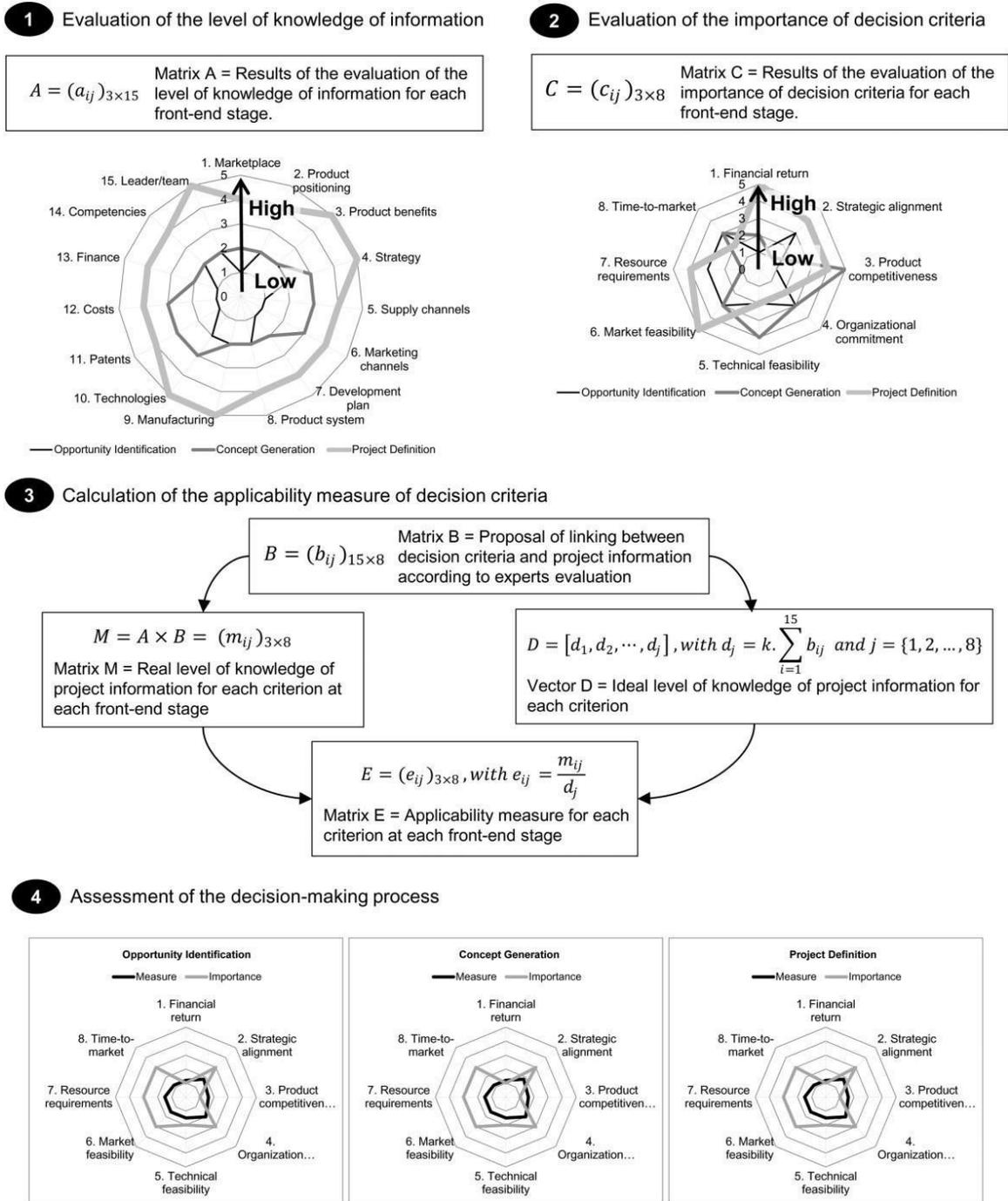
Para Oliveira *et al.* (2014) as decisões que definem e moldam novos produtos são feitas continuamente durante todo o processo de inovação. As ideias que definem

estas inovações são geradas no início do processo, denominado *front end*, e as decisões tomadas neste momento são difíceis em função de poucas informações, mas extremamente importantes para garantir um portfólio adequado.

Os autores propõem um método, chamado de tomada de decisão baseada no conhecimento (*DeBK*), que tem como objetivo analisar o conhecimento das informações do projeto na parte frontal da inovação (*front end*) e seu impacto nas decisões estratégicas. Como resultado, os tomadores de decisão podem testemunhar se as decisões foram fundamentadas no conhecimento e, também, estar cientes de quais informações devem ter maior nível de conhecimento para sustentar decisões mais confiáveis.

O método proposto é composto de quatro etapas: i) avaliação do nível de conhecimento da informação; ii) avaliação da importância dos critérios de decisão; iii) cálculo da medida de aplicabilidade dos critérios de decisão e iv) avaliação do processo decisório. Ele trabalha com três componentes principais: i) uma lista de informações do projeto esperadas no *front end*; ii) uma lista de critérios de decisão usados no processo de tomada de decisão *front-end* e iii) uma matriz que vincula critérios de decisão com informações necessárias para seu uso. A figura 19 apresenta o método proposto pelos autores e na sequência são desdobradas cada umas das suas etapas.

Figura 19: O Método DeBK



Fonte: Oliveira et al. (2014)

Avaliação do nível de conhecimento da informação

Essa atividade coleta dados sobre o nível de conhecimento das informações do projeto em todas as etapas *front-end*. Os tomadores de decisão devem avaliar a disponibilidade de conhecimento usando uma escala de 5 pontos que varia de baixo (1) a alto (5) nível de conhecimento. Os resultados dessa avaliação são armazenados

na matriz A, que é utilizada no cálculo da medida de aplicabilidade para critérios de decisão e retratada em um gráfico de radar, que oferece uma visão geral do nível de conhecimento das informações nas fases front-end.

#### Avaliação da importância dos critérios de decisão

Nessa etapa são coletados os dados sobre a importância que os tomadores de decisão dão aos critérios de decisão nas fases front-end. As mesmas pessoas que avaliaram o nível de conhecimento devem avaliar a importância dos critérios de decisão utilizando uma escala de 1 a 5. Os resultados desta avaliação são armazenados na matriz C e retratados no gráfico que fornece uma visão geral dos critérios que delineiam a tomada de decisão nos estágios front-end da inovação.

#### Cálculo da medida de aplicabilidade dos critérios de decisão

Nesta etapa são carregados a matriz que vincula os critérios de decisão com informações necessárias para seu uso (denominada matriz B) e a matriz resultante da atividade 1 (matriz de avaliação do nível de conhecimento da informação). A criação da matriz B deve ser realizada levando em consideração a situação de maturidade da empresa e pode ser realizada por especialistas em inovação. O resultado desta etapa é a medida de aplicabilidade para cada critério no *front-end* (matriz E).

#### Avaliação do processo de tomada de decisão

Nesta etapa são verificados todos os escores do *front end*, através da comparação das matrizes. Os gráficos gerados permitem verificar se há conhecimentos suficiente sobre os critérios que conduzem o processo de tomada de decisão. Os resultados alcançados devem ser discutidos pelos tomadores de decisão para identificar e analisar possíveis razões de desalinhamentos entre informações conhecidas e critérios utilizados no processo de tomada de decisão e assim planejar ações para complementar o conhecimento perdido e, conseqüentemente, melhorar a tomada de decisão.

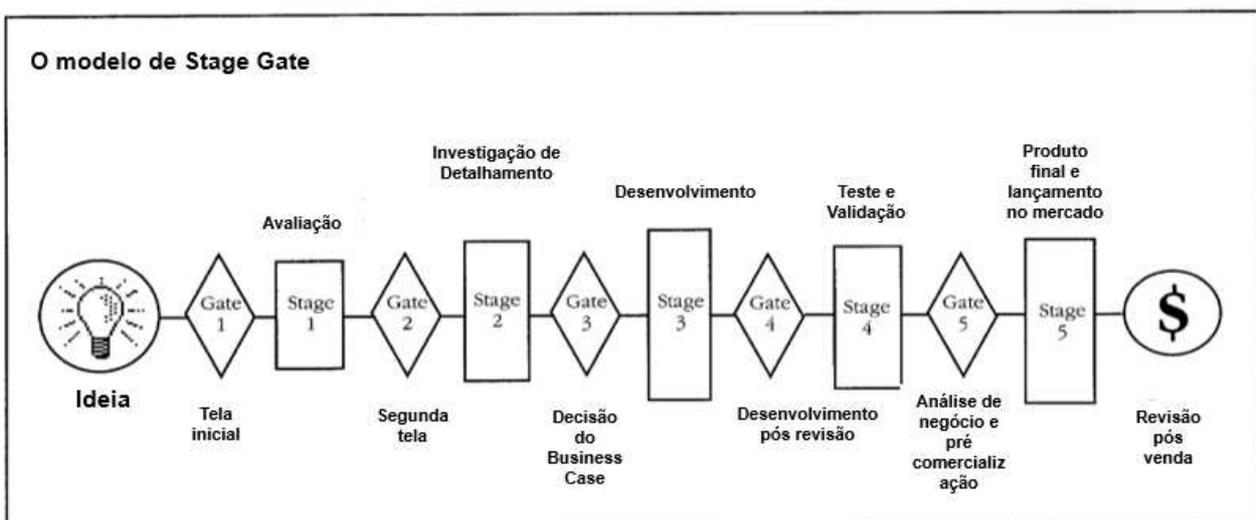
Oliveira *et al.* (2014) afirmam que o método é indicado para analisar o conhecimento sobre os critérios de decisão e a sua influência na tomada de decisão, especialmente nos projetos de natureza inovadora. Os projetos de inovação possuem baixos níveis de conhecimento de informação e, conseqüentemente, dificuldades para levantar fatores necessários na tomada de decisão, isso faz com que projetos capazes de entregar valor excepcional às organizações podem ser abordados de forma inadequada, sendo cancelados apesar de seu potencial.

### 2.3.5.5 O Modelo de Stage Gate

O modelo de Stage Gate foi apresentado por Cooper em 1990 e desde então vem passando por atualizações para incorporar práticas atuais da gestão de projetos, o ajuste mais recente incorpora às metodologias ágeis ao modelo (*The Agile–Stage-Gate Hybrid Model: A Promising New Approach and a New Research Opportunity*). Trata-se de um modelo para impulsionar a inovação através do lançamento de novos produtos para o mercado, de forma mais rápida e com menos erros. (COOPER; SOMMER, 2016).

O sistema de *stage-gate* reconhece que a inovação do produto é um processo e que deve ser gerenciada por estágios. O modelo divide o processo de inovação em um conjunto predeterminado de etapas, composto por um grupo de atividades prescritas, relacionadas e, muitas vezes, paralelas. Dentro de cada etapa do processo há uma série de requisitos que devem ser alcançados para que essa “ideia” passe para a próxima fase. Os *gates* representam uma medida de controle que define qual o destino daquela “ideia” (continuar/descontinuar/congelar/cancelar). Normalmente, os modelos possuem de quatro a sete estágios e *gates*, o modelo mais típico é apresentado na Figura 20 e suas etapas são detalhadas a seguir.

Figura 20: Modelo de Stage Gate



Fonte: Cooper (1990)

#### Ideia:

O novo produto inicia com uma ideia, que é submetida ao *gate* 1, etapa inicial.

#### Gate 1:

Nesta etapa ocorre o nascimento do projeto. O *gate* recebe a ideia inicial e, se a decisão for seguir, o projeto passa então para a fase de avaliação preliminar. Para que a ideia passe para a próxima etapa ela deve atender alguns critérios existentes neste *gate*, que foram definidos pela empresa e estão relacionados ao alinhamento estratégico, viabilidade do projeto, magnitude da oportunidade, vantagem diferencial, sinergia com o core business e recursos da empresa e atratividade do mercado. Questões financeiras não são verificadas neste momento. Essa verificação é feita através de modelos de pontuação.

#### Fase 1: Avaliação Preliminar

Esta etapa tem como objetivo determinar o tamanho de mercado, potencial de mercado e provável aceitação do mercado, para isso são realizadas atividades como: um levantamento de requisitos, contatos com usuários-chave, grupos focais e até mesmo um teste de conceito rápido com uma amostra de usuários em potencial. Simultaneamente uma avaliação rápida e preliminar interna do produto é proposta, para avaliar a viabilidade de fabricação e os possíveis custos.

#### Segundo Gate

Neste momento o projeto é novamente submetido a uma lista de verificação. Ele deve ser submetido novamente aos critérios utilizados no *gate* 1 e mais uma lista adicional que inclui possibilidade de vendas e a reação do cliente ao produto proposto. O retorno financeiro é avaliado no *gate* 2, mas com cálculos rápidos e sem muita precisão. Novamente os projetos serão classificados em seguir/cancelar/congelar/descontinuar.

#### Fase 2: Definição

Esta é a etapa final antes do desenvolvimento do produto, na qual o projeto deve ser claramente definido. Nesta fase são realizados estudos de pesquisa de mercado, teste conceitual e análise competitiva para ajudar a definir o produto “vencedor”. Além disso, são recomendadas avaliações técnicas, avaliações de operações, testes de laboratório, entre outras práticas que ajudem a definir o escopo do produto. Finalmente, uma análise financeira detalhada é conduzida, esta análise financeira normalmente envolve uma abordagem de fluxo de caixa completo e com análise de sensibilidade.

#### Gate 3: Decisão sobre Business Case

Este é o *gate* final antes do Estágio de Desenvolvimento, o último ponto em que o projeto pode ser “morto” antes de entrar em gastos pesados. O projeto é mais uma vez submetido ao conjunto de critérios utilizados no *gate* 2. Em seguida é verificado

se as atividades da fase 2 foram concluídas corretamente e se tem resultados positivos. Depois disso, são definidos os itens de desenvolvimento do produto. Esses itens incluem definição de mercado-alvo, definição do conceito do produto, especificação de uma estratégia de posicionamento do produto, delineamento dos benefícios do produto a serem entregues e concordância com características, atributos e especificações essenciais e desejadas do produto. Além deste, são definidos os planos de desenvolvimento de operações e de marketing.

### Fase 3: Desenvolvimento

A fase 3 envolve o desenvolvimento do produto e (simultaneamente) de planos detalhados de teste, marketing e operações. Uma análise financeira atualizada é preparada e questões legais/patente/direitos autorais são resolvidas.

### Gate 4: Revisão pós-desenvolvimento

A revisão pós-desenvolvimento é uma verificação sobre o progresso e a atratividade contínua do produto e do projeto. O trabalho realizado no desenvolvimento é revisado e verificado, garantindo que tenha sido concluído com alta qualidade. Este *gate* revisita a questão econômica através de uma análise financeira revisada baseada em dados novos e mais precisos. Os planos de teste ou validação para a próxima etapa são aprovados para implementação imediata, e os planos detalhados de marketing e operações são revisados para provável execução futura.

### Fase 4: Validação

Esta etapa testa toda a viabilidade do projeto, o próprio produto, o processo de produção, aceitação do cliente e a economia do projeto, através de:

- Testes internos de produtos: para verificar a qualidade e o desempenho do produto;
- Testes de usuário ou de campo do produto: verificar se o produto funciona em condições reais de uso e, também para medir a reação dos potenciais clientes;
- Ensaio ou produção piloto: testar o processo de produção e determinar custos e taxas de produção mais precisas;
- Mercado de pré-teste, mercado de testes ou venda experimental: para medir a reação do cliente, medir a eficácia do plano de lançamento e determinar a participação de mercado e as receitas esperadas;

- Análise financeira revisada: verificar a viabilidade econômica contínua do projeto, com base em dados novos e mais precisos de receita e custos.

#### Gate 5: Decisão de Pré-Comercialização

Este *gate* final abre a porta para a comercialização completa, é o ponto final em que o projeto ainda pode ser “morto”. Este *gate* foca na qualidade das atividades na fase de validação e seus resultados. As projeções financeiras desempenham um papel fundamental na decisão de avançar e os planos de operações e marketing são revisados e aprovados para implementação.

#### Fase 5: Comercialização

Esta etapa final envolve a implementação tanto do plano de lançamento de marketing quanto do plano de operações.

#### Revisão pós-implementação

Esta etapa corresponde ao encerramento do projeto. A equipe é dissolvida, o produto passa para a linha de produção da empresa e o desempenho do projeto e do produto são revistos. Os dados mais recentes sobre receitas, custos, despesas, lucros e tempo são comparados com projeções para medir o desempenho. Finalmente uma avaliação crítica dos pontos fortes e fracos do projeto e as lições aprendidas são realizadas. Esta revisão marca o fim do projeto.

Os autores destacam que nem todos os projetos passarão por todas as etapas e que as verificações podem ser alteradas conforme o contexto. Além disso, afirmam reconhecer que projetos com inovações mais simples devem ser tratadas de forma mais rigorosa do que projetos mais inovadores como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. O modelo é uma diretriz que orienta o desenvolvimento de produtos de forma estruturada, oferecendo melhores decisões, mais foco, menos falhas e desenvolvimentos mais rápidos.

2.3.5.6 O modelo de gerenciamento de portfólio de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a, 1997b, 1999, 2000, 2001)

Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a) definem o gerenciamento de portfólio como uma decisão dinâmica, carregada de informações incertas e mutáveis, oportunidades dinâmicas, vários objetivos e considerações estratégicas, interdependência entre projetos e com várias etapas de tomadas de decisão. Nesse

processo, novos projetos são avaliados, selecionados e priorizados, os projetos existentes podem ser acelerados, eliminados ou congelados e os recursos são alocados e realocados para os projetos ativos.

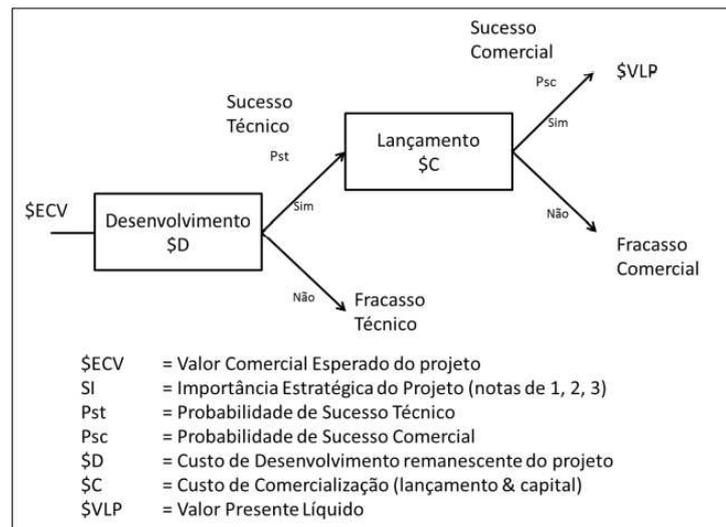
Entre os principais problemas existentes no gerenciamento de portfólio estão: i) o portfólio de projetos não reflete a estratégia da empresa; ii) a qualidade do portfólio é ruim; iii) os processos seguem um modelo túnel e não funil (dificuldade em eliminar projetos); iv) os recursos são escassos e falta foco na atividade; v) pouca inovação no portfólio (projetos que geram avanços significativos).

O gerenciamento do portfólio é norteado por três objetivos: maximizar o valor dos projetos, equilibrar o volume de projetos e garantir o alinhamento estratégico. Para garantir o atendimento destes objetivos, o gerenciamento de portfólio pode contar com algumas ferramentas que foram testadas em organizações referências no gerenciamento de portfólio.

#### Ferramentas para maximização do valor do portfólio

Valor comercial esperado (ECV): determina o valor comercial esperado de cada projeto para a empresa. O cálculo é feito baseado em uma árvore de decisão e considera o fluxo de ganhos dos projetos, as probabilidades de sucesso comercial e técnico, além de custos de comercialização e de desenvolvimento. Entre as vantagens do método estão: busca o máximo de retorno por investimento, penaliza os projetos que estão parados e disponibiliza os recursos gradualmente, de acordo com o andamento do projeto. As desvantagens do método são: dependência de dados financeiros e outros dados quantitativos que podem penalizar projetos inovadores e a ferramenta não considera o equilíbrio do portfólio. A Figura 21 é uma representação de ECV.

Figura 21: Método ECV



Fonte: Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a)

Índice de Produtividade: é um método semelhante ao ECV e, também, tem como objetivo maximizar o valor financeiro do portfólio para uma determinada restrição de recursos. O índice de produtividade é descrito pela expressão:  $([ECV * P^{ts} - R\&D] / R\&D)$ . Aqui, o valor comercial esperado (ECV) é um fluxo de caixa ponderado pela probabilidade de sucesso técnico do projeto ( $P^{ts}$ ) e o R&D representa os dispêndios do projeto. Os projetos são ordenados de acordo com esse índice para chegar ao portfólio preferido.

Lista de classificação dinâmica ordenada: é mais robusta que os métodos anteriores porque considera mais de um critério e não é complexa como outras ferramentas de múltiplos critérios. Estes critérios podem incluir: medidas de rentabilidade e retorno, importância estratégica, facilidade e rapidez de execução e outras características desejáveis de um projeto de alta prioridade. A Figura 22 apresenta uma lista com alguns critérios sugeridos pelos autores.

Figura 22: Lista de Classificação Dinâmica Ordenada

Projeto	TIR*Pst	VPL*Pst	Importância Estratégica	Pontuação Final
Alpha	16.0 (2)	8.0 (2)	5 (1)	1.67 (1)
Epsilon	10.8 (4)	18.0 (1)	4 (2)	2.33 (2)
Delta	11.1 (3)	7.8 (3)	2 (4)	3.33 (3)
Omega	18.7 (1)	5.1 (4)	1 (5)	3.67 (4)
Gamma	9.0 (6)	4.5 (5)	3 (3)	4.67(5)
Beta	10.5(5)	1.4 (6)	2 (4)	5.00 (6)

Fonte: Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a)

Neste exemplo a primeira coluna representa os projetos. A segunda coluna é resultado da multiplicação da TIR pela probabilidade de sucesso técnico do projeto. A terceira coluna é a multiplicação do VPL pela probabilidade de sucesso técnico do projeto. A quarta coluna são os scores definidos para o critério de importância estratégica e a última coluna é a média aritmética dos 3 rankings.

Modelos de pontuação: é desenvolvida uma lista de critérios para classificar os projetos em alta prioridade e baixa prioridade. Os projetos são avaliados em cada critério, geralmente nas escalas de 1 a 5 ou 0 a 10. Em seguida, essas pontuações são multiplicadas por ponderações e somadas em todos os critérios para gerar uma pontuação de projeto para cada projeto. A dificuldade do modelo está na definição dos critérios, que podem fazer com que a ferramenta caia em desuso. Para isso, os autores desenvolveram uma categoria de critérios (por eles chamada de Hoehst-EUA) que representam fatores principais: recompensa, ajuste da estratégia de negócios, alavancagem estratégica, probabilidade de sucesso comercial e probabilidade de sucesso técnica. Dentro de cada um desses cinco critérios, há uma série de características ou medidas específicas (19 no total), que são pontuadas de 0 a 10 pelos gestores. A adição simples dos itens em cada fator gera as cinco pontuações dos fatores, que são adicionadas de maneira ponderada para gerar uma pontuação geral de atratividade do programa para o projeto. Essa pontuação final é usada para definir quais projetos avançam e quais suas prioridades.

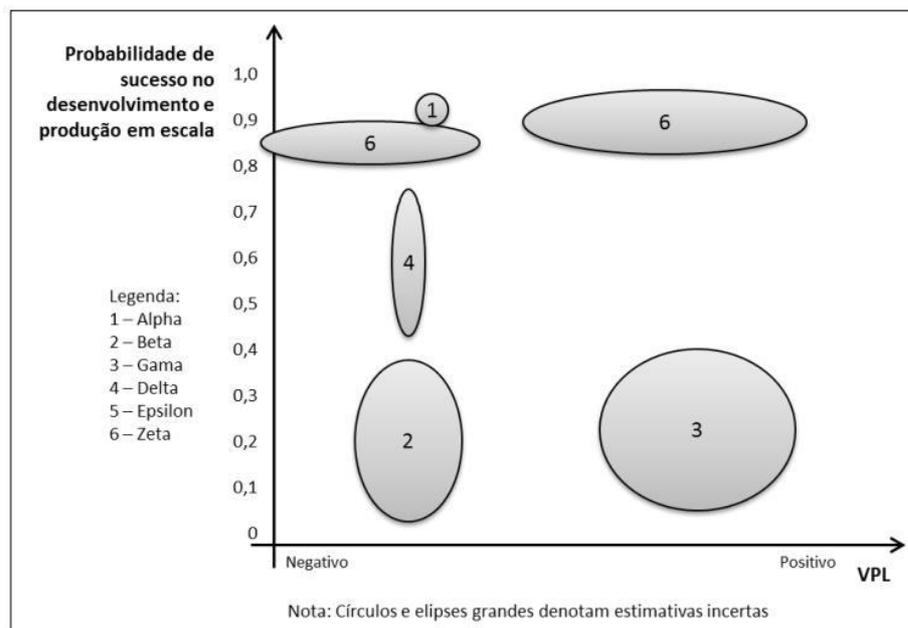
Embora os métodos de maximização de valor descritos acima tenham muito a ser elogiados, sua maior fraqueza como grupo é que eles falham em garantir que o portfólio esteja alinhado estrategicamente e equilibrado de maneira ideal. Para isso são sugeridas outras ferramentas.

### Ferramentas para balanceamento do portfólio

O balanceamento do portfólio é uma distribuição equilibrada entre projetos de inovação e projetos tradicionais. Os diagramas visuais são as ferramentas preferidas para exibir o equilíbrio nas carteiras de projetos. Estas ferramentas incluem diagramas de bolhas, matriz BCG gráficos e histogramas tradicionais. O diagrama de bolhas e a matriz BCG já foram apresentadas no capítulo anterior. Aqui serão apresentadas as outras ferramentas sugeridas pelos autores.

Matrizes 3M: são variantes do diagrama de bolha e nesta matriz o tamanho das elipses representa as incertezas em relação ao projeto, pequenas bolhas significam estimativas altamente certas para cada dimensão, enquanto elipses grandes significam incerteza considerável para esse projeto. A Figura 23 apresenta um exemplo do diagrama de bolhas 3M.

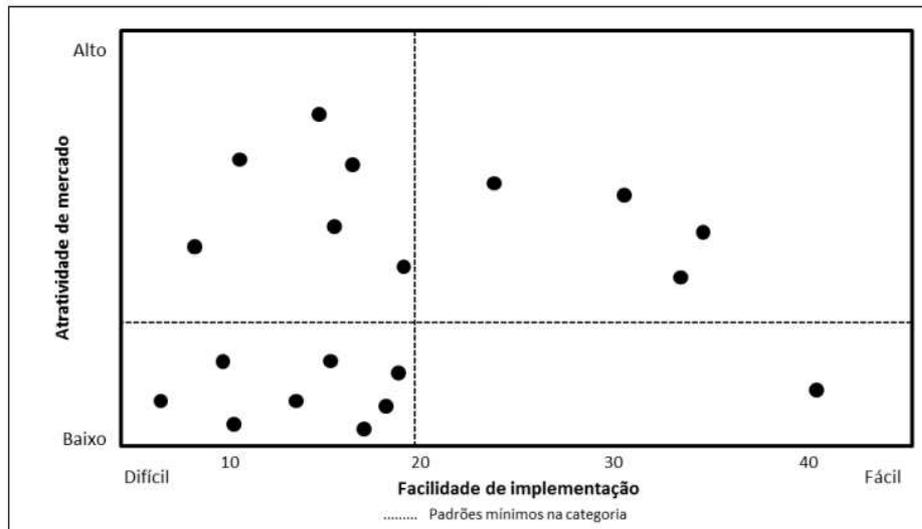
Figura 23: Diagrama de Bolhas 3M



Fonte: Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a)

Mapas de portfólio derivados de modelos de pontuação: é um gráfico simples que representa a facilidade vs. a atratividade do projeto. Na Figura 24 o eixo vertical representa a atratividade de conceito e o eixo horizontal a facilidade de implementação. Ambos os eixos foram construídos a partir do modelo de pontuação e cada ponto representa um projeto.

Figura 24: Modelo de Pontuação



Fonte: Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a)

Gráficos tradicionais: Muitos histogramas e gráficos podem ser usados para gerenciar o balanceamento do portfólio, entre eles o gráfico de pizza. Alguns parâmetros importantes podem ser utilizados para criar estes gráficos como: tempo vs. fluxo de caixa, recurso vs. tempo, recurso vs. tipo de projeto, entre outras medidas que foram importantes de serem gerenciadas.

Edgett e Kleinschmidt (1997a) destacam que apesar de tantas ferramentas e métodos existentes, o equilíbrio do portfólio é uma atividade difícil e enfrenta problemas recorrentes, entre os problemas destacam:

- a) Alguns diagramas de bolhas são construídos com dados financeiros imprecisos ou indisponíveis, e como consequência distorcem as informações, como o ocorre nos modelos de maximização de valor.
- b) Há muitas ferramentas e sobrecarga de informações, dificultando para os gestores a escolha da mais adequada;
- c) As ferramentas servem para exibir informações, apoiar e conduzir o processo de tomada de decisão. A gerência deve analisar os dados e conduzir os processos;
- d) Não são estabelecidos regras e dados para “o melhor balanceamento”, faltam discussões claras de qual seria o equilíbrio do balanceamento;
- e) Não é claro como utilizar as ferramentas.

O fato de os métodos apresentados não serem perfeitos não significa que eles devam ser descartados. Eles devem ser utilizados com cuidado e a escolha deve ser

bem pensada, de modo que sua adoção traga vantagens. A seguir são apresentadas as ferramentas sugeridas para garantir o alinhamento estratégico.

#### Ferramentas para alinhamento estratégico do portfólio

Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997b) destacam que duas abordagens são possíveis para alcançar o alinhamento estratégico: incorporar às estratégias ferramentas de seleção e priorização de projetos e utilizar estratégias top-down para direcionar os recursos para os projetos. A ferramenta sugerida para a primeira abordagem é o modelo de pontuação (já descrito). As ferramentas para garantir o alinhamento estratégico *top-down* são os baldes estratégicos (já descritos) e o plano ou checagem estratégica.

Plano estratégico ou verificação estratégica: esta ferramenta é semelhante aos dos baldes estratégicos, mas com fluxo inverso. Este método começa desenvolvendo um ranking completo do portfólio de todos os projetos, utilizando algum método tradicional de maximização (modelo de pontuação ou critérios financeiros). Em seguida verifica se a lista de projetos em andamento é realmente consistente com a estratégia da empresa. Verifica-se então lacunas existentes e realiza-se o realinhamento dos projetos, conforme a estratégia, podendo haver alterações nas prioridades dos projetos. A vantagem do método está na facilidade de implementação e pouca exigência para o gerenciamento.

Como conclusão os autores destacam que o gerenciamento de portfólio é fundamental para as empresas porque trata da alocação de recursos. No mundo dos negócios os recursos são muito escassos para serem alocados em projetos errados. Não há receita pronta para o gerenciamento de portfólio, o que há é uma gama de ferramentas que podem auxiliar entregando informações úteis para apoiar a tomada de decisão.

#### 2.3.5.7 Modelo de gestão de gestão de portfólio de inovação de Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019)

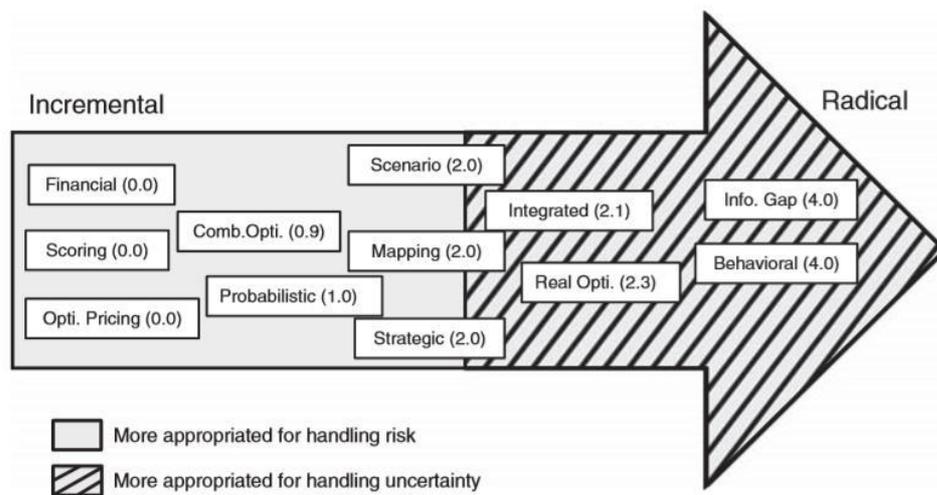
Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019) realizaram um levantamento da literatura para identificar a evolução dos métodos e ferramentas de gestão de portfólio de inovação ao longo dos anos. Os autores identificaram 12 categorias que contemplam desde inovações incrementais até inovações radicais. As categorias foram por eles classificadas em: financeira, probabilística, precificação de

opções, estratégica de pontuação, otimização combinatória, métodos comportamentais, modelos integrados, abordagens de mapeamento, opções reais, métodos integrados, teoria da lacuna de informações e abordagem baseada em integração de cenários.

Os resultados da pesquisa apontam que os métodos integrados são os mais indicados para selecionar os portfólios de projetos, tanto para inovação radical quanto para projetos com inovação incremental. Esse fato ocorre porque ferramentas como modelo de pontuação, são mais úteis para identificar quais projetos tem maior incerteza e riscos, e ferramentas como opções reais são importantes para quantificar os ganhos do projeto.

Os autores identificaram quatro requisitos fundamentais que precisam ser entendidos na gestão de portfólio de projetos de inovação: i) dinamismo: característica que permite que os gestores ajustem permanentemente a carteira de acordo com a evolução das diretrizes da empresa; ii) interdependência: a inter-relações entre projetos e seus impactos no desempenho do portfólio; iii) as incertezas: situações nas quais nem os resultados nem as probabilidades poderiam ser conhecidas e iv) os dados: que variarão de acordo com a necessidade do método. Diante disso, os autores propõem uma metodologia que avalia qual a ferramenta mais adequada para lidar com riscos e incertezas, presentes nos projetos de inovação, representada pela Figura 25.

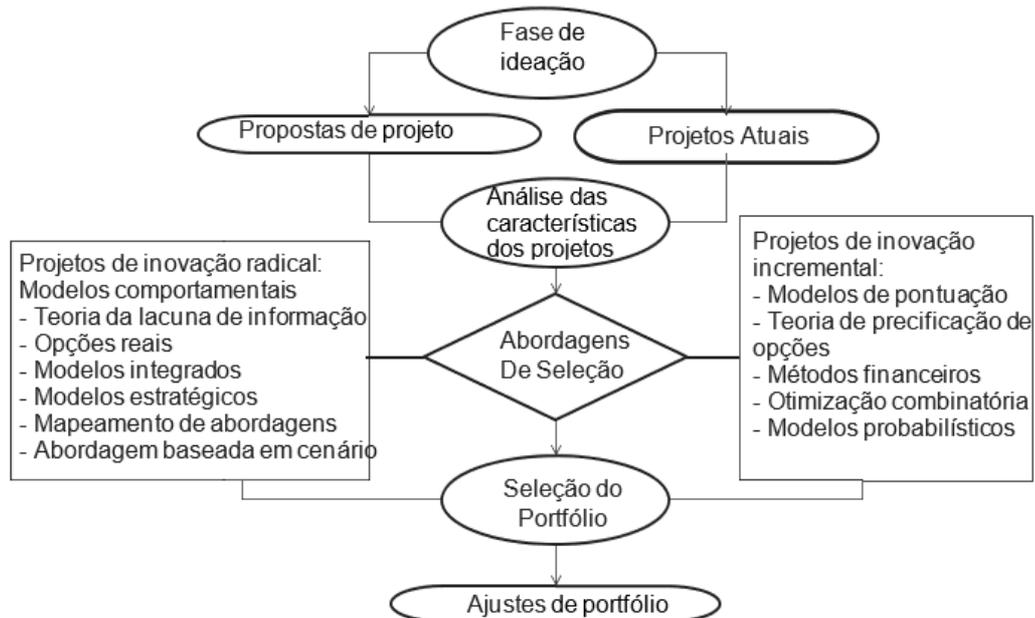
Figura 25: Método Proposto para Seleção de Ferramenta de Acordo com Grau de Inovação



Fonte: Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019)

Depois de identificar as vantagens e desvantagens de cada abordagem e quais os métodos mais recomendados para projetos de inovação radical, os autores propõem um modelo para seleção de portfólio de projetos de acordo com o grau de inovação. O modelo proposto é representado pela Figura 26.

Figura 26: Métodos para Gestão de Portfólio de Inovação



Fonte: Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019)

O método proposto é composto de quatro etapas:

I. Fase de ideação:

Esta fase inclui identificar as metas estratégicas, as restrições de recursos e as diretrizes do projeto. Como resultado desta etapa o projeto é caracterizado e identificado quanto ao grau de inovação.

II. Análise das características dos projetos:

Nesta etapa os projetos são selecionados utilizando uma ou mais abordagens de acordo com o nível de inovação.

III. Abordagens de seleção:

Nesta etapa os tomadores de decisão selecionarão as ferramentas e métodos que melhor se adequam ao grau de inovação do projeto, para que possa ser identificado se fará ou não parte do portfólio de projetos da organização.

#### IV. Seleção do portfólio

Compreende a etapa de seleção dos projetos, que deve ser realizada de acordo com a estratégia da empresa e buscando o balanceamento do portfólio.

#### V. Ajuste de portfólio

Trata-se da última fase, na qual os gestores podem incluir, modificar ou descartar projetos de acordo com o ambiente e as metas estratégicas.

Os autores reforçam que projetos de inovação radical usualmente proporcionam desempenho superior as organizações, porém são mais complexos de serem gerenciados. Os métodos e ferramentas apresentados têm como objetivo auxiliar as empresas na seleção mais da ferramenta mais adequada para cada nível de inovação, mas reforçam que essa tomada de decisão varia de acordo com o contexto.

#### 2.3.5.8 *Design Thinking (DT)*

O *Design Thinking (DT)* pode fornecer à gestão de projetos novas perspectivas para enfrentar os desafios de inovação. O pensamento do DT tem sido destacado como uma nova metodologia e uma prática potencialmente valiosa para melhorar os resultados de inovação, sejam esses resultados produtos, serviços ou estratégias. (MAHMOUD-JOUINI; MIDLER; SILBERZAHN, 2016). O DT é um processo de aprendizagem com o objetivo de obter novos insights. Ele é frequentemente descrito como uma forma de ajudar as equipes a aprenderem sobre às necessidades de outras pessoas e propor soluções. (HÖLZLE; RHINOW, 2019).

O DT é um processo estruturado de exploração para problemas mal definidos. Trata-se de um processo de inovação centrado no cliente que enfatiza observação, colaboração, aprendizado rápido, visualização de ideias e prototipagem rápida de conceitos. (MAHMOUD-JOUINI; MIDLER; SILBERZAHN, 2016). O processo de DT é composto de 7 etapas: definição do briefing, pesquisar histórico, gerar ideias, testar protótipos, selecionar produto, implementar e aprender, como mostra a Figura 27:

Figura 27– Etapas do *Design Thinking*

Fonte: Ambrose e Harris (2011)

A seguir são detalhadas as etapas segundo as definições de Ambrose e Harris (2011).

#### Etapa 1: Definir o problema:

Nesta etapa o *design* recebe o *briefing* que tem a solicitação do cliente. Esse *briefing* pode ser simples e preciso ou mais complexo. O *design* precisa interpretar o *briefing* e definir o que o cliente deseja. O *briefing* precisa obter todas as informações para que a equipe possa iniciar o projeto, caso falem informações o *briefing* tem que ser retrabalhado com o cliente.

#### Etapa 2: Pesquisar:

Depois de definido o *briefing*, a equipe do projeto começa a coletar às informações para ter *insights* no processo de geração de ideias. Podem ser usados como dados os feedbacks coletados na etapa anterior e informações gerais em relação ao tema. Nesta etapa a equipe do projeto pode construir um modelo mental do usuário.

#### Etapa 3: Gerar ideias:

Nessa fase a equipe junta as informações e as restrições do projeto e propõe as ideias. Podem ser utilizadas diferentes técnicas para a geração de ideias. Para Ambrose e Harris (2011, p.20) as técnicas utilizadas podem ser:

As técnicas incluem o brainstorming, o esboço ou rafe de ideias, a adaptação de designs já testados e aprovados, a adoção de uma abordagem analítica top-down com foco no produto, serviço ou empresa, ou de uma abordagem bottom-up direcionada ao consumidor ou usuário.

#### Etapa 4: Testar protótipos:

Com base nas ideias geradas, são desenvolvidos os protótipos, para analisar a viabilidade técnica das ideias. Com os protótipos é possível analisar o desempenho

e eficiência do produto, visualizar o design do produto e verificar se atende ao solicitado pelo cliente.

#### Etapa 5: Selecionar:

Nessa etapa ocorre a seleção do projeto de acordo com as especificações do *briefing*. A proposta selecionada normalmente é aquela que melhor atende ao que foi solicitado pelo cliente, mas fatores como custo e tempo são relevantes na seleção. O orçamento também pode influenciar a solução escolhida. As restrições de tempo e custo devem ter sido identificadas na etapa de definição. Ao final da etapa de seleção, o cliente tem que aprovar o protótipo, só depois da aprovação se segue para a próxima etapa.

#### Etapa 6: Implementar:

Nessa etapa a equipe de projetos passa as especificações para a equipe de produção. Esse é o momento de confirmar as especificações de produção. Essa etapa finaliza com a entrega do produto ao cliente.

#### Etapa 7: Aprender:

Essa é a etapa de *feedback* no qual a equipe de projeto e o cliente procuram identificar o que atendeu ao solicitado e o que precisa ser melhorado. Essa etapa se torna uma oportunidade de aprendizado e uma fonte de informações para as etapas de definição e pesquisa dos próximos projetos.

Nesta seção foram descritos as ferramentas e métodos mais usuais, encontrados na literatura, para gerenciar os portfólios de projetos de inovação, categoria que contempla os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. A seção que segue apresenta uma síntese dos temas abordados neste capítulo: indústria 4.0, tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, projeto e portfólio de projetos e ferramentas e métodos para gerenciar portfólio de projetos de inovação.

## 2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A quarta revolução industrial é marcada pela integração das tecnologias aos processos produtivos com o objetivo de alavancar a competitividade das organizações. Há inúmeras tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 que estão sendo introduzidas nos sistemas produtivos com o objetivo de melhorar a competitividade das organizações, trazer flexibilidade, melhoria da qualidade, redução de custos.

(TÜRKEŞ *et al.*, 2019; SANDERS *et al.*, 2016). A indústria 4.0 é um assunto atual e países como Japão, Alemanha, China e Estados Unidos já lançaram projetos para alavancar os negócios valendo-se deste paradigma. (TÜRKEŞ *et al.*, 2019). Os projetos da indústria 4.0 podem ser classificados como projetos de inovação. A literatura evidencia clara distinção entre projetos convencionais e projetos de inovação. Projetos de inovação possuem a falta de objetivos claros, um alto grau de incerteza nos processos e grande necessidade de exploração. Para Filipov e Mooi (2010) podem ser enquadrados nesta categoria os projetos de tecnologias, como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, projetos de pesquisa, projetos de desenvolvimento de novos produtos ou outros projetos de inovação.

Um portfólio adequado de projetos garante vantagem competitiva da organização. Entretanto, gerenciar os portfólios de projetos é um desafio em virtude das incertezas existentes, a interrelação entre os projetos e as mudanças constantes no ambiente que afetam os projetos. (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014). No caso do portfólio dos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, há ainda os desafios financeiros enfrentados pelas organizações, a maturidade do setor de tecnologia de informação, a formação de recursos humanos qualificados e a dificuldade de quantificar os retornos destes projetos. (ERBAY; YILDIRIM, 2018; VERMULM *et al.*, 2018; KIPPER *et al.*, 2019).

A literatura busca alternativas para romper estas barreiras oferecendo uma série de ferramentas e métodos para auxiliar no gerenciamento do portfólio de projetos. Os métodos e técnicas para condução dos projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, diferem dos métodos para condução dos projetos tradicionais. Para os projetos de inovação as técnicas tradicionais de orçamento, como o VPL e o ROI, não são indicadas, pois utilizam decisões do tipo tudo ou nada no presente e, portanto, tendem a penalizar projetos de inovação radicais. Eles não reconhecem que um projeto tem como possibilidade trazer retornos no futuro e desconsideram fatores intangíveis importantes para alavancar o desempenho da organização como: vantagem competitiva futura, oportunidades, flexibilidade. (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; SANTOS; PAMPLONA, 2002).

Para conduzir portfólios de projetos de inovação são indicadas ferramentas mais ilustrativas, como diagramas, gráficos, matrizes e modelos combinados que utilizam diferentes ferramentas para cada etapa do processo. A literatura apresentou

ferramentas e métodos únicos como matriz BCG, diagrama de bolhas, roadmap, método de hierarquia analítica (AHP), teoria das opções reais entre outros e, também métodos compostos como o modelo de Stage-Gate, o portfólio de Mathews, a gestão de portfólio de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt entre outros modelos. (COOPER, 2001; MATHEWS, 2010; COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 1997a, 1997B, 1999, 2000, 2001).

Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a) destacam como principais problemas do gerenciamento de portfólio a falta de alinhamento estratégico, uma seleção ruim de projetos, recursos escassos e pouca inovação no portfólio. Diante disso, um portfólio equilibrado deve buscar maximizar o valor dos projetos, manter um balanceamento entre os projetos e garantir o alinhamento estratégico. As ferramentas existentes buscam auxiliar na resolução destes problemas fornecendo dados úteis para que os gestores tenham informações e possam conduzir o processo de tomada de decisão de forma mais assertiva. (CHAPARRO, DE VASCONCELOS GOMES; DE SOUZA NASCIMENTO, 2019).

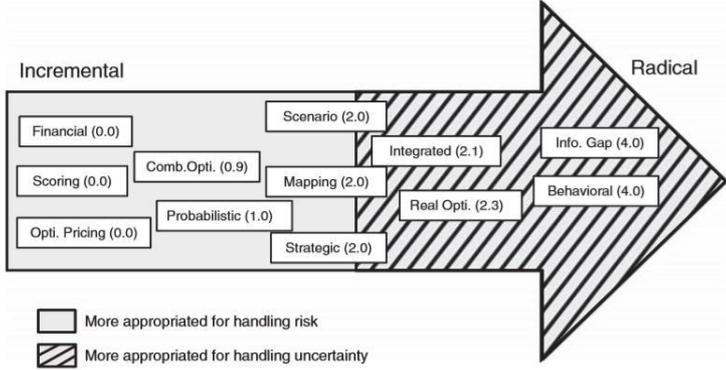
Não é definido por nenhum dos autores lidos um método ou ferramenta como dominante, o mais relatado nos resultados da revisão sistemática realizada é o modelo de *Stage-Gate*, que é também o mais citado na *Scopus*, 786 citações em julho de 2020. Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997b) afirmam que a ferramenta mais apropriada é definida pela organização e que o sucesso da aplicação depende da precisão dos dados e da capacidade de tomada de decisão da gestão. Por esta razão, avançar na compreensão de como são conduzidos os portfólios de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 é importante e uma lacuna a ser investigada.

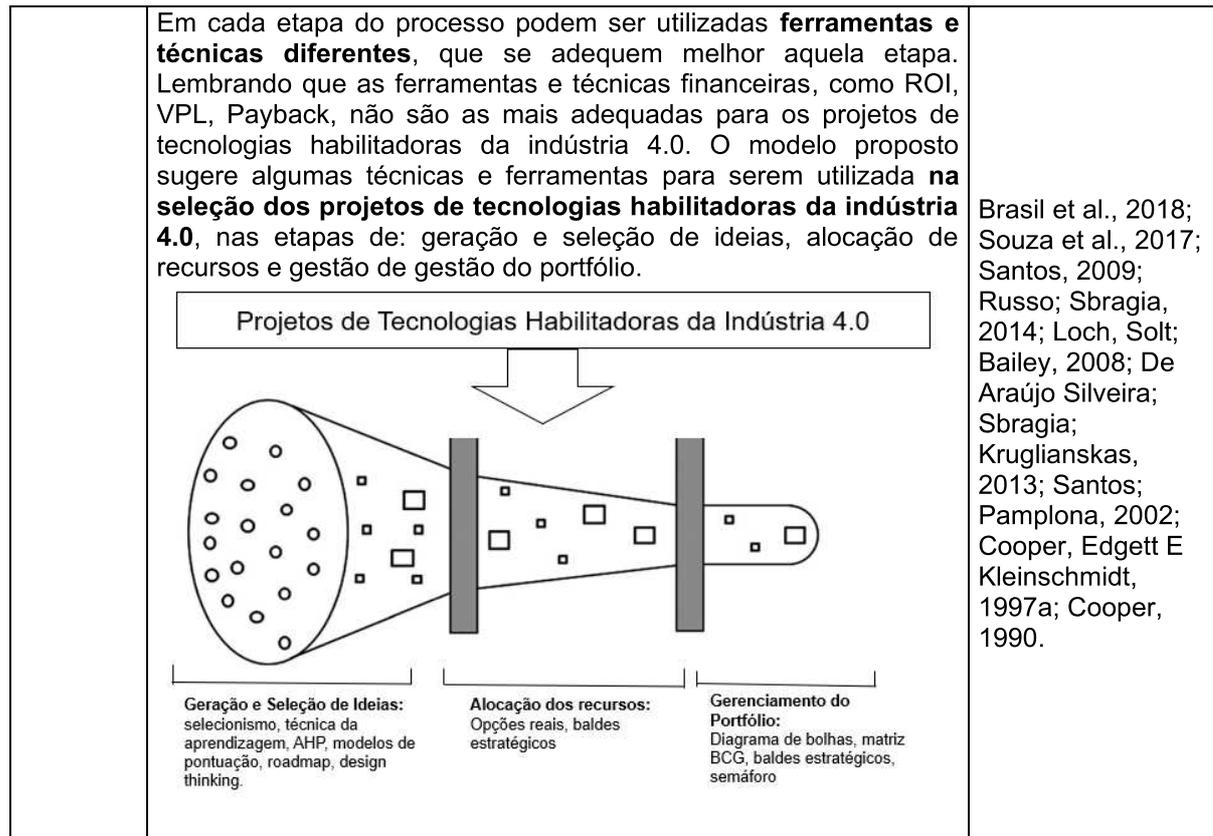
O quadro 2 sintetiza os conceitos que foram adotados nessa pesquisa, embasados nas principais referências explanadas anteriormente.

Quadro 2: Quadro Conceitual

Itens de interesse	Definição Adotada	Referências
Indústria 4.0	A <b>Indústria 4.0</b> refere-se ao paradigma da automatização dos sistemas industriais, <b>através da integração de tecnologias digitais aos processos produtivo</b> , para o alcance de flexibilidade, produtividade, qualidade e gerenciamento e possibilitando novas estratégias de negócios industriais.	Erbay ;Yildirim, 2018; Türkes et al., 2019; Klingenberg, Borges, Antunes Jr., 2019

	Entre todas as tecnologias, as citadas na literatura com mais frequência são: <b>os sistemas cyber físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Big Data, Big Data Analytics, computação em nuvem, automação, manufatura aditiva e simulação</b> . Diante disso, estas serão as tecnologias selecionadas para serem observadas no estudo.	Petrillo; Zomparelli, 2018; Klingenberg, Borges, Antunes Jr. 2019.
Projeto	Os projetos fazem parte de uma rotina diária da organização. Os projetos podem ser definidos como: <b>uma atividade com escopo único, que mobiliza recursos e tem limitações de tempo, custo e escopo</b> . Eles podem ser classificados em <b>projetos convencionais e projetos de inovação</b> , de acordo com sua especificação.	Carvalho e Rabechini Jr (2011); (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014); Filipov e Mooi (2010)
Portfólio	Portfólio de projetos <b>é um grupo de projetos executado por uma organização</b> . Este portfólio divide recursos como orçamentos, mão de obra, equipamentos e outros. Um portfólio adequado garante equilíbrio na carteira de projetos da empresa e maior proporção entre projetos de alto valor, além de melhor equilíbrio entre projetos e recursos. Há muitos desafios na gestão de portfólio entre eles pipelines sobrecarregados e a falta de dados confiáveis sobre os quais basear para tomar as decisões de escolha do portfólio.	Carvalho e Rabechini Jr (2011); (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014); (COOPER; SOMMER, 2020).
Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0	<b>Sistemas cyber físicos (CPS)</b> são sistemas mecatrônicos, controlados por softwares, com capacidade de reprodução virtual do mundo físico, são conhecidos como “gêmeos virtuais”. Nesse ambiente os dois sistemas funcionam como se fossem um, de modo que tudo o que acontece no sistema físico impacta no sistema virtual e vice-versa Eles disponibilizam a troca de dados em tempo real, permitindo que o mundo real possa atuar no sistema produtivo seja controlando, reprogramando ou ajustando.	Lee et al. 2013; Sacomano et al. 2018; Klingenberg, Borges, Antunes Jr. 2019.
	<b>Big Data Analytics</b> é um grande volume de dados complexos, desestruturados e desvinculados vindos de várias fontes autônomas que não podem ser adquiridos, armazenados e gerenciados por softwares comuns de bancos de dados. Devem possuir alguma ferramenta para encontrar padrões e extrair informações relevantes do conjunto de dados. Exemplos de utilização de big data analytics são o waze e a Netflix que são capazes de sugerir produtos a partir da análise das informações dos usuários.	Wu et al., 2013; Chen; Liu, 2014. Mass, 2016.
	<b>A Internet das Coisas (IoT)</b> é a ferramenta que trata da vinculação de objetos à Internet. É capaz de obter informações de diferentes sensores e objetos, encaminhá-las para os datacenters alocados na nuvem. Um forno industrial que em determinado ponto de inspeção capta a temperatura e repassa essa informação, pela internet, para uma central de controle é um exemplo de aplicação de IoT.	Sharma, A.; Sharma A.; Gupta; S., 2017; Wan et al., 2016; Sacomano et al. 2018
	<b>Computação em nuvem</b> é um modelo no qual é permitido o acesso universal a uma rede compartilhada de recursos, possibilitando acessar os arquivos e executar diferentes tarefas pela internet de qualquer lugar que se esteja. É assim definida porque não se sabe onde estão localizados os servidores dos dados, como eles são processados e nem replicados.	Botta, 2016; Sacomano et al. 2018. Klingenberg, Borges, Antunes Jr. 2019.

	<p><b>Manufatura aditiva</b> é o processo de criação de produtos de modelo 3D, a partir da união de materiais, o qual normalmente ocorre pela adição de camadas. Ela permite a impressão através de diferentes lugares. Por exemplo, uma impressora instalada em SP recebe instruções de fabricação da Alemanha e fabrica a peça em SP, no local onde ela será usada.</p>	Frazier, 2014; Sacomano et al. 2018.
	<p><b>Simulação</b> é definida como a representação virtual de determinada operação do mundo real. Permite aproximar o mundo físico do virtual para analisar dados, testar e melhorar os processos antes de sua implementação.</p>	Zúñiga; Moris; Syberfeldt, 2017; Golienetxea Uriarte; Ng; Urenda Moris, 2018
	<p><b>Inteligência artificial (AI)</b> é o ramo da ciência da computação responsável por desenvolver softwares e máquinas com inteligência comparável à do ser humano e que possam resolver problemas de maneira mais eficiente. AI controla o processo de produção e fornece sugestões para diversas necessidades de decisão, isso pode ser adquirido através de programas de computação e algoritmos. São exemplos de aplicação de AI é a machine learning.</p>	Hall, 2001; Salehi; Burgueño, 2018
	<p>A <b>automação</b> refere-se à capacidade de realização de tarefas sem a interação humana, com equipamentos que interagem sozinhos e controlam a si próprios a partir das informações/orientações recebidas. Os exemplos mais claros de automação são os robôs.</p>	Sacomano et al. 2018; Bahrin et al., 2016
<p>Ferramentas e Métodos para Gerenciar portfólios de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0</p>	<p>Os <b>projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem ser classificados como projetos de inovação</b>. Os projetos de inovação envolvem um certo grau de incerteza que é considerada um parâmetro relevante para a tomada de decisão de investimentos. As ferramentas para selecionar os projetos deveriam ser <b>escolhidas de acordo com grau de inovação dos projetos</b>, como sugere o modelo de Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019).</p>  <p> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black;"></span> More appropriated for handling risk  <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); border: 1px solid black;"></span> More appropriated for handling uncertainty </p>	<p>Filipov; Mooi, 2010; Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento, 2019.</p>



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Neste capítulo foram apresentadas as principais definições dos temas selecionados para este trabalho. O quadro conceitual 2 finalizou o capítulo apresentando as definições que foram utilizadas para embasamento da pesquisa de campo. No capítulo que segue é apresentada a metodologia selecionada para condução da pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

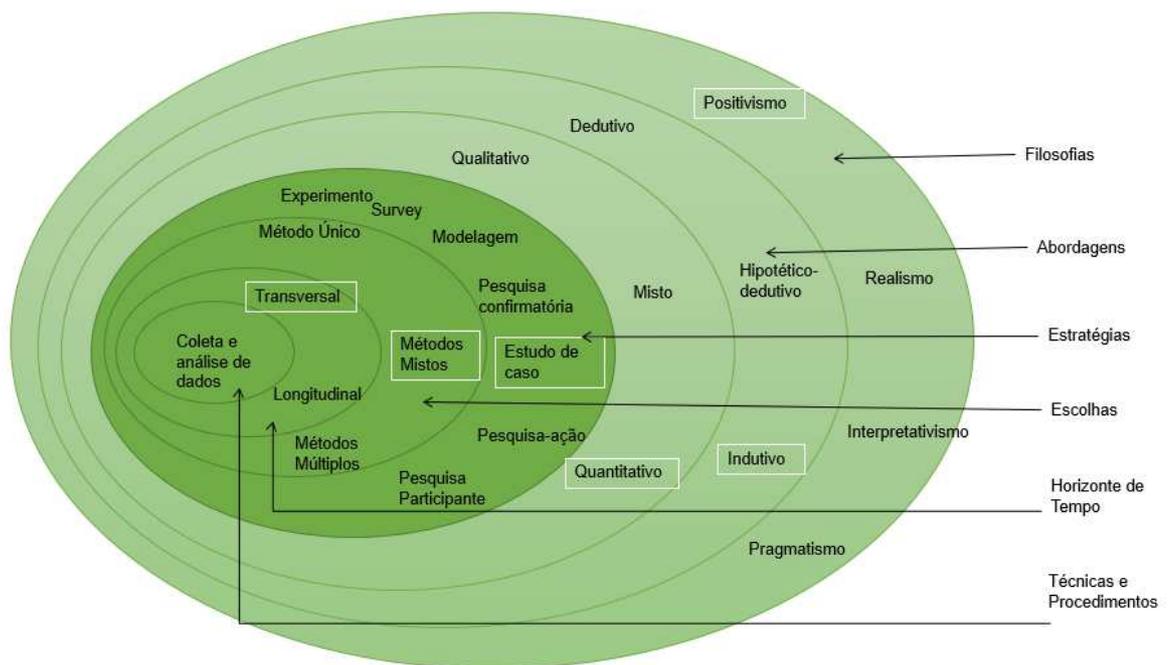
A escolha do método de pesquisa é um requisito fundamental para garantir a confiabilidade do estudo. A escolha do método correto garante a qualidade e a veracidade dos resultados. (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). É nesse contexto que a seleção de uma metodologia adequada é fundamental para o sucesso de qualquer projeto de pesquisa. (BARNES, 2001).

O presente capítulo apresenta o método científico, o método de trabalho e a condução utilizada para a coleta e análise dos dados.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento refere-se ao planejamento da pesquisa de forma mais ampla, auxilia o pesquisador no planejamento da pesquisa, incluindo coleta, análise e interpretação de dados. O delineamento tem como principal objetivo considerar o ambiente em que os dados são coletados, o procedimento adotado e as formas de controle das variáveis envolvidas. (Gil, 2010). A Figura 28 contextualiza uma abordagem sobre o desenvolvimento do conhecimento científico, proposta por Thornhill, Saunders e Lewis (2009).

Figura 28: A Lógica da Cebola



Fonte: Adaptado de Thornhill, Saunders e Lewis (2009, p. 108).

A filosofia de pesquisa definida (positivismo, realismo, interpretivismo ou pragmatismo) contém suposições importantes sobre a maneira como o pesquisador enxerga o mundo. Essas suposições embasarão a estratégia de pesquisa e os métodos que o pesquisador escolhe para conduzir a pesquisa. (THORNHILL; SAUNDERS; LEWIS, 2009). Nesse contexto a presente pesquisa adota uma abordagem positivista. O positivismo trabalha com uma realidade social observável, usa teoria existente e coleta dados que permitem confirmar ou refutar hipóteses. (THORNHILL; SAUNDERS; LEWIS, 2009).

No que tange a abordagem adotada, esta pesquisa é classificada como indutiva. A pesquisa indutiva parte da observação de determinado fenômeno, descobre a relação existente entre as observações e finaliza generalizando os resultados da pesquisa. Métodos indutivos para orientar pesquisas são comuns na área da gestão. Algumas vezes as observações são subsídios para a geração de soluções tanto para problemas práticos quanto para a construção de teorias. (DRESCH; LACERDA; ANTÚNES JÚNIOR, 2015).

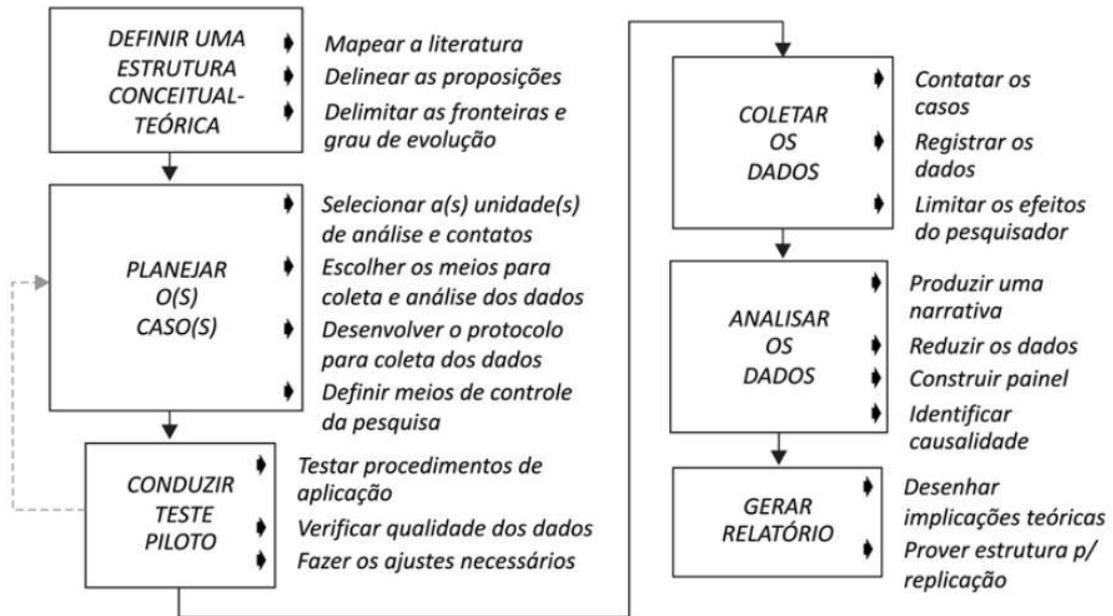
Em relação ao tipo de abordagem, os estudos podem ser classificados em qualitativos, quantitativos ou combinados (SILVA; MENEZES, 2005). Esta pesquisa é classificada como qualitativa. Pesquisas qualitativas trabalham, predominantemente, com a interpretação de dados indutivamente, não requer uso de métodos e técnicas estatísticas para isso. Neste cenário, o ambiente natural é a fonte da coleta de dados e o pesquisador o instrumento chave do processo. (SILVA; MENEZES, 2005). Neste trabalho a pesquisadora foi o instrumento chave para a coleta dos dados e utilizou diferentes fontes e tipos de dados para subsidiar o estudo.

Em relação aos procedimentos técnicos, Cauchick *et al.* (2019) afirmam que os métodos mais usuais para conduzir pesquisas na área de engenharia de produção e gestão de operações são survey, estudo de caso, pesquisa-ação e modelagem e simulação. O procedimento técnico escolhido para subsidiar essa pesquisa foi o estudo de caso. Segundo Eisenhardt (1989) o estudo de caso é uma pesquisa que se concentra na compreensão da dinâmica presente em ambientes únicos. Segundo Cauchick *et al.* (2019) o estudo de caso é o método indicado para investigações exploratórias e de construção de teoria.

Para garantir o alcance dos objetivos do trabalho, o estudo de caso deve cumprir as etapas essenciais da pesquisa. Estas etapas compreendem desde a estrutura conceitual até os resultados obtidos pela coleta de dados. A Figura 29

apresenta uma proposta de sequência de etapas consideradas como básicas para um estudo de caso.

Figura 29: Etapas para Condução do Estudo de Caso



Fonte: Cauchick Miguel et al. (2019, p.133).

Os estudos de caso podem envolver casos únicos ou múltiplos, vários níveis de análise e geralmente combinam diferentes métodos de coleta de dados. (EISENHARDT, 1989). Nesta pesquisa, o estudo de caso foi um estudo profundo e com diferentes métodos de coleta de dados.

No que se refere ao horizonte de tempo, a pesquisa é transversal. Pesquisas transversais abordam o estudo de um determinado fenômeno (ou fenômenos) em um determinado momento. Elas podem estar procurando descrever a incidência de um fenômeno, ou explicar como os fatores estão relacionados em diferentes organizações. (THORNHILL; SAUNDERS; LEWIS, 2009).

No que diz respeito aos objetivos, este trabalho se classifica como pesquisa exploratória e explicativa. Pesquisas exploratórias utilizam técnicas que tem como incumbência ter maior familiaridade com o problema e capacidade de construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas chave no processo do problema estudado, análise de exemplos que ajudem na compreensão do problema. Se enquadram nesta categoria os estudos de caso e as pesquisas bibliográficas. (GIL, 2010). As pesquisas explicativas são mais aprofundadas no

conhecimento da realidade. Normalmente assumem a forma de pesquisas experimentais e buscam trazer uma explicação do “porquê” das coisas, através da identificação dos fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. (GIL, 2010).

Finalmente, a natureza desta pesquisa é classificada como aplicada. Para Silva e Menezes (2005) pesquisas aplicadas são aquelas que o objetivo é gerar conhecimento para determinado fim já previsto.

### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

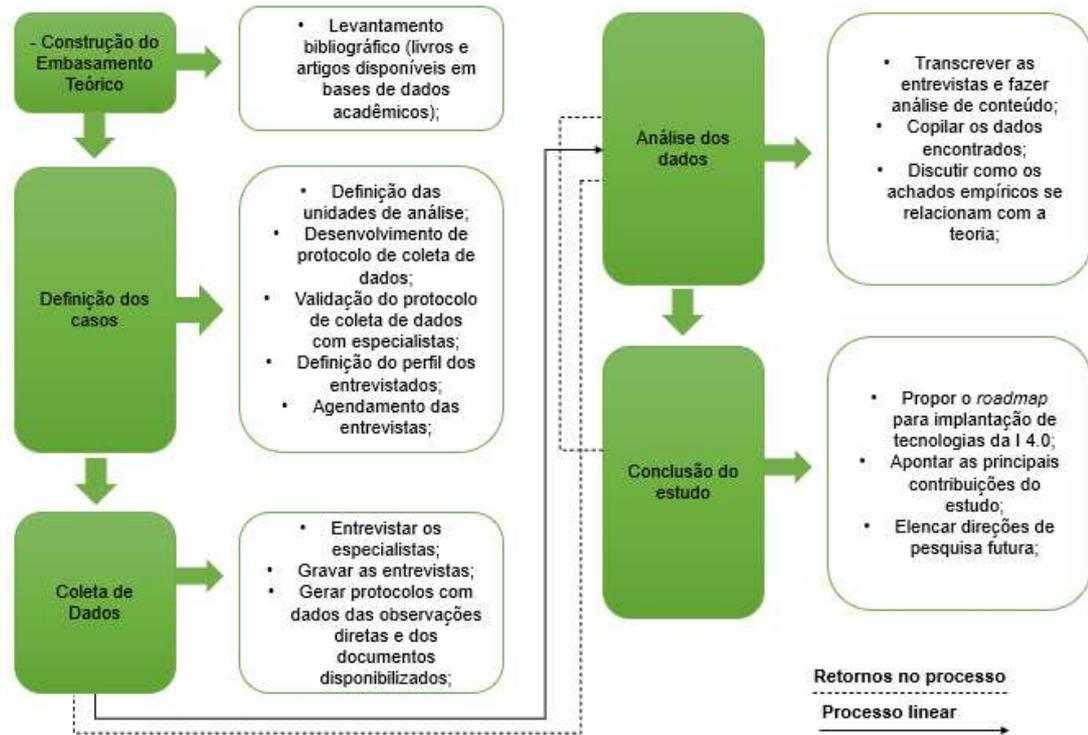
Nesta seção é apresentado o método de trabalho para o desenvolvimento do estudo. O método de trabalho descreve os passos que foram seguidos pelo pesquisador para alcançar os objetivos elencados na sua pesquisa, garantindo replicabilidade e transparência no processo e aferindo confiabilidade aos resultados. (DRESCH; LACERDA; ANTÚNES JÚNIOR, 2015). Para Yin (2018), o método de trabalho é o desdobramento dos passos a serem seguidos para se atingir o objetivo da pesquisa.

A Figura 30 apresenta o desdobramento das etapas do método de trabalho, que é composto pela seguinte sequência:

- 1) Construção do embasamento teórico;
- 2) Definição dos casos;
- 3) Coleta dos dados;
- 4) Análise dos dados;
- 5) Conclusão do estudo.

Estas etapas do método de trabalho foram planejadas de acordo com a sugestão de Cauchick Miguel et al. (2019).

Figura 30: Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

**Fase 1:** Tendo em vista que a primeira etapa do método de trabalho é a construção do embasamento teórico, foi realizado uma Revisão Sistemática Da Literatura (RSL) para atender a dois objetivos do trabalho: Entender como ocorre o gerenciamento do portfólio dos projetos de inovação e definir as principais tecnologias da indústria 4.0.

Para Morandi e Camargo (2015), a RSL é um método que obtém informações desejadas, a partir de um grande volume de resultados. Ela é utilizada para mapear, encontrar, consolidar e agregar resultados sobre determinado estudo, baseando-se em um método explícito e planejado. Para realizar a seleção dos artigos que fizeram parte desta revisão foram adotadas uma série de etapas, como sugerem os autores, buscando garantir o rigor da pesquisa.

Os bancos de dados selecionados para a pesquisa foram *Web of Science* e *Scopus*, por serem as plataformas confiáveis, com revistas conceituadas e mais amplamente utilizadas. (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019). Para esta pesquisa foram considerados apenas artigos de periódicos e de conferências, com a linguagem em inglês e sem período específico.

As palavras chaves utilizadas para consulta foram *portfolio management*, *project portfolio*, *portfolio selection*, *project portfolio management* e *innovation*, estes termos foram definidos depois de uma pesquisa exploratória. O filtro de busca foi que as palavras estivessem presentes no título, resumo ou palavras-chave do artigo. O operador booleano *and* foi usado para permitir a combinação dos grupos de palavras a serem pesquisadas e o operador *or* foi utilizado entre os grupos *portfolio management*, *project portfolio*, *portfolio selection*, *project portfolio management*, uma vez que, as palavras são sinônimas e o objetivo é trazer todos os trabalhos que tratem do assunto.

Os resultados obtidos primeiro levantamento realizado nas bases de dados selecionadas são apresentados no Quadro 3:

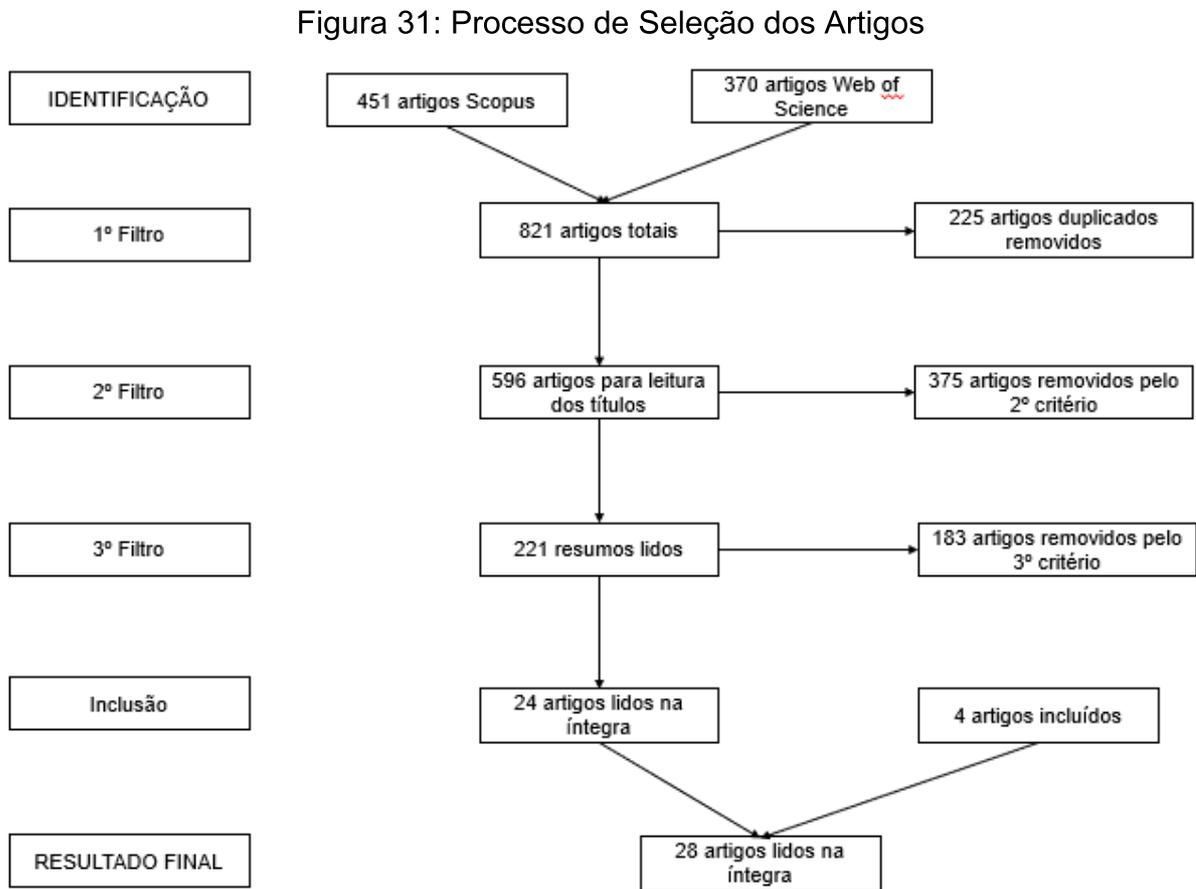
Quadro 3: Resultados Pesquisa *Scopus* e *Web of Science*

Base de dados acadêmica	Termos de pesquisa	Documentos encontrados
<i>Scopus</i>	("portfolio management" or "project portfolio" or "portfolio selection" or "project portfolio management") and ("innovation")	415
<i>Web of Science</i>	("portfolio management" or "project portfolio" or "portfolio selection" or "project portfolio management") and ("innovation")	370

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Após a primeira consulta nas bases, os dados foram consolidados para serem avaliados segundo os próximos critérios estabelecidos. Os critérios de seleção do montante final dos artigos, os quais foram analisados pela técnica de análise de conteúdo, foram definidos como: (I) artigos repetidos foram excluídos, (II) leitura dos títulos e excluídos documentos que não mencionam gestão de portfólio ou gestão de inovação e documentos que são de contextos diferentes de manufatura III) leitura dos resumos dos selecionados na etapa II e escolha dos artigos que apresentavam ferramentas ou métodos para gerenciar projetos de inovação. Após esse filtro restaram 24 documentos. Além destes documentos foram localizados outros 4 artigos que utilizaram métodos para gerenciar projetos de inovação, estes 4 artigos foram incluídos no montante final, contabilizando então os 28 documentos para leitura

completa. A Figura 31 mostra a sequência de etapas descritas anteriormente e o agrupamento dos artigos encontrados em cada uma destas.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Esses 28 documentos foram selecionados para leitura completa, a fim de criar uma visão geral da literatura em relação ao tema abordado e buscar responder ao primeiro objetivo específico do trabalho. Os artigos selecionados para leitura completa foram analisados pela técnica da análise de conteúdo. A análise de conteúdo trata de um conjunto de técnicas que tem o objetivo de entender a relação entre as comunicações e ultrapassar incertezas existentes, aferindo riqueza aos dados coletados. (MOZZATO; GRZYBOVSKY, 2011). Para Dresch, Lacerda e Júnior (2015), a análise de conteúdo utiliza procedimentos sistemáticos para descrever o conteúdo de determinada mensagem, seu objetivo é inferir conclusões sobre as mensagens proferidas por alguém. A análise de conteúdo busca diminuir a subjetividade nas pesquisas qualitativas, através da adoção de indicadores que norteiam o pesquisador.

A análise de conteúdo deste trabalho buscou identificar quais as ferramentas e métodos são utilizados para gerenciar portfólios de projetos de inovação, categoria

que contempla os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Os documentos foram sendo lidos e os métodos e ferramentas identificados nos documentos foram sendo descritos e integram a seção 2.3 deste trabalho.

**Fase 2:** Após a RSL, que permitiu identificar quais as ferramentas e métodos utilizados para a gestão dos portfólios das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, a próxima etapa do método de trabalho foi o planejamento dos casos. O estudo de caso pode ter vários objetivos como: fornecer descrição, testar teoria ou gerar teoria. (EISENHARDT, 1989). Trata-se de pesquisas empíricas, que buscam compreender um fenômeno complexo dentro de um contexto real, permitindo que a investigação e o entendimento sejam realizados em profundidade. Os estudos de caso constituem-se de uma combinação de métodos para a coleta de dados, que posteriormente são utilizados pelo pesquisador em formas qualitativas e quantitativas. (DRESCH; LACERDA; ANTÚNES JÚNIOR, 2015).

### 3.3 SELEÇÃO DO CASO

A seleção de casos é um aspecto importante em estudos de caso. A seleção de uma população apropriada controla distorção nos resultados e contribui para definir os limites para a generalização dos resultados. (EISENHARDT, 1989).

A empresa selecionada é uma empresa de manufatura de grande porte, subsidiária de uma empresa alemã multinacional, com mais de 45 anos de atuação no Brasil. A empresa estudada é líder nacional na categoria que atua, atende aos mercados nacional e global, possui duas unidades de negócios distintas, tem um nível elevado de tecnologia implementado na área de manufatura e é competitiva em custos a nível global. (RIBEIRO, 2020).

A empresa possui em seus indicadores estratégicos a busca pela inovação, tecnologia e qualidade dos produtos. A empresa foi selecionada porque possui uma trajetória de implantação de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. A empresa iniciou essa trajetória em 1992, pelo uso de simulação computacional, e desde então vem buscando integrar tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 aos processos de manufatura. O nome da empresa foi retirado a pedido da própria organização.

Foi definido que será estudada a área de manufatura da empresa, pois conforme a literatura (FALLER; FELDMÜLLER, 2015; L. XU; D. XU; LI, 2018;

MARQUES *et al.*, 2017) a indústria 4.0 trata da integração das tecnologias habilitadoras aos processos de fabricação.

Foi realizada uma visita em abril de 2019 para conhecer algumas das tecnologias implementadas pela organização na área de manufatura. Nesta visita a pesquisadora fez uma breve entrevista exploratória com o funcionário que foi contratado em 1992 para começar a implantar o uso de simulação e desde então vem conduzindo projetos direcionados à indústria 4.0. Nesta entrevista a pesquisadora abordou questões do tipo: como surgiram as demandas por estes projetos, quando a empresa iniciou a implementação destes projetos, se a empresa seguia desenvolvendo estes projetos e quais as perspectivas destes projetos para os próximos anos. A partir disso, a pesquisadora identificou esta organização como relevante para seu estudo.

Após selecionada a organização que participaria do estudo, a próxima etapa tratou da elaboração do roteiro de entrevistas. Como trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva foi realizado um questionário semiestruturado. Este método vai ao encontro da teoria de Eisenhardt (1989), que afirma que para o estudo de caso exploratório os pesquisadores devem formular um problema e especificar algumas variáveis potencialmente importantes para análise.

O roteiro de coleta de dados foi elaborado com base na revisão literatura. O primeiro item de interesse do protocolo trata do contexto no qual a organização está inserida e tem como objetivo caracterizar a empresa. O segundo item de interesse aborda as características do portfólio da empresa e busca identificar como são divididos os projetos da organização (inovação, incrementais), como estes são avaliados, como é realizado a distribuição de orçamento entre os projetos, se há ou não um portfólio de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. O próximo item aborda o processo de seleção dos projetos e tem questionamentos de como surgem as ideias de projetos de tecnologias da indústria 4.0, como estas ideias são selecionadas, quais as ferramentas utilizadas para esta seleção e se já houve projetos cancelados nesta etapa e o porquê o cancelamento. O item seguinte é sobre a alocação dos recursos e questiona como os recursos são alocados, quais as ferramentas utilizadas e porque estas ferramentas foram selecionadas. O último item do protocolo diz respeito ao balanceamento do portfólio e as perguntas são para identificar como a empresa avalia o balanceamento, quais as ferramentas utilizadas, qual a periodicidade, quais os critérios e como a empresa lida com a complexidade

existente entre os projetos. O roteiro de coleta de dados elaborado é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Roteiro de Coleta de Dados

Itens de Interesse	Definição Adotada e Referências	Roteiro de Entrevista
Contexto da organização	Contexto referem-se a tamanho das organizações, segmentos de atuação, processos e países nos quais atua. Este aspecto é um fator importante a ser considerado, porque possui influência nos resultados e mudam de uma estrutura para a outra, restringindo assim a generalidade dos achados. (MÜLLER; KIEL; VOIGT, 2018).	Questionar o que a empresa faz:
		Quem são os clientes
		Qual a orientação estratégica da empresa (custo, flexibilidade, inovação,,)
Características do Portfólio	Um portfólio de projetos é um grupo de projetos executados por uma organização. Esses projetos competem entre si pelos recursos, uma vez que, a organização não tem capacidade de implantar todos eles. A gestão eficaz do portfólio de projetos produz equilíbrio na carteira de projetos da empresa e maior proporção entre projetos de alto valor, além de melhor equilíbrio entre projetos e recursos. Usualmente os projetos podem ser definidos em projetos convencionais e projetos de inovação. Os projetos convencionais têm objetivos e processos claros e bem definidos, enquanto, que os projetos de inovação não possuem objetivos claros, há um alto grau de incerteza nos processos e a necessidade de exploração maior que em projetos convencionais. Projetos de tecnologias como os da indústria 4.0 podem ser classificados como projetos de inovação. (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014; COOPER; SOMMER, 2020; FILIPOV, MOOI, 2010).	Como é composto o portfólio de projetos da empresa (projetos tradicionais, projetos de inovação...)?
		Como são analisados os projetos da empresa? i) projeto individual, ii) conjunto de ideias/projetos (baldes/silos) ou iii) portfólio?
		Há um portfólio de projetos de digitalização? Quais e quantos projetos integram esse portfólio?
		Qual a relação entre a estratégia da empresa e o portfólio de projetos da indústria 4.0? Como estes projetos auxiliam nas vantagens competitivas?
		Com é avaliado (frequência, formalização...) esse portfólio de indústria 4.0? Quem avalia o portfólio?
		Há orçamento específico para esse tipo de projeto? Há possibilidades de ajuste nesse valor? Em quais circunstâncias?
		Seleção
Como ocorre a avaliação das ideias e a seleção dos projetos da indústria 4.0 na organização?		
Quais as ferramentas/métodos utilizadas na seleção? E como elas foram definidas? Há grau de importância diferente entre elas?		
Há algum projeto que tenha sido cancelado ou pausado? Em que estágio ocorreu o cancelamento? Por quê?		
Alocação dos Recursos	Os projetos de inovação envolvem um certo grau de incerteza que é considerada um parâmetro relevante para a tomada de decisão de investimentos. Neste tipo de cenário, ferramentas como VPL e RIO não são indicadas, pois são baseadas somente no retorno financeiro e desconsideram fatores intangíveis importantes para alavancar o desempenho da organização como: vantagem competitiva futura, oportunidades e flexibilidade. (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA;	Como ocorre a alocação de recursos entre os projetos (de forma global, entre categorias, entre projetos...)
		Quais as ferramentas/métodos utilizados para decidir sobre a alocação dos recursos entre as ideias aprovadas?
		Como foram escolhidas estas ferramentas? Qual o grau de

	KRUGLIANSKAS, 2013; BASSO, 2011; SANTOS; PAMPLONA, 2002).	importância de cada uma destas ferramentas?
Balançamento do Portfólio	O balançamento do portfólio é uma distribuição equilibrada entre projetos de inovação e projetos tradicionais. Ele busca encontrar o equilíbrio entre fortalecer a posição estratégica atual e explorar estratégias futuras. Os diagramas visuais são as ferramentas preferidas para exibir o equilíbrio nas carteiras de projetos. Estas ferramentas incluem diagramas de bolhas, matriz BCG gráficos e histogramas tradicionais. Outra ferramenta sugerida para verificar o balançamento do portfólio dos projetos são os baldes estratégicos. (TERWIESCH; ULRICH, 2008; COOPER, EDGETT E KLEINSCHMIDT,1997A).	A empresa avalia constantemente o grau de balançamento do portfólio de projetos da empresa? Qual o parâmetro de avaliação (Risco, retorno, intensidade de inovação)?
		Quais as ferramentas/métodos utilizados para auxiliar no balançamento do portfólio? Qual o grau de importância de cada uma delas?
		Quais ações são tomadas quando se identifica a necessidade de ajuste no balançamento do portfólio?
		Quais os desafios enfrentados pelos projetos da indústria 4.0?

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Depois de construído, o roteiro de coleta de dados este foi validado por especialistas no tema. Estes especialistas foram selecionados porque atuam tanto na área acadêmica quando no mercado de trabalho, e por esta razão conseguem verificar se os aspectos abordados eram suficientes e se as questões elaboradas tinham potencial para capturar as respostas necessárias para o estudo. O questionário foi encaminhado para 4 pessoas, mas apenas 2 retornaram indicando contribuições. Os demais escolhidos retornaram afirmando não terem disponibilidade ou aptidão para contribuir com a pesquisa. O Quadro 5 apresenta o perfil dos especialistas que validaram o protocolo.

Quadro 5: Perfil dos Especialistas que Validaram o Roteiro de Coleta de Dados

Especialista	Formação
Especialista 1	Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas. Tem experiência nas áreas de gerenciamento de projetos, gestão de processos e estratégia. Possui interesses de pesquisa em Indústria 4.0, transformação digital e estratégia.
Especialista 2	Doutor em Engenharia de Produção. Tem experiência em indústrias, consultorias e centros de pesquisa nas áreas de Logística, Supply Chain Management, Lean Manufacturing, Six Sigma, Engenharia Financeira, Desenvolvimento de Novos Produtos, Gestão de Projetos, Gestão de Portfólio, Gestão da Inovação, Inovação Radical.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Os ajustes indicados pelos especialistas foram realizados e então o protocolo foi considerado como finalizado e passível de utilização.

### 3.3 COLETA DE DADOS

Nesta seção são apresentados os procedimentos utilizados para coleta de dados. A coleta de dados é parte da **fase 3** do método de trabalho. Nos estudos de caso podem ser utilizados vários métodos para a coleta de dados como entrevistas, observações e fontes de arquivo existentes, desde que sejam particularmente comuns. (EISENHARDT, 1989). No caso desta pesquisa, a coleta de dados ocorreu através de entrevistas, observações, consulta ao site da empresa e a trabalhos acadêmicos realizados nesta empresa.

Em outubro de 2020 a pesquisadora fez contato novamente com o profissional entrevistado em abril de 2019. Foi encaminhado um email para esta pessoa, com a proposta do trabalho, apresentando um resumo do problema abordado, a questão de pesquisa e o objetivo e questionando a possibilidade de entrevistá-lo. O profissional aceitou realizar a entrevista e esta ocorreu no dia 12/10/2020. Após a entrevista, a pesquisadora pediu que ele indicasse quais foram as outras pessoas envolvidas nos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e por essa razão teriam contribuição com o trabalho. A pesquisadora tinha uma relação com os principais profissionais que deviam ser entrevistados, mas utilizou a técnica de bola de neve para identificar quais os outros profissionais que participaram destes projetos e então teriam contribuição com a pesquisa.

Concomitante às entrevistas a pesquisadora realizou um protocolo de observações, no qual colocava alguns pontos que surgiram na entrevista e que considerava importante para a pesquisa. Esses protocolos de observações foram analisados junto com os áudios das entrevistas.

A ferramenta utilizada para subsidiar a coleta de dados durante a entrevista foi o roteiro de coleta de dados apresentado no Quadro 5. O roteiro foi utilizado para conduzir as entrevistas e garantir que todos os aspectos necessários para subsidiar o estudo fossem questionados. As entrevistas ocorrem de forma online, via chamadas de vídeo, pela plataforma *Microsoft Teams* ou *Cisco Webex Meeting*, conforme solicitado pelo entrevistado. As entrevistas foram gravadas, transcritas e analisadas pela técnica de análise de conteúdo.

Para a condução inicial da entrevista foi realizada a seguinte colocação: “o meu objetivo é entender como ocorre o processo de gerenciamento do portfólio dos projetos da indústria 4.0. Como surgem as ideias destes projetos, como vocês selecionam as ideias que viram projetos, quais as ferramentas que vocês utilizam para isso, como é o orçamento destes projetos, quem realiza este orçamento, quais as ferramentas que vocês utilizam para realizar orçamentos e alocar recursos nestes projetos. Então se tu puderes pegar 1 caso de um destes projetos e me contar como foi a trajetória dele, desde o surgimento da ideia até o início da implantação, qual o caminho que ele percorreu, nós podemos começar com esse relato.”

Os entrevistados discorriam livremente sobre esse tópico e a pesquisadora, munida do protocolo de coleta de dados, apenas estava acompanhando quais perguntas estavam sendo respondidas na narrativa dos entrevistados. As perguntas que não foram respondidas de forma espontânea durante o relato dos entrevistados, foram então questionadas pela pesquisadora. Esse modelo de pergunta aberta permitiu aos entrevistados maior liberdade para falarem sobre o tema. Além disso, oportunizou que os entrevistados trouxessem exemplos e casos que eles consideravam relevantes e até mesmo que emergissem aspectos que não teriam sido identificados anteriormente na pesquisa.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Na **fase 4** ocorreu o processo de análise dos dados coletados. A análise dos dados foi dividida em duas etapas: i) análise do conteúdo dos dados coletados nas entrevistas, nos documentos e nas observações e ii) triangulação das informações da literatura com os dados coletados no estudo de caso.

Os áudios das entrevistas foram transcritos e analisados, com o objetivo de identificar no conteúdo as informações relevantes para o estudo. Primeiramente foram utilizadas as categorias definidas no protocolo de coleta de dados apresentado no Quadro 4: contexto da organização, características do portfólio, seleção dos projetos, alocação dos recursos e balanceamento do portfólio. À medida que a pesquisadora foi analisando as entrevistas individuais observou que havia outra possibilidade de categorias. Diante disso, redefiniu as categorias de análise em:

- I. definição de indústria 4.0 e conexão com a estratégia da empresa;

- II. surgimento das ideias e seleção dos projetos;
- III. alocação de recursos e orçamentos;
- IV. ferramentas utilizadas;
- V. balanceamento de portfólio de projetos;
- VI. desafios enfrentados pelos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

A primeira categoria busca identificar qual a definição de indústria 4.0 para os entrevistados e como ela converge com a estratégia da organização. Na segunda categoria é descrito como é o processo de seleção dos projetos na empresa. A categoria 3 aborda a alocação dos recursos e a composição e distribuição dos orçamentos nos projetos. Na quarta categoria são levantadas as ferramentas que a empresa utiliza para auxílio aos projetos. A categoria seguinte trata das questões relacionadas ao portfólio de projetos e por fim são questionados os desafios relacionados aos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

Primeiramente as entrevistas foram analisadas individualmente. A pesquisadora confrontou a transcrição das entrevistas com as categorias definidas e foi coletando as informações fornecidas por cada entrevistado para cada uma das categorias. Depois disso, as entrevistas foram analisadas transversalmente para que fosse possível identificar semelhanças e diferenças entre o relato dos entrevistados e gerar conclusões relevantes. Os resultados encontrados nestas análises foram comparados à literatura evidenciando conversão ou divergência entre os achados.

A seção que segue apresenta os resultados e discussões do estudo.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção é apresentado e discutido o estudo de caso realizado na empresa selecionada. O estudo foi realizado no período de setembro a dezembro de 2020. Ao todo, foram entrevistadas 12 pessoas que atuam na empresa, nas posições de nível estratégico e tático. O Quadro 6 apresenta o perfil dos entrevistados.

Quadro 6: Perfil dos Entrevistados

Entrevistado	Cargo Ocupado
Entrevistado 1	Especialista Sênior em Planejamento Industrial
Entrevistado 2	Diretor da unidade de cilindros
Entrevistado 3	Diretor da unidade de motores
Entrevistado 4	Supervisor de Melhoria Contínua
Entrevistado 5	Gerente de Engenharia de Processo
Entrevistado 6	Gerente de P&D
Entrevistado 7	Gerente de TI
Entrevistado 8	Vice-Presidente
Entrevistado 9	Diretor da de melhoria contínua
Entrevistado 10	Analista do Escritório de Projetos
Entrevistado 11	Especialista de Processos
Entrevistado 12	Analista do Escritório de Projetos

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Além das entrevistas individuais, que resultaram em mais de 15 horas de áudio, foram utilizados na análise informações coletadas através de observações de pontos importantes identificados na entrevista, trabalhos acadêmicos realizados nesta empresa e informações oriundas do site da empresa.

A seguir são apresentados os resultados advindos das entrevistas e observações, estruturados em tópicos de interesse selecionados pela pesquisadora.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ALPHA

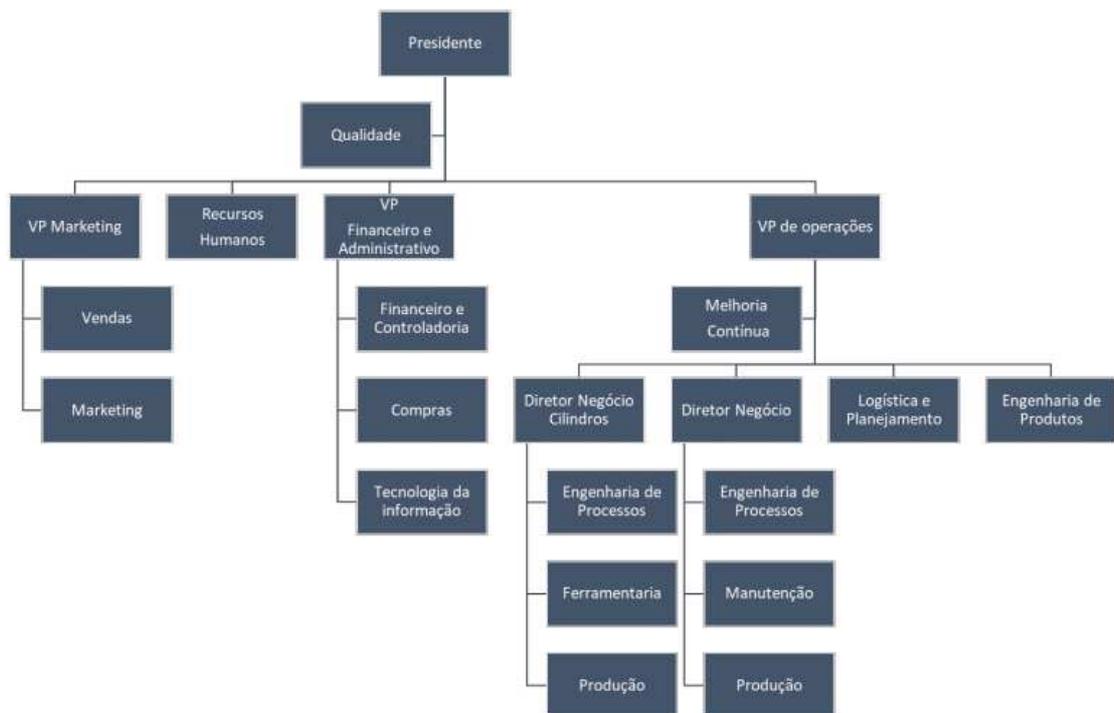
A empresa selecionada é uma empresa de manufatura de grande porte, subsidiária de uma multinacional alemã, que produz e vende ferramentas motorizadas portáteis para os mercados agropecuário, florestal, construção civil, jardinagem profissional, limpeza, conservação e doméstico. No mundo a empresa possui mais de 2.000 patentes e marcas registradas. (RIBEIRO, 2020).

A empresa foi fundada em 1926 e, desde então, tem como objetivo a busca pela inovação, tecnologia e qualidade dos produtos. Trata-se de uma empresa de classe mundial com unidades produtivas e escritórios de vendas em diferentes países, como relata o entrevistado 7.

A companhia possui unidades produtivas na Alemanha, onde está localizada a matriz, na Suíça, na Áustria, nos Estados Unidos, no Brasil, na China e nas Filipinas. Além disso, possui escritórios de vendas e centros de distribuição em diversos países na África, América do Norte, América Central, América do Sul, Ásia, Europa e Oceania. (Entrevistado 7).

A unidade selecionada para o estudo de caso conta com cerca de 2.500 funcionários e foi a primeira subsidiária da empresa fora da Alemanha. A empresa foi fundada em 1973, na cidade de São Leopoldo/RS, tem um parque fabril com mais de 87.000 m<sup>2</sup> de área construída destinado a produção, logística e armazenamento, P&D e áreas de apoio. A empresa possui duas unidades de negócios: fabricação de cilindros e fabricação de motores. A Figura 32 apresenta o organograma da empresa.

Figura 32: Organograma da Empresa



Fonte: Ribeiro (2020)

No topo está do organograma está a presidência da empresa. A área de qualidade fica diretamente conectada com a presidência, pois é considerada uma área estratégica para a organização. Abaixo estão as áreas de marketing, recursos humanos, administração e financeiro e operações. Os entrevistados deste estudo integram a área de operações.

Na área de operações está o vice-presidente de operações. Diretamente conectado com o vice-presidente está a equipe de melhoria contínua, pois esta é considerada estratégica para essa área. Abaixo estão a equipe de cilindros, equipe de motores, logística e planejamento e engenharia de produto. Na área de cilindros há uma equipe de engenharia de processos, uma equipe de ferramentaria e a equipe de produção. Na área de motores há equipe de engenharia de processos, uma equipe de manutenção e a equipe de produção.

Este estudo tem foco nas áreas de cilindro e motores, pois estas são as áreas que tem processos de manufatura ocorrendo. Como a técnica de bola de neve foi utilizada, foram sugeridas e entrevistadas 2 pessoas que não integram a área de cilindros e motores: o gerente de pesquisa e desenvolvimento e o gerente de TI, porém estes profissionais participaram dos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 direcionados à manufatura e por essa razão foram indicados pelos demais.

A empresa é uma organização familiar, logo todas as decisões estratégicas são gerenciadas pela família através do seu Conselho de Administração. A empresa possui um histórico de faturamento positivo e é líder na produção de ferramentas motorizadas portáteis do mercado brasileiro desde que foi fundada. A estratégia de expansão da empresa prevê a melhoria dos produtos sempre com foco no conforto e segurança dos usuários e na preservação do meio ambiente, através do desenvolvimento de equipamentos de baixo consumo, baixa emissão de gases e menor nível de ruído. (RIBEIRO, 2020).

Na unidade de motores, os produtos são de alta tecnologia e o foco da unidade é a redução de custos de produção e de componentes. A unidade de cilindros é estratégica para o grupo, pois, além do cilindro ser o componente principal do produto, ele precisa atender aos padrões de qualidade elevados. Os cilindros fabricados precisam de uma tecnologia avançada para atender às legislações que regulam as emissões atmosféricas. Além disso, o produto é constantemente avaliado para que seja reduzido o ruído e o peso. A unidade de cilindros da empresa Alpha também é responsável pela produção e abastecimento do mercado mundial, ou seja, os cilindros

de todas as máquinas da companhia, que circulam pelo mundo, são fabricados nesta unidade de negócio. Por essa razão, o desenvolvimento de novos conceitos de produto, novas tecnologias de produção e materiais são uma constante para a empresa. As atividades de redução de custos são importantes, mas nesta unidade de negócios o diferencial competitivo é a busca pelo desenvolvimento de tecnologias de ponta para atender aos requisitos dos produtos. (RIBEIRO, 2020).

A empresa possui uma trajetória na implementação de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Em 1992 a empresa contratou um funcionário unicamente para iniciar o desenvolvimento de projetos de simulação computacional, porque entendia que era a tecnologia do futuro, como relatado pelo entrevistado 1:

Quando eu fui contrato para a Alpha, em 1992, foi para implantar simulação. Alguém convenceu a direção que precisava ter simulação, que era a ferramenta do futuro. Então, vamos contratar alguém para fazer isso porque não é simples e vamos começar a usar. (Entrevistado 1).

A simulação computacional é considerada uma técnica de interpretação de entendimento de variáveis e interpretação de cenários. Não é uma técnica trivial, é necessário um certo conhecimento do comportamento das variáveis, tem necessidade de muita interpretação e não é uma ferramenta simples e barata. (AZEVEDO *et al.*, 2010). A empresa investir nesse tipo de tecnologia naquela época mostra o pioneirismo no uso das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

Desde então a empresa vem consolidando, ano após ano, o desenvolvimento de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 para atender às necessidades do grupo e melhorar os indicadores de desempenho. Conforme o relato do entrevistado 8, até o momento a área de manufatura da empresa já possui implementadas nove tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, são elas: robôs autônomos, Manufacturing Execution System (MES), simulação, computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), segurança cibernética, realidade aumentada, manufatura aditiva e big data.

Nas seções seguintes são apresentados resultados obtidos no trabalho de campo e sua discussão com a literatura. Estes resultados foram divididos em categorias de análise: definição de indústria 4.0 e conexão com a estratégia, surgimento das ideias e seleção dos projetos, alocação de recursos e orçamentos, ferramentas utilizadas, balanceamento do portfólio de projetos e desafios enfrentados pelos projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0

### 4.2.1 Definição de Indústria 4.0 e Conexão com a Estratégia da Empresa

A primeira seção de análise dos resultados aborda a definição do conceito de indústria 4.0 e como esse conceito está conectado com a estratégia da organização.

A definição de indústria 4.0 é um conceito que está em desenvolvimento na literatura. Para os entrevistados não há uma definição clara do que é indústria 4.0, mas eles têm ciência que está associado a integração de máquinas e sistemas para tornar o processo mais automatizado. Esse conceito é similar ao apresentado por L. Xu, E. Xu e Li (2018), Marques *et al.* (2017) e Faller e Feldmüller (2015). A empresa entende que indústria 4.0 é uma meta a ser atingida. Para isso, é sugerido integração de um uma série de tecnologias existentes e descritas na literatura, como mostra a fala do entrevistado 2:

Não existe um projeto de indústria 4.0. Indústria 4.0 não é uma ISO, é muito mais do que isso. A indústria 4.0 é uma meta. Tu coloca ali uma meta do tipo: eu quero integrar as coisas, quero digitalizar os processos e quais os projetos para chega lá. Tu cria um desenho, pode ser essa escadinha, mas tu tem que criar projetos para chegar em cada degrau da escada. Então não existe um projeto indústria 4.0 se alguém faz isso está mentindo. (Entrevistado 2).

A empresa tem um time estruturado para desenvolver soluções para atender às demandas da área de manufatura. Este time é multidisciplinar, com pessoas de diferentes áreas vinculadas à manufatura, para que se possa obter uma visão holística do contexto de aplicação. O grupo recebe as demandas da área de manufatura e busca soluções tecnológicas existentes no mercado para resolver o problema, como relatam os entrevistados 1 e 7.

[...] Para ligar qualquer coisa você tem que ter um time interconectado. Então, eu destruí o time original, que eram só 2 pessoas, e a gente começou a integrar pessoas de todos os departamentos. A gente fez uma estrutura horizontal na empresa e não vertical. Então aí já nasceu um time meio rebelde. A gente tinha alguém da qualidade, da manutenção, do planejamento e daí percebemos que o que gente tinha não é o futuro, então vamos buscar lá fora o que é o futuro. A gente começou a visitar feiras, empresas, tanto aqui quanto internacionais, para identifica o que está acontecendo no mundo. A gente encontrou fornecedores locais de sistema MES de vários tipos diferentes e a gente viu que um software que vai nos levar para o futuro ele tem que permitir crescer, ele é escalável". (Entrevistado 1).

[...] A gente tem uma área aqui chamada IMS, eles se intitulam de área de soluções. Então quando a fábrica tem necessidade de uma solução, quando eu falo que eu tenho algum problema de perda de qualidade de alguns processos ou de alguma das mini-fábricas, em teoria deveriam chamar essa

área que faria um estudo da situação atual e iria propor mudanças no processo ou mesmo adoção de uma tecnologia”. (Entrevistado 7).

Integrar as tecnologias da indústria 4.0 aos processos de manufatura da empresa é uma iniciativa que está vinculada à estratégia da organização. Ter a indústria 4.0 como um direcionador estratégico auxilia na geração de projetos voltados ao atendimento dessa diretriz e, conforme Huvaj e Johnson (2019) e Diaz et al. (2020), minimiza problemas de desalinhamento de portfólio. O entrevistado 4 afirma: “Hoje a nossa diretriz estratégica ela diz assim: ‘desenvolver os processos administrativos, comerciais e de manufatura mais automatizados, digitalizados, otimizados e direcionados à indústria 4.0’”. Diante disso, projetos desta natureza são priorizados em relação aos demais, como reitera o entrevistado 10.

A empresa tem a indústria 4.0 como algo de extrema relevância. E quando a gente pensa em recursos e na priorização dos recursos esse é um drive bem importante para gente. Se há um projeto que atende essa demanda (indústria 4.0) ele vai naturalmente ser priorizado, ou vai ser “bem visto” se comparado a uma outra demanda que não seja tecnológica. Nesta etapa atual, a gente está trabalhando bastante nisso, para dar prioridade para esses projetos, uma vez que, faz parte da estratégia da organização. (Entrevistado 10).

Nos discursos dos entrevistados há o questionamento de qual o real benefício que as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 trarão para a empresa. Apesar de estar nos direcionadores estratégicos a busca pela introdução das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, foi identificado que há percepção dos entrevistados quanto a necessidade de que primeiro identificar a real vantagem da introdução das tecnologias e só então buscar sua aplicação. A dificuldade em entender e quantificar a vantagem de implantar estes projetos é uma característica que se aplica para todo tipo de projeto de inovação. Como afirma Mathews (2010), os projetos de inovação sempre buscam benefícios para a empresa, mas vantagens oriundas de sua implementação usualmente não são claras como nos projetos tradicionais.

No caso estudado, não foi identificada uma definição clara e compartilhada do que é indústria 4.0 entre os entrevistados. Eles afirmam que não conseguem definir com um conceito o que é indústria 4.0, mas sabem que tem relação com a integração de tecnologias, máquinas e sensores para tornar o processo descentralizado. Além disso, a empresa tem a indústria 4.0 como uma diretriz estratégica gerando assim a busca por projetos que atendam a essa diretriz. Para Ghobakhloo (2018) as organizações deveriam criar um *roadmap* de transição para essa nova realidade. A

partir do relato dos entrevistados pode-se perceber que a empresa entende que a integração das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 é uma jornada que está sendo construída dia após dia, que passa por adaptações constantes para se manter alinhada à estratégia organizacional, e que não tem prazo para ser finalizada, mas não tem um *roadmap* formal com a descrição dos passos a serem percorridos dentro desta jornada.

#### 4.2.2 Surgimento das Ideias e Seleção dos Projetos

Os projetos caracterizados como projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 surgem para atender às necessidades e metas de alguma área da organização. Não há nenhuma iniciativa para geração de ideias de projetos direcionados exclusivamente para esse *drive*. Hoje estes projetos vêm como iniciativas que surgem dentro de grandes projetos da organização, ou ainda, como soluções para atender a uma necessidade específica.

Todos os anos a empresa realiza a revisão do *Balanced ScoreCard (BSC)*<sup>1</sup> para a geração das perspectivas, entendimento da orientação estratégica e desenvolvimento do planejamento estratégico e, a partir disso, desenvolve o plano de investimento da empresa. Os resultados do BSC são as iniciativas estratégicas da organização que serão desdobradas no próximo ano. A partir do BSC é desenvolvido um A3<sup>2</sup>. Esse A3 apresenta o resumo do BSC e as iniciativas que devem ser realizados para atingir as metas da organização.

A empresa possui um evento de geração de ideias para atender as iniciativas estratégicas desdobradas do BSC (*mega trends*). Trata-se de um *workshop* realizado na empresa, que conta com a participação dos gestores das áreas da empresa e com alguns gestores da matriz da Alemanha. Estes eventos de *workshop* acontecem uma vez a cada ano e tem duração de 2 dias. Participam dos eventos em torno de 10 pessoas vindas da matriz da empresa na Alemanha e mais os responsáveis pelas

---

<sup>1</sup> O BSC é uma ferramenta de análise estratégica não de gestão de portfólio de projetos. Ela traduz a missão e a visão da empresa em um conjunto de medidas estratégicas, que permite identificar em quais atividades críticas a empresa está gerando valor para os acionistas, os colaboradores, clientes, fornecedores e comunidade. (HERRERO FILHO, 2019).

<sup>2</sup> O A3 é uma ferramenta estruturada para a solução de problemas que pode ser utilizada na área de projetos para registro do acompanhamento do projeto. A estrutura do A3 é baseada no ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) e seus elementos possuem sequência fixa. O A3 é composto do título do projeto, os nomes dos membros da equipe responsáveis pelo A3 e a data do A3. (OVERSLUIZEN, 2020).

áreas de processos, tecnologia e P&D da empresa brasileira. Nestes *workshops* são discutidas as iniciativas estratégicas e as principais mudanças que serão necessárias para atendê-las. Não são induzidas ideias para projetos de implementação de determinada tecnologia habilitadora da indústria 4.0, o que ocorre é a indução de ideias rumo a digitalização, como relata o entrevistado 6.

A gente coloca essas mega *trends* nesse workshop e as pessoas começam a trazer ideias de várias áreas e de lá a gente fecha alguns projetos. Ideias que já viram projetos imediatamente para a gente trabalhar durante o ano, mas durante o ano centena de outras ideias vem surgindo e a gente vai repriorizando, mas repriorizando com base no que? Com base na viabilidade econômica e se eles estão de acordo com as mega *trends*. Por exemplo, a digitalização ela também é uma mega *trend* que a gente verifica, buscando produtos à bateria, serviços via celular, impressão 3D e etc. Como eu disse que a espinha dorsal é a digitalização, é a tecnologia, então qualquer ideia que a gente venha a ter ela vai passar também pelo crivo técnico, e no crivo técnico um dos requisitos é a digitalização. (Entrevistado 6).

Os profissionais participantes do workshop começam a discutir e trazer ideias de várias áreas. As ideias são então trabalhadas com discussões entre o grupo e rodadas de *design thinking* e, baseado em um consenso, são definidas quais virarão projetos e serão trabalhadas a partir daquele momento. Estes projetos são encaminhados para o escritório de projetos para entrarem no processo formal da empresa.

Além destes eventos específicos para geração de ideias, a maioria das ideias são geradas em fluxo contínuo, no qual as ideias vão surgindo no dia a dia, conforme demanda das áreas, necessidades que vão aparecendo e principalmente por *insight* dos funcionários. A organização entende que há necessidade de haver eventos formais para geração de ideia, que são os workshops, mas que o processo de geração de ideias deve ter um fluxo contínuo. Os eventos de geração de ideias são importantes porque reúnem pessoas de diferentes áreas e promovem descobertas criativas, como afirmam Hansen e Birkinshaw (2007). Além destes eventos estruturados, ter um fluxo contínuo de geração de ideias tem como objetivo permitir que as ideias possam surgir a qualquer momento e por qualquer pessoa, viabilizando maior número e diversidade de ideias.

Para incentivar a geração de ideias e solucionar problemas, a empresa tem um programa de premiação chamado Ideia *Plus*. Este programa premia ideias que trazem algum tipo de vantagem para a organização como: uma redução de custo, um novo

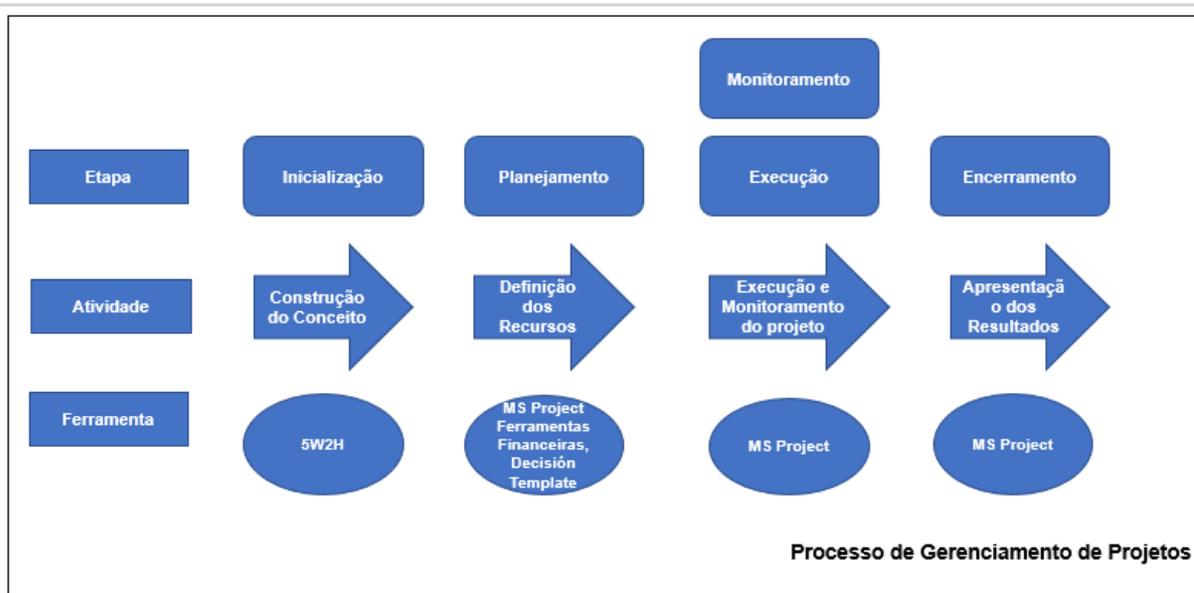
processo, um novo produto, mas o objetivo central do programa é identificar *insights* com potencial de virarem projetos futuros, como destaca o entrevistado 8.

[...].Então não é assim um processo formal, é um processo desestruturado, onde todas as pessoas podem levantar a mão e dizer que tem ideias e propor ideias para problemas que identificam. Inclusive a gente tem um programa de premiação, chamado ideia *plus*, e normalmente essa premiação é por causa de uma redução de custos que o pessoal da produção ou de outras áreas indicam, mas muitas vezes aparecem ideias de um novo processo, um novo produto. (Entrevistado 8).

O programa ideia *Plus* surgiu em 2012 e tem como objetivo incentivar a participação dos colaboradores, de diferentes áreas da organização, na busca conjunta por soluções que promovam melhoria e inovação nos processos e gerem resultados para a corporação. Desde que o programa foi lançado já gerou uma economia total de mais de R\$ 27 milhões para a organização. Só no período de 1º de janeiro a 30 de novembro de 2019 foram implementadas mais de 900 ideias advindas desse programa. No ano de 2020 a empresa recebeu mais de mil ideias e as que foram implementadas geraram uma economia de mais de R\$ 2 milhões.

As ideias que surgem são registradas no sistema e apresentadas ao gerente da área, o qual é responsável por analisar a ideia e propor o projeto. Estes projetos são então encaminhados ao escritório de projetos, para entrarem no fluxo de gestão de projetos da empresa. A partir do momento que o projeto chega ao escritório de projetos ele é cadastrado no Portfolio Project Management (PPM), ferramenta utilizada para a gestão de projetos na empresa. O processo de gerenciamento de projetos é dividido em 5 etapas: inicialização, planejamento, execução, monitoramento e encerramento, como ilustra a figura 33.

Figura 33: Processo de Gerenciamento de Projetos na Empresa Alpha



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A fase de inicialização é a etapa na qual se cria uma definição de conceito para o projeto. Para essa etapa existe um questionário dentro do PPM, baseado na ferramenta 5W2H<sup>3</sup>, que é preenchido pelo proponente do projeto, como salienta o entrevistado 12.

Ainda estamos amadurecendo a gestão de projetos. A gente está implementando a ideia de um formulário digital, onde, na plataforma portfólio management, ali dentro, a gente criou um questionário, que é um questionário básico muito baseado na ferramenta 5W2H para entender a demanda do cliente, para saber para quando ele quer o projeto e porque ele quer o projeto. Aí ele entra ali e preenche as informações e então quando termina de preencher esse questionário 5W2H já tem o escopo do projeto definido. (Entrevistado 12).

Neste questionário inicial incluem-se perguntas do tipo: o que é o projeto, porque do projeto, para quando, qual o investimento aproximado, quais os recursos demandados, ou seja, perguntas que permitam fazer uma definição de conceito do projeto. Essa fase inicial é sobre entendimento da necessidade do cliente, é preciso coletar informações de forma mais desestruturada para entender o que ele precisa e

<sup>3</sup> O 5W2H é uma metodologia baseada em 7 perguntas através das quais é possível compreender o problema e criar planos de ação eficientes. (TORTORELLA; RODRIGUES, 2015).

então propor uma solução. Cooper (1990) e Mathew (2010) sugerem que se faça o que a empresa vem fazendo, aplicar uma avaliação rápida, com poucas perguntas, mas que permita entender as necessidades do cliente e a viabilidade do projeto.

Depois de definido o conceito do projeto, ele avança para a etapa de planejamento. O planejamento é a fase que trata da comunicação, da orçamentação, definição do pacote de trabalho, de quais e necessidade de recursos, como relata o entrevistado 4:

O que é o planejamento? Como será minha comunicação? o que eu vou falar? Em relação a orçamentação, quando tu me perguntas quem é que faz essa orçamentação é sempre o líder do projeto. Eles vão junto com o time, nessa fase de planejamento, levantar qual é o pacote de trabalho. Por exemplo, eu vou fazer uma impressora 3D, então eu vou precisar visitar fornecedores, comprar materiais, então eles vão dividindo o pacote de trabalho em pacotes menores e que vão se construindo em relação a custos e recursos. Então no momento em que tu consegue separar os pacotes, eu diria que essa é uma parte muito importante do projeto, tu consegue fazer os orçamentos. Tu sabe que para aquele pacote de trabalho vai precisar de tantas pessoas, de tantos recursos. Então tu vai detalhando o orçamento. Quando finaliza tu soma aquilo dali e sabe que vai precisar de R\$100.000, então o meu projeto vai precisar de 100.000 e 5 pessoas para tocar. E daí sim a gente elabora um documento, que seria o contrato para gente solicitar aprovação e iniciar execução". (Entrevistado 4).

Se o projeto está no plano de investimentos da empresa, ele já possui um orçamento específico, porém, no decorrer do ano surgem projetos que não estavam no planejamento estratégico e precisam de orçamentação. Neste caso, o gerente do projeto vai realizar o desdobramento do projeto, indicando as necessidades, os valores e os prazos para a execução. Ele vai preencher os documentos necessários e encaminhar para o escritório de projetos. O escritório de projetos vai receber esse projeto, analisar as justificativas e consultar a alta gestão e, então, aprovar ou não a inclusão desta ideia no portfólio de projetos. Pelo relato dos entrevistados, não há um momento formal para avaliação de todos os projetos e comparação dos projetos entre si. Acontece uma avaliação quando o projeto chega no escritório e é então definido se ele entra ou não no *portfólio* e depois ao final é avaliado se o projeto entregou ou não o esperado.

A etapa de execução é realizada concomitante com o monitoramento. Nesta etapa os projetos são executados e acompanhados para garantir que estão dentro das especificações. Além disso, são preenchidos os relatórios de acompanhamento destes projetos.

Em virtude de falta de pessoal, a organização não consegue atender todos os projetos que são solicitados ao longo do ano, o que é praxe para a maioria das organizações. Por isso a importância da gestão do portfólio. Como afirma Cooper e Sommer (2020) a gestão de portfólio é responsável por gerenciar todos os projetos da empresa e readequar prioridades sempre buscando o alinhamento dos projetos com a estratégia da organização.

O escritório de projetos da empresa Alpha desenvolveu um mecanismo para priorizar os projetos existentes no portfólio. Foram criadas categorias que norteiam a tomada de decisão em relação a seleção do projeto para execução. Estas categorias são: atendimento de legislação, tempo de execução, retorno do projeto, desdobramento estratégico, aumento de capacidade, substituição de equipamento e outros. Cada categoria tem um peso diferente e, no final, a soma dos pesos do projeto vai enquadrar ele em uma ordem de execução que varia de 0 a 100, como relatado pelos entrevistados 12 e 7:

A primeira parte o “cliente” que preenche, indicando o que ele precisa e para que ele precisa e aí isso passa para o PMO. O PMO que faz um pré-filtro e vê o que é essa demanda. Se ela é por causa de legislação, atualização de uma norma, ou outra coisa. Dependendo do tipo de projeto e do prazo do projeto a prioridade é alta. Aí tem uma tabela com critérios definidos que vai ser preenchida. Por exemplo, se é um projeto que vem de um desdobramento estratégico vai ter uma pontuação, se é necessário para aumento de capacidade tem outra pontuação, substituição de equipamentos com vida útil atingida outra pontuação e assim a gente vai preenchendo os critérios e isso cria uma matriz que nos pontua os projetos. E daí tem as faixas de classificação, de 85 a 100 são projetos do tipo A, de 60 a 85 são projetos do tipo B, e menos que 60 são projetos do tipo C. (Entrevistado 12).

Hoje a gente tem uma escala para priorização dos projetos, porque a gente não tem como atender todos, então a gente criou essa escala para estabelecer uma ordem de atendimento dos projetos. É uma ferramenta simples, com algumas falhas, mas que de modo geral nos ajuda a classificar os projetos de acordo com a necessidade deles. O PMO pega o projeto e enquadra nestas categorias e no final ele sai com uma pontuação que permite verificar qual o grau de urgência no atendimento desse projeto. (Entrevistado 7).

Há projetos que surgem ao longo do ano e não estavam no planejamento estratégico e nem no plano de investimento, mas que devem ser atendidos ainda naquele ano, como é o caso de alguma legislação, norma técnica ou resultado de auditoria. Nestes casos, os projetos entram na etapa de classificação e, dependendo da sua relevância, um projeto antigo e menos relevante é cancelado para que a verba orçamentaria seja repassado para execução do projeto novo. Como a empresa tem

muitos projetos de melhoria, usualmente estes serão cancelados em prol do projeto emergente, como ressalta o entrevistado 11.

Muitas vezes surgem projetos ao longo do ano que eles não estavam no planejamento estratégico, mas que são necessários em função de atender alguma norma, legislação do ministério do trabalho ou alguma coisa do gênero e como eles geralmente tem tempo para serem feitos não pode esperar o ano que vem. Nesse caso, então a gente diz que ele não estava no planejamento estratégico, nem no plano de investimentos, e então se recorre a lista de projetos atuais e vê qual desses projetos que eu vou “matar” para poder fazer esse aqui. Então baseado na lista de priorização e classificação, a gente sabe que tem lá muitos projetos de melhoria e muitas vezes são esses projetos de melhoria que vão ser sacrificados para passar o orçamento para esse projeto recorrente. (Entrevistado 11).

Esse movimento realizado pela empresa de criar categorias para definir a ordem de priorização na execução dos projetos, definir quais projetos devem ser pausados ou cancelados, ajustar as ordens de priorização é típico de gestão de portfólio e vai ao encontro das afirmações dos autores Martinsuo (2013), Huvaj e Johnson (2019), Cooper, Edgett e Kleinschmidt, (1997a) e Cooper e Sommer (2020). Entretanto, a empresa não realiza o processo como sugere a literatura. Pelo relato dos entrevistados, não há uma rotina de avaliação do *status* dos projetos. São realizadas avaliações pontuais quando necessário, mas não há uma avaliação do portfólio de projetos como um todo, na qual os projetos são comparados entre si e confrontados com as metas estratégicas da organização. Essas avaliações pontuais podem gerar distorções, porque definem a prioridade do projeto em determinado momento, mas à medida que os projetos vão surgindo essas prioridades podem ir se modificando, e se não há uma avaliação contínua do portfólio não se ajusta essa mudança de prioridade.

A empresa identificou que há necessidade de criar uma cultura de inovação. Para isso, a organização está se estruturando para fomentar projetos de inovação. Em agosto de 2020 lançou o fórum de inovação, uma iniciativa que busca fomentar a inovação dentro da organização. Neste fórum os gerentes das áreas apresentaram propostas de inovação que serão analisadas pela alta gestão ao longo do próximo ano. Para os próximos anos, planeja-se realizar estes fóruns a cada 6 meses, para que se possa criar a cultura da inovação dentro da empresa. Buscar a inovação é importante para as organizações, porque empresas que não inovam tendem a perder mercado e competitividade com o passar do tempo. Como ressalta Borjy et al. (2019)

e Bagno, Salerno e Dias (2017) as empresas estão percebendo que a inovação é um fator chave para garantir competitividade e o crescimento econômico.

Em síntese pode-se concluir que a empresa estudada tem um processo formal para gestão de projetos. O escritório de projetos está nascendo de forma bem estruturada, já tem os processos desenhados e utiliza ferramentas consolidadas na área de gestão de projetos. Além disso, há um processo contínuo de geração de ideias na empresa. Esse processo ocorre com eventos formais, como é o caso dos workshops e do fórum de inovação, e com fluxo contínuo (programa Idea Plus). O processo de geração de ideias é fomentado pela empresa, inclusive concedendo bônus e premiações para os envolvidos. A etapa de seleção das ideias pode ser mais bem trabalhada, utilizando-se métodos mais formais e períodos específicos para avaliar o portfólio dos projetos.

#### **4.2.3 Alocação de Recursos e Orçamentos**

Este tópico trata do planejamento orçamentário e da alocação de recursos nos projetos.

O planejamento orçamentário dos projetos é realizado anualmente. O orçamento solicitado pela empresa é composto por uma lista de projetos e o valor de cada um deles. Durante o ano, a empresa vai criando um banco de dados com os projetos que gostariam de desenvolver no próximo ano e o orçamento necessário para isso. O orçamento de cada um destes projetos é realizado pelo gerente da área que está propondo o projeto. Entre os meses de setembro e outubro a empresa realiza a previsão de orçamentos do próximo ano. Neste momento, o gerente de cada área analisa sua lista atual de projetos, seleciona os que serão propostos para o próximo ano e então se dirige às reuniões de planejamento orçamentário. Destas reuniões participam a alta gestão, controladoria e gerentes das áreas e nelas são avaliados o BSC e as listas de projetos levantados pelas áreas. Então, baseado no histórico de orçamentos da empresa, nos argumentos dos gestores e da controladoria e nas iniciativas do BSC estas listas são ajustadas, com a inserção de novos projetos necessários e cortes de alguns não tão importantes. Depois é elaborada uma lista única (resultante da soma das listas) com a relação de todos os projetos que a empresa desenvolverá no próximo ano.

Essa lista final é encaminhada para a matriz na Alemanha. A matriz recebe este plano de investimento e define se autorizará ou não o orçamento da empresa aqui no Brasil. Segundo os entrevistados, essa definição é baseada em critérios financeiros (a matriz calcula o ROI de cada projeto solicitado) e na capacidade de argumentação da gestão, pois os vice-presidentes da empresa brasileira vão para a Alemanha para reuniões de orçamento e lá defendem o porquê da necessidade dos projetos solicitados, como relata as falas dos entrevistados 3 e 6.

A gente identifica o projeto, coleta os valores (o orçamento) e isso vai para uma grande lista de milhões de projetos. Nesta lista estão todos os investimentos da empresa e daí vai para a diretoria. Quando está com a diretoria aqui nossa tem uma rodada onde cada gerente vai defender com argumentos: eu preciso desse projeto por isso, por isso e tal e daí depois vai para a Alemanha, normalmente o que vai pra Alemanha sai como aprovado porque os cortes já aconteceram aqui. Da Alemanha volta uma lista com os projetos aprovados e o ROI de cada um deles. (Entrevistado 3).

Cada ano a gente revisa o plano de investimentos, a gente está revisando agora neste período, e então a gente fecha a revisão para mandar para a Alemanha. A gente faz um filtro e diz que, daquilo que eu tinha previsto eu vou fazer isso esse ano. E aí a nossa diretoria, os nossos VPS eles vão para a Alemanha para defender o nosso plano de investimento. (Entrevistado 6).

A empresa não tem um orçamento separado por categoria de projetos. Há um único plano de investimento que contempla todos os tipos de projeto da empresa, desde inovação até substituição de máquinas. Como não há um orçamento separado por tipo de projeto, os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 normalmente surgem do desdobramento de um projeto maior (melhorar a eficiência da manutenção), e então valem-se do orçamento desse projeto para serem realizados. Não ter um orçamento separado por tipo de projeto não é o recomendado pela literatura, pois a empresa pode penalizar os projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, em prol dos projetos de menor incerteza, curto prazo e baixo risco (SILVA, 2016). Neste caso, a empresa deveria alocar recursos por categorias de projetos, buscando encontrar o equilíbrio entre ter um certo nível de projetos mais inovadores e disruptivos e os projetos mais tradicionais. Conforme Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997a) e Terwiesch e Ulrich (2008) os recursos são escassos para serem alocados nos projetos errados, logo, manter o equilíbrio entre os tipos de projetos garante o fortalecimento da estratégia atual da empresa e a exploração de oportunidades futuras. A empresa poderia utilizar a

ferramenta de baldes estratégicos, sugerida por Terwiesch e Ulrich (2008), para redistribuir os orçamentos de acordo com categorias de projetos.

Para os projetos com algum tipo de relação com as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, a empresa busca utilizar recursos oriundos da Lei do Bem, uma vez que, estes projetos se caracterizam como inovação. Como menciona Salerno (2017), a Lei do Bem é um dos principais incentivos existentes no Brasil para fomentar a inovação, mas é pouco explorada e não contempla todos os tipos de organização.

Nos casos de projetos cancelados, o que não é comum de acontecer na empresa, o orçamento deveria voltar para a controladoria brasileira. Entretanto, como o orçamento fica sob responsabilidade da área, sabe-se que o gerente pode utilizar este orçamento para encaminhar um novo projeto que não estava no portfólio atual e que tenha viabilidade econômica e técnica, ou ainda, realizar algum ajuste de orçamento na sua lista de projetos, conforme relatado pelos entrevistados 10 e 11.

Hoje em dia a gente tem bastante oportunidade para trabalhar nisso porque como o orçamento ele é solicitado e ele fica de responsabilidade da área, às vezes o projeto é cancelado e área usa aquele investimento para fazer outro projeto. E então a partir do momento em que tu tem aprovação, a gestão do orçamento passa a ser da tua área e não mais da controladoria. (Entrevistado 11).

[...] volta para controladoria e depois volta para a origem. Pode até ser utilizado para outro projeto, desde que ele nasça com as mesmas características técnicas. Ele também poderia ser utilizado como complemento para algum projeto que deu problema. Deu problema no escopo e preciso aumentar o dinheiro, de onde é que eu tiro? Então eu vejo na minhas as ordens de investimento, o que eu realmente não ia fazer, e como eu posso alocar essa transferência para determinado projeto. Então o que acontece é que eu mato um em prol do outro. Então tem essas 2 coisas, tem o dinheiro que volta para fonte e os outros que são transferidos para ajudar a completar a lista da projetos. (Entrevistado 10).

A empresa não tem uma regra para limitar o cancelamento de projetos. Como a empresa tem histórico de poucos projetos cancelados, não há um controle rígido que determina que o projeto só pode ser cancelado até determinada fase. A empresa exige apenas que, para projetos com orçamento aprovado pela matriz, se tenha uma justificativa muito forte para serem cancelados, como reitera o entrevistado 6.

Então quando um projeto é cancelado, o que eu já gastei naquele projeto já gastei, é fundo perdido. O que sobra dinheiro volta para o financeiro. Mas para mim cancelar um projeto ele tem que ter uma justificativa muito forte porque a nossa direção ela vai ter que explicar para a matriz o porquê desse cancelamento. É bem difícil cancelar projetos aqui por esse motivo. (Entrevistado 6).

Quando há necessidade de ajuste de orçamento, em função de alguma alteração como variação cambial, mudança de escopo ou outra situação, estes ajustes também são sempre solicitados pelo gerente da área e encaminhados à controladoria. Dependendo do valor do ajuste, ele é autorizado na empresa e oriundo do cancelamento de algum projeto menos importante naquele momento. Caso o valor total do projeto seja acima de \$250.000 euros, a empresa deve solicitar a autorização da matriz para a liberação da complementação do orçamento do projeto. Nos casos destas complementações solicitadas à matriz, ela encaminha o valor de ajuste para a empresa, sem que a esta precise cancelar algum projeto em função do ajuste orçamentário, como é afirmam os entrevistados 4 e 9.

Acontece bastante esses ajustes de orçamentos por causa da variação cambial ou uma mudança de escopo. Então a gente solicita essa variação, ela vai lá para a Alemanha, porque como a gente é uma subsidiária de uma empresa que ela não está aqui, a gente solicita o orçamento fechado para 2021 e qualquer variação sobre isso a gente precisa passar para eles, para explicar o porquê que a gente precisa de mais dinheiro. (Entrevistado 9).

Vou te dar um exemplo, esse projeto aí, o que eu te dei o exemplo de troca de estação de pintura, vai ter ajuste em função do câmbio. A gente aprovou ano passado com o valor de R\$3.700.000 e tem um dos equipamentos da área da pintura que vem da Alemanha, é fabricado por uma empresa alemã. Como agora disparou o euro, eu vou ter que pedir R\$200.000 de complemento para esse projeto. A gente está negociando com a nossa controladoria, mas como é um projeto acima de \$250.000 euros, então a regra da companhia é que eu tenho que submeter o ajuste até a matriz, até a parte financeira da matriz. Projetos abaixo de \$250.000 euros eu tenho autonomia aqui para negociar, essa é a regra nossa. Então como esse equipamento deu um estouro por conta da variação cambial eu vou ter que pedir um complemento e como o valor do projeto é \$3.700.000, muito acima, ele vai até a Alemanha. (Entrevistado 4).

Os entrevistados afirmam que a empresa não possui restrição de recurso financeiro. Por conta disso, não há um limite máximo de gastos estipulado anualmente para a empresa Alpha. Os projetos podem ser propostos desde que apresentem uma perspectiva de retorno, seja para atender a uma especificação legal, ou ainda, para melhorar a imagem da empresa no mercado ou junto aos clientes. Além disso, a organização tem como política reinvestir seu lucro na própria empresa e não em outros negócios. Como relatam os entrevistados 1 e 2.

Por se tratar de uma empresa familiar, ela não tem isso de gastos máximo. Inclusive o seu fulano, que é o dono da empresa, ele tem 87 anos e declara que prefere investir na empresa do que colocar dinheiro em banco. Então não

tem essa questão, o que acontece é que até hoje em dia não existe uma diretriz de ter que se gastar tanto no máximo". (Entrevistado 1).

Quando eu estava na melhoria contínua foi quando a gente decidiu criar corporativamente para Alpha do Brasil o escritório de projetos, o escritório nosso de projetos nasceu por causa disso, porque por mais absurdo que pareça a gente não conseguia gastar todo o dinheiro que a gente pedia para a matriz por ano. (Entrevistado 2).

Com base nas informações recebidas, entende-se que a restrição para desenvolver os projetos são os recursos humanos (mão de obra) e não os recursos financeiros Segundo Hansen e Birkinshaw (2007), esse fato pode estar associado a seleção inadequada dos projetos. Há empresas que tem baixa conversão de ideias, as ideias surgem e os gerentes não têm capacidade de selecioná-las adequadamente. Nesse caso, ou as ideias morrem em processos orçamentários que enfatizam o incremental e não o novo, ou os gerentes deixam que as todas as sejam implementadas, sem nunca eliminá-las. Nesse caso, há a necessidade de rever e melhorar o processo de seleção de ideias.

A alocação das horas necessárias de cada profissional é realizada no PPM, através do cronograma de recursos. O cronograma de recursos é um item dentro do PPM que aloca a quantidade de horas de cada recursos, de acordo com o calendário de horas disponíveis deste recurso. Quando o usuário é cadastrado no PPM, ele recebe uma licença e uma hora calendário associada. Logo, quando o gerente de projetos aloca uma atividade x para determinado recurso, é necessário indicar a quantidade de horas que ele estará nesta atividade. Desse modo, é possível saber a alocação de cada profissional em cada projeto, porém essa ferramenta (PPM) mostra a alocação dos recursos nos projetos, mas não a priorização deste recurso. O gerente sabe em quais atividades o recurso A está trabalhando, mas não sabe quando ele inicia e finaliza cada uma delas e menos ainda qual a ordem de execução. A ferramenta tem fragilidades neste ponto e necessita de melhoria, de forma que seja possível verificar com mais clareza a alocação dos recursos e a sobreposição dos projetos. O entrevistado 5 ressaltava algumas destas fragilidades em sua fala:

A gente usa o PPM para a projeção de projetos. A gente está fazendo agora avaliação da carga de recursos, eu aqui na minha área estou fazendo semanalmente. Eu tenho barrinhas assim de cada analista, eu tenho ali o tempo dele 180 horas e eu tenho a relação da quantidade de horas que ele tem que se dedicar para cada projeto, mês a mês. Mas isso é só o básico, a gente tem que começar a fazer esse questionamento do tipo: Como eu encaixo isso dentro da minha capacidade, o que é prioridade eu tenho que

encaixar dentro da minha capacidade, eu tenho determinados projetos e determinadas horas de recursos e tenho que priorizar alguns, como eu faço isso. Então eu preciso fazer um *trade off* e priorizar o que que é mais importante e qual a minha carga de homem hora para poder tocar o projeto. (Entrevistado 5).

Em suma, a empresa precisa avançar nos quesitos alocação de recursos e orçamentos. Como observado, a empresa não tem um orçamento dividido por categorias de projetos. Os projetos são divididos por áreas e cada área é responsável pela gestão dos seus projetos. Entre estes projetos haverá projetos mais tradicionais - como a troca de uma máquina - e projetos mais inovadores - como a implantação de alguma tecnologia habilitadora da indústria 4.0. Apesar da empresa não ter histórico de cancelamento de projetos, manter os projetos por área faz com que o gerente seja o responsável pelo orçamento dos projetos. Então, em caso de projetos cancelados ele pode redistribuir o orçamento dentro de sua área, sendo que muitas vezes este orçamento poderia ir para um projeto mais urgente, como o caso relatado de adequação à legislação e normas. Em relação a alocação dos recursos, a empresa está estruturando o escritório de projetos e já tem implantado uma ferramenta para alocação de recursos. Essa ferramenta apresenta fragilidade, mas estas fragilidades já foram identificadas pelos usuários e devem ser corrigidas à medida que o escritório vai se estruturando.

#### **4.2.4 Ferramentas Utilizadas**

Esse tópico consistiu em identificar, na percepção dos entrevistados, quais as ferramentas utilizadas pela empresa na gestão do portfólio de projetos.

Para os aspectos estratégicos as ferramentas utilizadas são o BSC e o A3. Para definir os direcionadores estratégicos da organização a empresa utiliza o BSC. O desdobramento do BSC gera o A3, que é composto de um resumo dos projetos que devem ser desenvolvidos para atender as estratégias da empresa. Os projetos existentes neste A3 são separados por área de execução: um A3 de operações, um A3 de marketing e vendas e um A3 administrativo.

O time de soluções, que é o responsável por desenvolver soluções para os problemas de manufatura da empresa da empresa, utiliza o *Design Thinking (DT)* como uma ferramenta para a geração de ideias. Quando eles recebem uma demanda,

juntam os especialistas e fazem rodadas de DT para entender o problema e gerar ideias de soluções, como relata o entrevistado 1:

Na minha área de soluções a gente usa muito forte o *Design Thinking*, que é uma ferramenta para entender o usuário e o problema. A gente recebe a demanda, eu junto um monte de especialistas, a gente ouve um monte de gente que vive esse problema, que conhece ele, que está sentindo a dor. Daí a gente faz umas rodadas de *Design Thinking*, com *brainstorming*, criação de persona, *kanban*, enfim tudo que possa nos ajudar. A partir daí a gente escreve um escopo, que se chama análise de negócio, que é o final do processo *Design Thinking*. Se tu for olhar o processo de *Design Thinking* ele começa maior e ele vai diminuindo à medida que ele vai identificando o que é percepção e o que realmente é problema. (Entrevistado 1).

O *Design Thinking* é uma ferramenta que vem sendo utilizada nos projetos de inovação mais radicais pelas características do processo. Como colocam Mahmoud-Jouini, Midler e Silberzahn (2016) e Hölzle e Rhinow (2019) o *Design Thinking* ajuda a gerar insights e propor soluções para problemas mal definidos. É um processo mais rápido e assertivo, de observação, colaboração, visualização de ideias e prototipagem de conceitos, sempre com foco em atender as necessidades do cliente.

Na etapa de seleção de ideias, os entrevistados relatam que a definição de quais ideias viram projetos é fortemente baseada em critérios econômicos, como ROI, Payback e cálculos de viabilidade técnica e financeira realizados pela área de controladoria, contrariando o que preconiza a literatura. Como ressalta de Salerno *et al.* (2015) e Borjy *et al.* (2019) ferramentas financeiras não são recomendadas para gerir projetos de inovação, porque precisam de informações que nem sempre estão disponíveis no *front end* do projeto, dificultando assim a seleção de projetos mais disruptivos.

Para o entrevistado 3, se o projeto não tiver ROI é muito difícil conseguir a aprovação para execução. O entrevistado 8 relata que os cálculos de orçamento para autorização do projeto são bem complexos, realizados pela controladoria, e tem sempre como base ferramentas da área custos.

Não, a gente não chega a usar ferramentas. A gente usa alguns critérios, tem impacto na receita, se vai te abrir novos negócios e tal, se vai ter ROI, isso é vital. Se não tiver ROI ele morre na entrada. Tu pode até fazer ele entrar no A3, mas quando tu for fazer a subordinação para a matriz dificilmente tu vai

consegui recurso, exceto se for as iniciativas da área de pesquisa e desenvolvimento, que eles tem alguma verba que é das universidades pra PeD. (Entrevistado 3).

Para o orçamento nós temos um sistema de orçamentação bastante complexo, extremamente complexo, que chamamos de *calculation*. Nesse sistema são inseridas informações do tipo: vida útil do equipamento, depreciação, valor do equipamento, retorno do investimento, tempo de retorno do investimento, tudo dentro da nossa política. Tudo isso sempre baseado em análise financeira e ferramentas de custos. (Entrevistado 8).

Já o entrevistado 2 afirma que nem sempre é necessário que o projeto tenha ROI. Há casos de projetos que foram aprovados sem ter ROI, o que precisa é apresentar uma boa justificativa para aquele projeto. Muitas vezes é necessário que o gerente da área “venda” o projeto. Para isso ele pode colocar o projeto no portfólio todos os anos e ir argumentando com a gestão até que tenha aprovação, ou mesmo criar *links* com outras áreas e pessoas, na busca por alguém que defenda o seu projeto. O entrevistado 2 evidencia esse achado em sua fala:

Há casos que é mais na base de convencimento, tipo eu pego esse projeto, boto embaixo do braço e saio vendendo ele, porque eu já vi esses resultados. Na verdade, estes são os caminhos da inovação. Eu preciso criar conexão com outras pessoas, sejam da subsidiária ou da matriz, para eu poder criar caminhos e confiança. Como eu crio confiança? Com uma equipe capaz, com resultados, trabalhando em projetos conjunto que deem resultados. Dai tu começa a ganhar confiança e fazer *links* porque o cara fala assim: “Ah ele já fez tantos projetos legais, eu vou lutar para esse projeto dele funcionar”. E daí mano, se vier um projeto do cara esquece o ROI, ele é aprovado. (Entrevistado 2).

O entrevistado 7 corrobora o entrevistado 2 afirmando que a empresa aprova projetos sem ROI, desde que estes projetos apresentem outros tipos de vantagens para a organização, tais como: melhorar a imagem da empresa no mercado, contribuir para reduzir alguma emissão entre outros, ou seja, projetos que apresentem vantagens não apenas de origem financeira.

Tu consegue aprovar projetos sem ROI desde ele traga algum tipo de benefício para a empresa. Deixa eu te dar um exemplo, a matriz aprovou um projeto meu de pintura de saibro que não tem ROI, mas que era importante para o marketing da empresa, para o mercado, ia pra trazer mais visibilidade, então eles entenderam e aprovaram. (Entrevistado 7).

Nas etapas de orçamentação e alocação de recursos, não há uma padronização de ferramentas para todas as áreas da empresa. A área de operações (das duas unidades de negócio), juntamente com o escritório de projetos da empresa

utiliza o PPM. Na área de desenvolvimento de produto a ferramenta utilizada é o PIT<sup>4</sup>, como relata o entrevistado 6:

O orçamento de projetos é realizado no PIT, ele é uma ferramenta específica utilizada na Europa, de uma empresa que se chama planta. É uma empresa específica que faz software para gestão de projetos e gestão de portfólio de produto. Então, nós colocamos lá todas as ideias que nós temos. Por exemplo, nós temos a visão de desenvolvimento para os próximos 10 anos, então com base nisso, a gente vem anualmente trazendo os novos projetos à tona. Esses novos projetos e toda a capacidade de desenvolvimento, inclusive as horas de engenharia, é mantido no PIT. (Entrevistado 6).

Essa falta de padronização é considerada um aspecto negativo pela empresa e está sendo revista. Segundo o entrevistado 5, integrante do escritório de projetos, a partir de 2021 o PPM será a ferramenta oficial para o gerenciamento de projetos em toda a companhia. O modelo de escritório de projetos da empresa Alpha será implementado em todas as empresas do grupo. O PPM foi a ferramenta escolhida e padronizada como a ferramenta oficial da gestão de projetos e deverá ser utilizado por todos os setores de todas as empresas da companhia. O objetivo desta padronização é permitir que todos os países, e todas as áreas, possam compreender os cronogramas dos projetos. O trecho que segue foi retirado da fala do entrevistado 5 e evidencia essa informação:

A gente está consolidando a ferramenta de gestão de projetos. Hoje a gente usa algumas, cada área usa uma. Então, a gente escolheu uma ferramenta que todo mundo vai utilizar, todo mundo vai usar aquele *rol* de ferramenta e partir daí se aperfeiçoou esse modelo. A matriz copiou o modelo e vai implantar em todas as Alphas a partir do ano que vem. O objetivo é a gente ter uma ferramenta onde todo mundo fala a mesma língua, em todos os países, em todas as áreas. Daí então eu vou saber pelo menos ler o cronograma de um projeto.

Em suma, a empresa Alpha utiliza ferramentas de gestão estratégica e tomada de decisão como o BSC e o A3. O time de soluções utiliza o DT como ferramenta para a geração de ideias. Para a orçamentação dos projetos, as ferramentas relatadas nas entrevistas são baseadas em critérios financeiros e definidas pela equipe de controladoria. Pelo relato dos entrevistados, a empresa divide os projetos em categorias, mas não utiliza essa informação para nada. Neste caso, a empresa poderia utilizar estas categorias de projetos e selecionar as ferramentas para conduzir

---

<sup>4</sup> PIT: é um software de gestão de projetos e portfólio de produtos, desenvolvido por uma empresa chamada Planta e muito utilizado na Europa (Entrevistado 6).

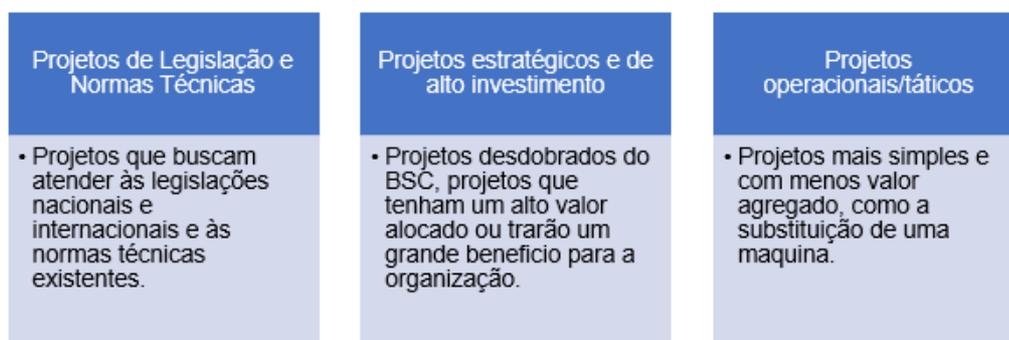
os projetos de acordo com o modelo proposto por Chaparro, de Vasconcelos Gomes e de Souza Nascimento (2019), que seleciona o tipo de ferramenta de acordo com o grau de inovação dos projetos. Projetos com inovação mais incremental poderiam fazer uso de ferramentas mais tradicionais (ROI, VPL, payback) e projetos com inovação mais radical prezam pela utilização de ferramentas mais elaboradas, como opções reais, AHP, árvore de decisão, *roadmap*, selecionismo. Além disso, não foi relatada a utilização de ferramentas para balanceamento do portfólio de projetos, assunto que será discutido na próxima seção.

#### 4.2.5 Balanceamento do Portfólio

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões sobre o balanceamento do portfólio de projetos da empresa Alpha, evidenciando como este é realizado.

A literatura sugere a classificação de projetos por nível de inovação como destacado por Filipov e Mooi (2010), ou nível de incerteza, segundo o modelo diamante proposto por Shenhar e Dvir (2010). A empresa não segue o que recomenda a literatura e não classifica seus projetos quanto ao grau de inovação ou incerteza. Como já relatado, a empresa apenas divide seus projetos em: projetos de legislação e normas técnicas, projetos estratégicos e de alto investimento e projetos operacionais/táticos, como mostra a figura 34.

Figura 34: Categoria de Projetos da Empresa Alpha



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Essa divisão ocorre para que a empresa possa tratar cada tipo de projeto com o nível de governança que ele requer. Os projetos que têm maior impacto para a empresa estão na categoria estratégicos e de alto investimento, esses terão governança específica, fórum de acompanhamento, serão discutidos e avaliados

constantemente, porque qualquer mudança em relação a eles pode trazer um impacto profundo para a empresa. Os demais projetos são considerados mais simples e com menos impacto para a empresa (usualmente projetos de rotina). Neste caso, eles serão conduzidos pelo gestor da área no qual estão inseridos e só serão avaliados no final do projeto.

Pelo relato dos entrevistados, a empresa não possui orientação quanto ao balanceamento do portfólio de projetos. Não há uma diretriz que determine quantos projetos de cada categoria (projetos estratégicos, tradicionais, projetos de inovação ou projetos de indústria 4.0) a empresa deve ter. Há uma vasta literatura (BORJY et al., 2019; COOPER; SOMMER, 2020; HUVAJ; JOHNSON, 2018; SALERNO et al. 2015) que afirma que se a empresa não tem portfólio equilibrado, com projetos de inovação radical e incremental, pode estar desenvolvendo apenas projetos de baixo risco e curto prazo, com inovação incremental e isso pode prejudicar a competitividade da empresa no longo prazo. O entrevistado 7 reforça essa afirmação da falta de balanceamento de portfólio afirmando que:

[...] Não existe uma definição do tipo 10% do orçamento tem que ser em projetos do tipo A, 25% para projetos do tipo B, isso não tem. A gente monta um portfólio, vê o que que vai passar e o que não e depois a gente vê que tipo são os projetos, a gente não faz o contrário. (Entrevistado 7).

O escritório de projetos tem uma classificação desenvolvida e utilizada apenas por ele para contabilizar e classificar os projetos realizados durante o ano. Entre estas categorias há inovação e indústria 4.0, mas não há uma meta específica a ser atingida dentro de cada categoria. Além disso, o escritório de projetos não gerencia o portfólio por estas categorias. Eles quantificam e classificam os projetos por categoria, mas não utilizam essa informação para verificar o balanceamento e equilíbrio do portfólio de projetos da empresa, como relata o entrevistado 10:

A gente aqui no escritório conta quantos projetos teve por ano e distribui eles em categorias que a gente criou para facilitar a nossa vida. Tem a inovação e a indústria 4.0 entre as categorias. Então, se tu perguntar para um gerente de uma área ele vai te dizer que sim ele tem x% de projetos de inovação, mas a gente não faz a gestão destes projetos, não tem um olhar direcionado para esses projetos. Hoje tu tem centenas de iniciativas de indústria 4.0 que são geridas pelos gestores das áreas, eles tomam essa iniciativa baseado em um benefício que ele vai trazer para a área que eles estão inseridos, mas não para atender um direcionador de indústria 4.0. (Entrevistado 10).

Com base nas informações coletadas, pode se concluir que a empresa classifica e contabiliza os projetos em cada categoria, mas não utiliza essa informação para nenhuma tomada de decisão. A empresa realiza o monitoramento e a divisão dos projetos, mas não o balanceamento do portfólio. Utilizar ferramentas visuais que auxiliem na distribuição dos projetos por categoria, como os baldes estratégicos de Terwiesch e Ulrich (2008), a matriz BCG (ZIN; BOMBANA; BARCELLOS, 2018) ou o diagrama de bolhas (COOPER; EDGETT, 2001), pode ajudar a empresa na distribuição dos projetos por cada categoria e no balanceamento do portfólio. Estas ferramentas ajudam a enxergar a posição de todos os projetos da empresa e equilibrar o portfólio com projetos de diferentes graus de inovação. Além destas ferramentas, há também os modelos combinados, como o modelo de Stage-Gate, o portfólio de Mathews, a gestão de portfólio de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt (COOPER, 2001; MATHEWS, 2010; COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 1997a, 1997B, 1999, 2000, 2001) que são ferramentas que sugerem momentos específicos para olhar todos os projetos de modo conjunto, pois só assim se faz balanceamento. O modelo de *Stage Gate* é o mais famoso entre eles e sugere realizar o balanceamento do portfólio em cada um dos *gates*.

Conclui-se que, apesar da empresa não fazer o balanceamento do portfólio, utilizando métricas específicas e ferramentas sugeridas pela literatura, ainda assim a empresa entende a importância de ter projetos de diferentes tipos no seu portfólio. Promover eventos de geração de ideias, como os workshops que são voltados para atender as diretrizes estratégicas e para gerar projetos de inovação, ter a indústria 4.0 como um direcionador estratégico e investir em projetos tradicionais comprova que a empresa procura ter um portfólio com projetos de características diferentes e que estejam alinhados às estratégias da empresa.

#### **4.2.6 Desafios Enfrentados pelos Projetos de Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0**

A última etapa da entrevista tratava de identificar, junto aos entrevistados, quais os principais desafios enfrentados pelos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

As questões financeiras que envolvem estes projetos foram levantadas e reafirmadas por 50% dos entrevistados como sendo um paradigma a ser rompido para

dar andamento nestes projetos. Os entrevistados reiteram que, como o cenário é bastante incerto, há uma dificuldade significativa em quantificar estes projetos e calcular retornos e vantagens oriundos de sua implantação utilizando os métodos tradicionais que a empresa costuma utilizar. Para o entrevistado 2 a maior dificuldade destes projetos é conseguir a aprovação financeira, como relata em sua fala:

O primeiro desafio, na minha opinião, é como o gestor vai vender esse projeto para o financeiro, esse é o maior empecilho. Tu está falando de um projeto diferente dos do dia a dia, sem rentabilidade no curto prazo, sem ROI e o financeiro eles não enxergam o que tu enxerga. (Entrevistado 2).

Os desafios financeiros são característicos de projetos de inovação como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, uma vez que, apresentam alto grau de incerteza e não se pode medir com clareza e facilidade seus os retornos. A literatura sugere que, para projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, as técnicas de avaliação financeiras (VPL, ROI e payback) devem ser evitadas, pois demandam grande disponibilidade de informações já nas etapas iniciais e, portanto, tendem a penalizar projetos com maior grau de incerteza. Estas ferramentas são baseadas em dados precisos. Logo, desconsideram fatores intangíveis que são importantes para alavancar o desempenho da organização como: vantagem competitiva futura, oportunidades, flexibilidade. (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; SANTOS; PAMPLONA, 2002).

O perfil dos profissionais que irão atuar neste novo cenário foi apontado como um desafio por 7 dos 12 entrevistados. Para estes 7 entrevistados ter profissionais qualificados para atuar neste contexto indústria 4.0 é um desafio, porque não eles não sabem ao certo quais as reais competências que esse contexto demandará dos colaboradores. Entre os relatos está a criação do perfil de analista de dados, que seria o profissional responsável por analisar os dados coletados e tomar decisões, como ressalta o entrevistado 5:

Um desafio da indústria 4.0 é a mão de obra. Hoje tem poucos profissionais preparados para trabalhar com os dados. Hoje a gente não tem um analista de dados para pegar aquilo e ver o que eu posso fazer com isso, isso é uma coisa que eu não vejo ninguém fazendo ainda. Eu vejo muitos falando: vamos nos conectar, vamos coletar os dados. Tá e daí depois que tu tiver isso? O que tu vai fazer com essas informações? Essas perguntas ainda não têm respostas. (Entrevistado 5).

Para o entrevistado 8, a empresa terá que capacitar seus colaboradores internamente para esse novo contexto, pois as instituições de ensino não estão preparando profissionais com as competências necessárias para atuar nesse cenário de indústria 4.0:

[...] outro desafio é que gente tenha recursos humanos suficientes, inclusive vindo de universidades, que eles tenham essa base de engenharia bem consolidada. Eu não vejo as universidades e centros de ensino preparando este profissional. Um bom engenheiro, que tenha background acadêmico, fale inglês fluentemente, tenha conhecimento de Python e Machine Learning. Essa pessoa na próxima década ela com certeza estará empregada. O cientista de dados que a gente fala tanto hoje, eu mesmo devo criar nos próximos meses vagas para cientista de dados aqui, só que eu nem imagino onde buscar, a não ser internamente treinando os meus, eu não consigo ter essa visão de onde estão os profissionais da indústria 4.0. (Entrevistado 8).

A mudança de perfil dos trabalhadores e a necessidade de capacitar essa mão de obra em diferentes níveis de formação é um desafio que converge com a literatura (VERMULM et al., 2018). Promover a capacitação dos profissionais internos, identificando e desenvolvendo as competências necessárias para atuar neste novo contexto é uma das sugestões de Ghobakhloo (2018) para romper este desafio, pois embora os profissionais não tenham todas as competências necessárias eles têm experiência em relação à operação e conhecem a cultura da empresa, o que é considerado uma vantagem neste processo de transição para a indústria 4.0.

Implementar um sistema flexível, que conecte máquinas e sensores e que converse com os demais sistemas da organização é um grande desafio para os entrevistados 3, 6, 8 e 12. A empresa possui um parque fabril misto, com máquinas novas e mais flexíveis e máquinas antigas e com menor (ou nenhuma) capacidade de conexão. Criar uma estrutura que permite a inserção de máquinas de diferentes potenciais, conectadas entre si e em rede é um desafio significativo e vem sendo realizado em três etapas, como destaca o entrevistado 1:

A gente observou vários modelos e o que a gente identificou que é comum nos modelos é: tem uma camada de integração, que é onde a gente está, acima da camada de integração tem a camada de conectividade e acima da camada de conectividade tem a camada de inteligência. Então, qualquer iniciativa que a gente achou, tanto na universidade quanto fora dela, privilegia essas 3 coisas: tu ter a camada de integração, depois ter uma camada de conectividade com *hardwares* e *softwares*, que seja alguma coisa além da máquina e então depois eu tenho que ter uma camada de integração, por que agora que eu tenho essas informações da máquina eu ligo elas no quê? e então, uma vez que, eu tenho a conectividade e a integração o próximo passo é a inteligência. Que é o sistema autônomo do Shingo. (Entrevistado 1).

A tecnologia é o ponto chave da indústria 4.0. Ter um sistema flexível e interconectado é um desafio, porque necessita de muita tecnologia. (VERMULM *et al.*, 2018). Para o entrevistado 12, esse desafio se acentua porque a tecnologia no Brasil ainda é cara e pouco adaptável, como menciona na seção retirada de sua entrevista:

Ainda é muito caro para o Brasil fazer investimentos em tecnologia de ponta. Isso eu posso te afirmar pela minha experiência com a Alemanha, porque a gente é muito comparada com a Alemanha, os nossos diretores vão para lá em reunião e voltam com o discurso de: “eu quero tal coisa igual a Alemanha”. Cara aqui no Brasil para trazer alguma tecnologia de fora para cá pode botar 40% em cima. Isso é o nosso custo de importação. Então quando tu fala em indústria 4.0 para redução de custo por mão de obra, a nossa mão de obra é barata e a tecnologia muito cara, então acaba não se pagando. (Entrevistado 12).

Os desafios técnicos, relacionados a implementação e padronização de sistemas, são apontados por K. Zhou, Liu e T. Zhou (2015). A implantação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 dependem ainda da integração colaborativa entre sistemas físicos e sistemas de computação. Logo, criar um sistema flexível e adaptável, que permita integrar máquinas e componentes de diferentes fornecedores, e com características distintas, é o primeiro desafio da indústria 4.0.

A empresa tem uma trajetória de digitalização que foi iniciada com o uso da simulação já em 1992 e, desde então, busca a utilização da tecnologia para solucionar problemas. Além disso, a organização tem a indústria 4.0 entre os direcionadores estratégicos da organização, mesmo assim 33% dos entrevistados apontaram como desafio a dificuldade de definir o que é indústria 4.0. Para eles não há um conceito claro do que realmente é a indústria 4.0, como sustenta a fala do entrevistado 9:

Falta o conhecimento do que realmente é a indústria 4.0, muitas vezes existe desejos de se fazer indústria 4.0, mas a pessoa nem sabe o que é. Aí quando tu pergunta, porque o ele quer fazer aquilo, ele fala: ah porque é legal, quando vem uma visita é bonito de mostrar, mas quando tu olha não tem um objetivo de ter aquela tecnologia. (Entrevistado 9)

A dificuldade em definir o conceito de indústria 4.0 já foi abordada na seção 4.1. Os entrevistados não têm um consenso do que é indústria 4.0, mas todos tem o entendimento de que aborda a integração de máquinas e sistemas para o processo autônomo, conceito este que encontra sustentação na literatura pesquisada. Além do desafio em definir o conceito de indústria 4.0, surge como outro desafio a dificuldade de criar um *roadmap* para este processo. Os entrevistados 1, 2, 7 e 11 afirmam que,

por mais que o processo seja uma jornada é importante ter uma trilha para guiar o processo, como salienta o entrevistado 2: “O segundo desafio é que tem que ter uma linha, um *roadmap*, um caminho para esse negócio. Tu vai errar, mas tu tem que ter uma linha para saber para onde tu está indo”. Criar um roadmap com a trilha de digitalização da empresa pode ajudar a garantir o sucesso no processo de transição para a indústria 4.0, como afirmado por Ghobakhloo (2018). Keskin (2020) ressalta que digitalização é uma jornada individual para cada empresa e não apenas a implantação de um projeto. Logo, se houver falhas no meio do percurso, a mesma pode ser interrompida ou não trazer os resultados esperados.

Por fim há o desafio de romper a cultura organizacional. Como a empresa estudada é uma subsidiária, a característica disso é a existência de um certo nível de controle sobre ela. Para o entrevistado 9, este controle dificulta o desenvolvimento dos projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, porque não se pode controlar ou burocratizar a inovação, para ele a inovação é um processo de tentativa e erro, como reitera a fala retirada de sua entrevista:

[...] porque a inovação é todo mundo experimentar e tentar. Você vai fazer tentativas e dessas muitas 5% vão se transformar em case de sucesso. Só que se a gente colocar tudo num quadrado, estabelecer governança para esse processo, isso só faz sentido do ponto de vista administrativo, mas para mim eu fico um pouco cético. Porque se a empresa colocar muitos processos nesses projetos de indústria 4.0 eles não vão sair do papel, porque a tecnologia muda muito rápido e se não tiver agilidade e rapidez o problema acaba se resolvendo de outra maneira. (Entrevistado 9).

A inovação não é simplesmente uma tentativa e erro. A inovação é um processo de geração de valor. (GRANSTRAND; HOLGERSSON, 2020). As empresas usualmente promovem a inovação através de um processo sistemático, que resulta em projetos com diferentes graus de novidade (inovação incremental e inovação radical). Quanto maior o grau de inovação, maior a incerteza e mais desafiador é o projeto e, então, terá o processo envolto em tentativa e erro. (SALERNO; GOMES, 2018). A literatura difere projetos de inovação de projetos tradicionais por suas características (FILIPOV; MOOI, 2010 ; SHENHAR; DVIR 2010) e sugere a utilização de ferramentas distintas entre estes projetos, mas deixa claro que a condução do processo de inovação deve acontecer de maneira estruturada, com etapas definidas e com a utilização de ferramentas adequadas, e não apenas por tentativa e erro.

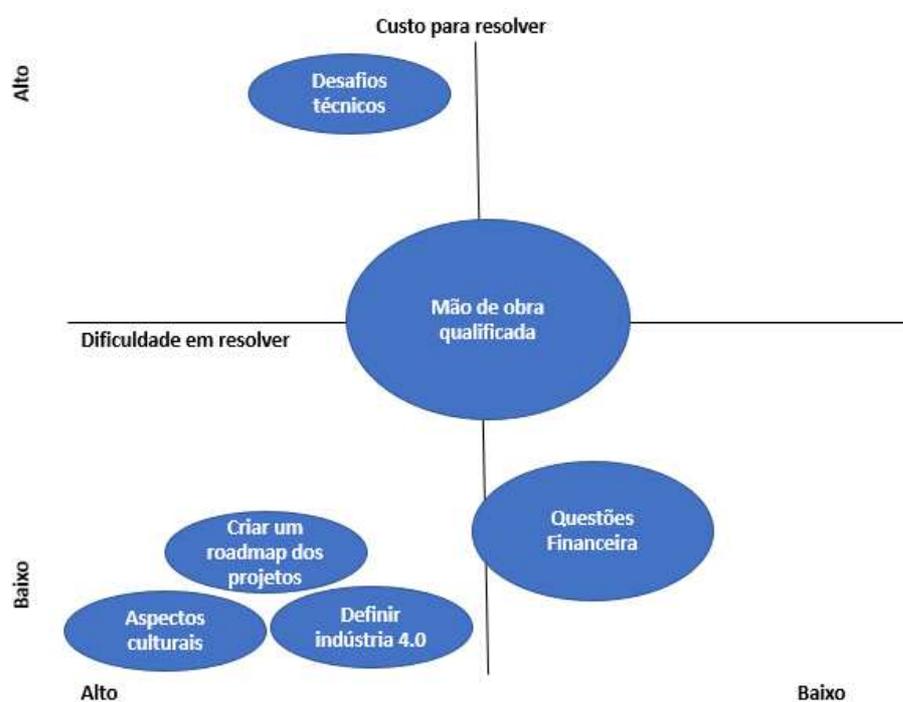
Outro aspecto característico da cultura da organização é a falta de comunicação entre os setores da empresa e entre as empresas do mesmo grupo. Parece haver um desalinhamento entre os projetos propostos pelas diferentes áreas. Entre as empresas do mesmo grupo não há troca de informações e há uma certa “competição” entre elas. Essa competição é gerada pela cultura do grupo, que tem como praxe beneficiar as empresas que apresentem melhor desempenho, como relata o entrevistado 7:

Talvez haja em alguns casos um desalinhamento entre as engenharias e as áreas que realmente fazem a produção. E talvez sejam as áreas de produção que demandariam os projetos mais relevantes ou as tecnologias mais relevantes para os conceitos da indústria 4.0. Outra coisa que eu vejo é a pouca troca de informação entre os diversos países. Mas existe, na área de industrial, uma certa concorrência entre as empresas. Por exemplo: a empresa anuncia que vai lançar o produto x, qual país vai montar? Todos os países querem montar, então no fim quem monta normalmente é quem apresenta um custo mais competitivo, mas para chegar num custo mais competitivo existem as melhorias de performance que cada país deve ou não implementar na sua companhia. Para que isso ocorra, e me parece que é para ganhar estas promoções, eles não se falam, eles não trocam experiência. Então, por isso que a gente tem hoje um MES diferente em cada país. (Entrevistado 7).

Essa competição é gerada pela cultura da organização e é comum entre empresas subsidiárias. Como afirmam Ferreira e Serra (2009) cada subsidiária procura proteger seus interesses, mesmo que isso cause a intensificação da competição entre elas. Para minimizar este efeito a opção seria adotar um comportamento colaborativo, de cooperação para que se reduza a pressão competitiva entre as empresas.

A Figura 35 apresenta um resumo dos desafios indicados pelos entrevistados. O eixo x representa a dificuldade em resolver o desafio e o eixo y apresenta o custo de solução. O tamanho da esfera é proporcional a quantidade de vezes que o desafio aparece no relato dos entrevistados.

Figura 35: Desafios dos Projetos das Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 na Empresa Alpha



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Na seção que segue é apresentada uma síntese deste capítulo.

### 4.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Nesta seção é apresentada uma síntese dos resultados apresentados nas seções anteriores.

A empresa possui um portfólio único e todos os projetos, independentemente de suas características, seguem o mesmo processo para geração e seleção de ideias, avaliações e alocação de recursos. O que não é preconizado pela literatura, uma vez que, projetos com características muito disruptivas podem ser penalizados em prol de projetos tradicionais, pois os projetos tradicionais apresentam maior disponibilidade de dados e informações, tem processos mais claros e definidos, enquanto, que os projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, possuem alto grau de incerteza. (COOPER; SOMMER, 2020; FILIPOV, MOOI, 2010).

A empresa tem a indústria 4.0 como um dos direcionadores estratégicos, o que auxilia na geração de ideias de projetos direcionados para atender essa demanda. A empresa contabiliza e classifica os projetos, mas não faz o balanceamento do

portfólio. Esse achado difere do que sugere a literatura, pois se a empresa não tem portfólio equilibrado, com projetos com diferentes graus de inovação, pode estar desenvolvendo apenas projetos de uma categoria e assim perder competitividade no longo prazo. (BORJY et al., 2019; COOPER; SOMMER, 2020; HUVAJ; JOHNSON, 2018).

O processo de geração de ideias ocorre com eventos formais e estruturados e com fluxo contínuo. A avaliação das ideias e seleção dos projetos é predominantemente baseada em critérios financeiros, porém foi identificado a ocorrência de fluxos informais, nos quais o convencimento do gestor e a apresentação de resultados anteriores de projetos deste gestor se sobrepõe às ferramentas e critérios da organização

Entre as ferramentas utilizadas para a aprovação dos projetos estão o ROI, VPL e payback. Esse achado difere do que preconiza a literatura. Para projetos como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, nos quais há um certo grau de incerteza, são indicadas técnicas mais flexíveis. (BRASIL et al., 2018). Entre elas estão: teoria das opções reais (BRASIL et al., 2018), modelos de pontuação (COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 1997A), selecionismo (LOCH; SOLT; BAILEY, 2008), método de hierarquia analítica (RUSSO; SBRAGIA, 2014) ou métodos combinados.

A área de projetos da empresa está se direcionando para um gerenciamento mais efetivo. Conforme relato das entrevistas, a empresa está implantando o escritório de projetos e este será padrão para todas as empresas da companhia. Este escritório vai trabalhar com ferramentas padrão e a partir de 2021 vai buscar novas diretrizes para gerenciar os projetos. Entre as orientações está a consolidação de uma ferramenta para gerenciamento dos recursos entre os projetos e a divisão e balanceamento do portfólio de acordo com a estratégia organizacional.

Entre os desafios que os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 encontram na empresa, foram citados os desafios técnicos e financeiros destes projetos, a falta de definição do que é a indústria 4.0, a preocupação com a mudança de perfil dos colaboradores que precisam operar nesse novo contexto e as questões culturais que dificultam promover estes projetos. Estes achados corroboram a literatura que afirma que projetos de tecnologias, são difíceis de mensurar os retornos financeiros (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013). Além disso, no Brasil a tecnologia ainda é cara e pouco flexível (VERMULM et al., 2018) o que

também corrobora com a dificuldade de promover os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

O Quadro 7 apresenta uma síntese dos resultados encontrados na literatura e no estudo de caso.

Quadro 7: Síntese dos Resultados

Seção	Definição Adotada e Referência	Achados do estudo de caso
Definição de indústria 4.0 e conexão com a estratégia	<p>Não há um conceito claro do que é indústria 4.0. Alguns estudos estão sendo desenvolvidos para preencher essa lacuna. Para alguns autores a indústria 4.0 é introdução das tecnologias aos processos de manufatura com o objetivo de torná-los autônomos e descentralizados. Os projetos têm como objetivo atender a estratégia da empresa. (GHOBAKHLOO, 2018; FALLER; FELDMÜLLER; 2015; XI, XI, LIU, 2018; COOPER; SOMMER, 2020).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Indústria 4.0 está entre as diretrizes estratégicas;</li> <li>✓ Não há nivelamento no consenso do que é indústria 4.0;</li> <li>✓ Há uma certa dificuldade em quantificar as vantagens dos projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.</li> </ul>
Surgimento das ideias e seleção dos projetos	<p>Para selecionar projetos de inovação, que possuem certo grau de incerteza, são indicadas técnicas mais flexíveis como: teoria de opções reais, modelo de pontuação, selecionismo, técnica da aprendizagem, diagramas de influência, árvores de decisão, método de hierarquia analítica (AHP), métodos combinados como método de Stage-Gate, métodos de desenvolvimento de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt entre outros. (SOUZA et al., 2017; SANTOS, 2009; RUSSO; SBRAGIA, 2014; LOCH, SOLT; BAILEY, 2008; DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; SANTOS E PAMPLONA, 2002; COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 1997A; COOPER, 1990).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ As ideias nascem para atender às necessidades e metas de alguma área da organização;</li> <li>✓ A empresa estudada tem um processo formal para gestão de projetos;</li> <li>✓ O escritório de projetos tem ferramentas e técnicas para gerenciar os projetos;</li> <li>✓ A organização tem critérios pré-definidos para pontuar os projetos e definir sua relevância para implantação</li> <li>✓ Há processo de geração de ideias com eventos formais e estruturados e de fluxo contínuo;</li> <li>✓ A empresa fomenta a geração de ideias.</li> </ul>
Alocação de Recursos e Orçamentos	<p>Os projetos de inovação envolvem um certo grau de incerteza que é considerada um parâmetro relevante para a tomada de decisão de investimentos. Neste tipo de cenário, ferramentas como VPL e ROI não são indicadas, pois são baseadas somente no retorno financeiro e desconsideram fatores intangíveis importantes para alavancar o desempenho da organização como: vantagem competitiva futura, oportunidades e flexibilidade. (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; BASSO, 2011; SANTOS; PAMPLONA, 2002).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A empresa utiliza o PPM para gerenciar seus projetos;</li> <li>✓ O orçamento é dividido por áreas e não por categorias de projetos;</li> <li>✓ A empresa se beneficia da Lei do Bem para projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0;</li> <li>✓ Quando os projetos são cancelados o dinheiro volta para a gestão da controladoria;</li> <li>✓ Quando há ajustes de orçamento estes são oriundos do cancelamento de algum projeto;</li> <li>✓ A alocação de recursos é realizada no PPM, porém não há priorização na alocação dos recursos.</li> </ul>

<p>Ferramentas Utilizadas</p>	<p>Para selecionar projetos de inovação, que possuem certo grau de incerteza são indicadas técnicas mais flexíveis como: teoria de opções reais, modelo de pontuação, selecionismo, técnica da aprendizagem, diagramas de influência, árvores de decisão, método de hierarquia analítica (AHP), métodos combinados como método de Stage-Gate, métodos de desenvolvimento de novos produtos de Cooper, Edgett e Kleinschmidt entre outros. ( BRASIL et al., 2018; SOUZA et al., 2017; SANTOS, 2009; RUSSO; SBRAGIA, 2014; LOCH, SOLT; BAILEY, 2008; DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; SANTOS; PAMPLONA, 2002; COOPER, EDGETT e KLEINSCHMIDT, 1997A; Cooper, 1990).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ O time de soluções utiliza o design thinking;</li> <li>✓ A empresa utiliza ferramentas de gestão estratégica e tomada de decisão: BSC e o A3</li> <li>✓ A seleção das ideias é baseada em critérios financeiros como ROI, VPL, Payback;</li> <li>✓ O poder de convencimento do gestor se sobrepõe as ferramentas da empresa;</li> <li>✓ Não há padronização de ferramentas para às áreas;</li> <li>✓ A empresa não tem ferramentas para analisar o balanceamento do portfólio;</li> </ul>
<p>Balanceamento do Portfólio</p>	<p>O portfólio de projetos tem como objetivo traduzir a estratégia da organização em projetos específicos. O gerenciamento do portfólio busca a combinação adequada entre os índices de inovações incrementais e radicais. A gestão eficaz do portfólio de projetos produz equilíbrio na carteira de projetos da empresa e maior proporção entre projetos de alto valor, além de melhor equilíbrio entre projetos e recursos. O balanceamento do portfólio é uma distribuição equilibrada entre projetos de inovação e projetos tradicionais que busca encontrar o equilíbrio entre fortalecer a posição estratégica atual e explorar estratégias futuras. Os diagramas visuais são as ferramentas preferidas para exibir o equilíbrio nas carteiras de projetos. Estas ferramentas incluem diagramas de bolhas, matriz BCG, gráficos e histogramas tradicionais e os baldes estratégicos. (DE OLIVEIRA FILHO; SILVEIRA; ANA, 2014; COOPER; SOMMER, 2020; Filipov; Mooi, 2010; HUVAJ; JOHNSON, 2018; BORJY et al., 2019; TERWIESCH; ULRICH, 2008; COOPER, EDGETT E KLEINSCHMIDT, 1997A).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A empresa não tem balanceamento de portfólio;</li> <li>✓ A empresa divide os projetos em estratégicos e de alto investimento, projetos de legislação e normas técnicas e projetos táticos/operacionais;</li> <li>✓ A empresa contabiliza e classifica os projetos, mas não usa as informações para balancear o portfólio;</li> <li>✓ A empresa não determina teto máximo para gasto em projetos.</li> </ul>
<p>Desafios Enfrentados pelos Projetos de Tecnologias Habilitadoras Indústria 4.0</p>	<p>Os projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 enfrentam desafios financeiros oriundos da dificuldade de quantificar estes projetos. Desafios tecnológicos, pois é necessário implementar um sistema flexível e adaptável e desafios relacionados às competências dos colaboradores, uma vez que, não se reconhece ainda quais as todas as competências necessárias para atuar neste novo contexto. (DE ARAÚJO SILVEIRA; SBRAGIA; KRUGLIANSKAS, 2013; K. ZHOU; LIU, T. ZHOU, 2015; GHOBAKHLOO, 2018; VERMULM et al., 2018; ).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desafios Financeiros;</li> <li>✓ Desafios Tecnológicos;</li> <li>✓ Alteração de competências dos colaboradores;</li> <li>✓ Dificuldade em definir indústria 4.0 e criar roadmap para estes projetos;</li> <li>✓ Cultura Organizacional;</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

## 5 CONCLUSÃO

A gestão de portfólio de projetos é essencial para garantir a competitividade da empresa no longo prazo. Ter um portfólio equilibrado entre inovações incrementais e radicais garante melhor desempenho para as organizações. A indústria 4.0 é uma das formas de impulsionar a inovação. Visando contribuir com esse contexto de gestão de portfólio, este trabalho teve como objetivo identificar como é gerenciado o portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 nas empresas de manufatura de grande porte. Tomando como base a literatura sobre gestão de portfólio, partiu-se para uma investigação sobre portfólios de projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Primeiramente foi realizado um levantamento da literatura, para verificar quais são os métodos e ferramentas sugeridos para conduzir os portfólios de projetos com estas características. Posteriormente foi conduzido um estudo de caso, em uma organização com uma jornada de digitalização consolidada e, finalmente, os achados empíricos foram comparados e discutidos com a literatura para identificar as lacunas existentes.

A indústria 4.0 pode ser entendida como uma jornada digital. Então a escolha dos projetos certos garante o sucesso do processo da implementação das tecnologias habilitadoras rumo à indústria 4.0, pois se houver falhas no meio do percurso a jornada pode ser interrompida ou não trazer os resultados esperados. Apesar disso, foi constatado que estes projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 estão sendo conduzidos como os demais projetos do portfólio. Parece não haver diferenciação na gestão destes projetos, que tem caráter inovador e disruptivo, em relação aos projetos tradicionais das empresas.

No caso estudado, os resultados sugerem que não há balanceamento de portfólio de projetos na empresa. Como retrata a literatura, o balanceamento do portfólio tem como objetivo encontrar o equilíbrio entre fortalecer a posição estratégica atual da empresa e explorar as oportunidades futuras. A empresa deveria identificar as categorias de projetos que está desenvolvendo e verificar como eles atendem à estratégia organizacional. As ferramentas gráficas são sugeridas pela literatura para distribuir os projetos em categorias específicas e analisar o balanceamento do portfólio. Como os projetos competem entre si pelos mesmos recursos, ter um portfólio de projetos equilibrado entre inovações radicais e incrementais garante a competitividade da empresa no curto, médio e longo prazo.

A empresa estudada utiliza predominantemente ferramentas financeiras para a seleção de todos os projetos, independentemente de suas características. Essa prática é usualmente realizada pelas organizações como mostram trabalhos de Castro e Carvalho (2010) e Silva (2016) que abordaram a gestão de portfólio de projetos. Por mais que a literatura sugira utilizar ferramentas de acordo com o grau de inovação dos projetos, as empresas tendem a utilizar métodos financeiros para o gerenciamento de portfólios. Essa abordagem faz com que projetos de inovação, como os de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, sejam penalizados em detrimento de projetos mais tradicionais os quais permitem cálculos mais precisos. O resultado disso são portfólios desbalanceados, carregado de projetos com inovações de baixo impacto e curto prazo.

Como descrito na literatura, a indústria 4.0 ainda é um conceito em construção e a introdução das tecnologias habilitadoras possui barreiras a serem quebradas. A empresa estudada reconhece que falta um consenso do que é a indústria 4.0 e que essa falta de consenso é um desafio para os projetos orientados para atender essa diretriz estratégica. Além da falta de consenso, existem as barreiras que dificultam o desenvolvimento destes projetos. A literatura aponta como desafios mais significativos os aspectos econômicos, tecnológicos e humanos. O estudo prático corrobora estes achados e acrescenta a cultura organizacional como um desafio adicional para os projetos de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

Entre as principais limitações deste estudo está o recorte da pesquisa, que considerou apenas empresas de manufatura de grande porte, o que pode trazer vieses para os resultados encontrados. Todavia, o tema indústria 4.0 é ainda recente e pouco inserido nas empresas brasileiras, o que dificulta ampliar o estudo de caso para outros contextos. A realização de estudos adicionais, em outros tipos de empresa, considerando áreas de atuação e porte da empresa, podem contribuir para um entendimento melhor de como os portfólios de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 vem sendo conduzidos nas empresas e assim criar uma visão mais abrangente sobre o tema. O estudo limitou-se também apenas a área de manufatura, não foram analisadas outras áreas da empresa como marketing, RH, finanças, desenvolvimento de produto, que podem apresentar resultados diferentes. Adicionalmente, o número de casos também é uma restrição da pesquisa. A disponibilidade de empresas para participarem do estudo também foi restrita. Deste

modo, um estudo posterior, com um número de casos maiores neste segmento, teria contribuições significativas para este problema de pesquisa.

Por fim, fica evidenciado nesta pesquisa a existência de uma lacuna entre as sugestões da literatura e as ações práticas adotadas no gerenciamento de portfólio de projetos da indústria 4.0. Percebe-se, portanto, a necessidade de avançar nas pesquisas desta área. A primeira linha de pesquisa poderia analisar quais as abordagens mais indicadas para estruturar o processo de gestão de portfólio de projetos das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, considerando todas as etapas desde a geração de ideias até a avaliação dos resultados. Outra sugestão de pesquisa é avaliar qual o modelo organizacional é mais favorável ao desenvolvimento de projetos da indústria 4.0, evidenciando claramente os aspectos organizacionais mais influenciadores no desenvolvimento destes projetos.

## REFERÊNCIAS

- ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of innovation management**, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2015. Disponível em: [https://journalsojs3.fe.up.pt/index.php/jim/article/view/2183-0606\\_003.004\\_0003/206](https://journalsojs3.fe.up.pt/index.php/jim/article/view/2183-0606_003.004_0003/206). Acesso em: 10 set 2019.
- AMBROSE, Gavin; HARRIS, Paul. **Design thinking: sm ação ou prática de pensar o design**. Tradução Mariana Belloli. 2011.
- ARCHER, Norm P.; GHASEMZADEH, Fereidoun. An integrated framework for project portfolio selection. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 4, p. 207-216, 1999. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786398000325?casa\\_token=bd1XaNQbumsAAAAA:RHA1OWOvXFezvtAWVZn43oYW7kXj4VaS9N9sfbZjGQRn\\_KD87BeyceaAYiCAXHpX28WwxKH8dNiO](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786398000325?casa_token=bd1XaNQbumsAAAAA:RHA1OWOvXFezvtAWVZn43oYW7kXj4VaS9N9sfbZjGQRn_KD87BeyceaAYiCAXHpX28WwxKH8dNiO). Acesso em :20 nov 2020.
- AZEVEDO, Debora et al. Um estudo de simulação computacional para a análise de perfis de aprendizagem organizacional. **Production**, v. 20, n. 4, p. 0-0, 2010.
- BAGNO, Raoni Barros; SALERNO, Mario Sergio; DIAS, Ana Valeria Carneiro. Innovation as a new organizational function: evidence and characterization from large industrial companies in Brazil. **Production**, v. 27, 2017. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132017000100304&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132017000100304&script=sci_arttext). Acesso em 12 dez 2020.
- BAHETI, Radhakisan; GILL, Helen. Cyber-physical systems. **The impact of control technology**, v. 12, n. 1, p. 161-166, 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Cyber-physical-Systems-BahetiGill/259b2a045e6d9409804027502f89801e2e670a70>. Acesso em: 13 set 2019.
- BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul *et al.* Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/304614356\\_Industry\\_40\\_A\\_review\\_on\\_industrial\\_automation\\_and\\_robotic](https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic). Acesso em 20 set 2019.
- BARNES, David. Research methods for the empirical investigation of the process of formation of operations strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, 2001. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/EUM0000000005586/full/html>. Acesso em 5 set 2020.
- BASSO, Leonardo Fernando Cruz. **Modelos de tomada de decisão para inovação em empresas**. SciELO-Editora Mackenzie, 2011.
- BENIAS, Nikos; MARKOPOULOS, Angelos P. A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0. In: **2017 South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)**. IEEE, 2017. p. 1-5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8088234>. Acesso em 23 ago 2019.

BIBAUD-ALVES, Julie et al. Toward a sustainable new product development approach based on industry 4.0 assets. In: **International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing**. Springer, Cham, 2018. p. 156-167. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03003-2\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03003-2_12). Acesso em 15 set 2020.

BORJY, Ahmad et al. A hybrid of Delphi, AHP and TOPSIS Methods for project portfolio management. **Journal of Project Management**, v. 4, n. 2, p. 141-156, 2019. Disponível em: <http://growingscience.com/beta/jpm/3082-a-hybrid-of-delphi-ahp-and-topsis-methods-for-project-portfolio-management.html>. Acesso em 02 out 2020.

BOTCHKAREV, Alexei; ANDRU, Peter; CHIONG, Raymond. A Return on Investment as a Metric for Evaluating Information Systems: Taxonomy and Application. **Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge & Management**, v. 6, 2011. Disponível em: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31798354/ROI.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInterdisciplinary\\_Journal\\_of\\_Information.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191209%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20191209T193358Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=ost&X-Amz-Signature=b46261c2323aa8a892f9c03f252d5a5e534810bf185284ced0009a7979d0cd8f](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31798354/ROI.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DInterdisciplinary_Journal_of_Information.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191209%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191209T193358Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=ost&X-Amz-Signature=b46261c2323aa8a892f9c03f252d5a5e534810bf185284ced0009a7979d0cd8f). Acesso em 23 ago 2019.

BOTTA, Alessio *et al.* Integration of cloud computing and internet of things: a survey. **Future generation computer systems**, v. 56, p. 684-700, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X15003015>. Acesso em 30 jun 2019.

BRASIL, Vinicius Chagas; SALERNO, Mario Sergio; DE VASCONCELOS GOMES, Leonardo Augusto. Valuation of innovation projects with high uncertainty: Reasons behind the search for real options. **Journal of engineering and technology management**, v. 49, p. 109-122, 2018. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092347481830064X?casa\\_token=S2BoHx3M7tMAAAAA:mCj7hU2HipWLz6ZxsocLX4LUxTSA46wzzmeN2N\\_pyE6TmHCg81CuViFBbK68qUBKrcxvGYSJs9mi](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092347481830064X?casa_token=S2BoHx3M7tMAAAAA:mCj7hU2HipWLz6ZxsocLX4LUxTSA46wzzmeN2N_pyE6TmHCg81CuViFBbK68qUBKrcxvGYSJs9mi). Acesso em: 05 jan 2021.

BUDDHAN, Andhan Rahul *et al.* Even Driven Multimodal Augmented Reality based Command and Control Systems for Mining Industry. **Procedia Computer Science**, v. 151, p. 965-970, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091930599X>. Acesso em 20 out 2019.

CARVALHO, Marly Monteiro de; RABECHINI, J. R. Roque. **Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos**, v. 3, 2011.

CASTRO, Henrique Gonçalves de; CARVALHO, Marly Monteiro de. Gerenciamento do portfólio de projetos: um estudo exploratório. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 283-296, 2010. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2010000200006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2010000200006&script=sci_arttext). Acesso em 28 dez 2020.

CAUCHICK, Paulo *et al.* **Metodologia científica para engenharia**. Elsevier Brasil, 2019. Livro online.

CHAPARRO, Ximena Alejandra Flechas; DE VASCONCELOS GOMES, Leonardo Augusto; DE SOUZA NASCIMENTO, Paulo Tromboni. The evolution of project portfolio selection methods: from incremental to radical innovation. **Revista de Gestão**, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/REGE-10-2018-0096/full/html>. Acesso em 17 set 2020.

CHEN, Min; MAO, Shiwen; LIU, Yunhao. Big data: A survey. **Mobile networks and applications**, v. 19, n. 2, p. 171-209, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11036-013-0489-0>. Acesso em 08 nov 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Inovação na Indústria: pesquisa com líderes empresariais** Brasília, 2020. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/portaldaindustria/noticias/media/filer\\_public/9d/bd/9dbd616e-4311-409f-9e9c-5e25dfe9a8a6/inovacao\\_na\\_industria\\_-\\_pesquisa\\_com\\_lideres\\_empresariais.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/portaldaindustria/noticias/media/filer_public/9d/bd/9dbd616e-4311-409f-9e9c-5e25dfe9a8a6/inovacao_na_industria_-_pesquisa_com_lideres_empresariais.pdf). Acesso em 10 nov 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Investimentos em Indústria 4.0**. Brasília, 2018. Disponível em: [https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer\\_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos\\_em\\_industria\\_40\\_junho2018.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf). Acesso em 10 maio 2019.

COOPER, Robert G. Stage-gate systems: a new tool for managing new products. **Business horizons**, v. 33, n. 3, p. 44-54, 1990. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.1777&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 12 ago 2020.

COOPER, Robert G.; EDGETT, Scott J.; KLEINSCHMIDT, Elko J. New product portfolio management: practices and performance. **Journal of Product Innovation Management: AN INTERNATIONAL PUBLICATION OF THE PRODUCT DEVELOPMENT & MANAGEMENT ASSOCIATION**, v. 16, n. 4, p. 333-351, 1999. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-5885.1640333?casa\\_token=mqoXOzlwbHoAAAAA:dKbBp-WnaT4QP6ShhxkFFNBsSw9vNgDC4VaMzTJA8EI94vpZaLbt77Alqyn8RDYtrti9NZPAb2GPnNB7yw](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-5885.1640333?casa_token=mqoXOzlwbHoAAAAA:dKbBp-WnaT4QP6ShhxkFFNBsSw9vNgDC4VaMzTJA8EI94vpZaLbt77Alqyn8RDYtrti9NZPAb2GPnNB7yw). Acesso em 16 ag 2020.

COOPER, Robert G.; EDGETT, Scott J.; KLEINSCHMIDT, Elko J. New problems, new solutions: making portfolio management more effective. **Research-Technology Management**, v. 43, n. 2, p. 18-33, 2000. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.2000.11671338>. Acesso em 16 out 2020.

COOPER, Robert G.; EDGETT, Scott J.; KLEINSCHMIDT, Elko J. Portfolio Management. **Pegasus, New York**, 2001. Disponível em: <http://clauderochet.assoc.pagespro-orange.fr/cours/p13/Portfolio.pdf>. Acesso em 12 out 2020.

COOPER, Robert G.; EDGETT, Scott J.; KLEINSCHMIDT, Elko J. Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—I. **Research-Technology Management**, v. 40, n. 5, p. 16-28, 1997. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.1997.11671152>. Acesso em: 12 nov 2020.

COOPER, Robert G.; EDGETT, Scott J.; KLEINSCHMIDT, Elko J. Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—II. **Research-Technology Management**, v. 40, n. 6, p. 43-52, 1997. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.1997.11671170>. Acesso em 12 nov 2020.

COOPER, Robert G.; SOMMER, Anita Friis. New-Product Portfolio Management with Agile: Challenges and Solutions for Manufacturers Using Agile Development Methods. **Research-Technology Management**, v. 63, n. 1, p. 29-38, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.2020.1686291>. Acesso em: 24 nov 2020.

DANESHJO, Naqib *et al.* Modelling Technical and Economic Parameters in Selection of Manufacturing Devices. **TEM Journal**, v. 6, n. 4, p. 738, 2017. Disponível em: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=588998>. Acesso em: 10 out 2019.

DE ARAÚJO SILVEIRA, Gutenberg; SBRAGIA, Roberto; KRUGLIANSKAS, Isak. Fatores condicionantes do nível de maturidade em gerenciamento de projetos: um estudo empírico em empresas brasileiras. **Revista de Administração**, v. 48, n. 3, p. 574-591, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0080210716302941>. Acesso em 08 dez 2019.

DE OLIVEIRA FILHO, Nestor; SILVEIRA, Franciane Freitas; ANA, Paula Sanches Sant. O Processo de Tomada de Decisão para a Seleção de Projetos em uma PME do Setor de Engenharia. **Revista de Gestão e Projetos-GeP**, v. 5, n. 3, p. 88-104, 2014. Disponível em: <http://revistagep.org/ojs/index.php/gep/article/view/285>. Acesso em 15 jan 2020.

DEMIRCAN KESKIN, Fatma. A two-stage fuzzy approach for Industry 4.0 project portfolio selection within criteria and project interdependencies context. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 27, n. 1-2, p. 65-83, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mcda.1691>. Acesso em 10 out 2020.

DIAZ, Rafael *et al.* Shipbuilding Supply Chain Framework and Digital Transformation: A Project Portfolios Risk Evaluation. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 173-180, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340456108\\_Shipbuilding\\_Supply\\_Chain\\_Framework\\_and\\_Digital\\_Transformation\\_A\\_Project\\_Portfolios\\_Risk\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/340456108_Shipbuilding_Supply_Chain_Framework_and_Digital_Transformation_A_Project_Portfolios_Risk_Evaluation). Acesso em 12 out 2020.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

ECHTERFELD, Julian; GAUSMEIER, Jürgen. Digitising product portfolios. **International Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 05, p. 1840003, 2018. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S1363919618400030>. Acesso em: 12 dez 2020.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989. disponível em: <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/AMR.1989.4308385>. Acesso em 10 nov 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL – EMPRAPII. **Embrapii contará com r\$ 8 milhões para investir em IoT e manufatura 4.0**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://embrapii.org.br/embrapii-contara-com-r-8-milhoes-para-investir-em-iot-e-manufatura-4-0/>. Acesso em 03 dez 2019.

ERBAY, Hasan; YILDIRIM, Nihan. Technology Selection for Digital Transformation: A Mixed Decision Making Model of AHP and QFD. In: **The International Symposium for Production Research**. Springer, Cham, 2018. p. 480-493. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92267-6\\_41](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92267-6_41). Acesso em 20 out 2019.

ERDOGAN, Melike et al. Selecting the best strategy for industry 4.0 applications with a case study. In: **Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era**. Springer, Cham, 2018. p. 109-119. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-71225-3\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-71225-3_10). Acesso em 04 nov 2019.

FALLER, Clemens; FELDMÜLLER, Dorothee. Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. **Procedia Cirp**, v. 32, p. 88-91, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115001997>. Acesso em: 10 nov 2019.

FELICE, Fabio; PETRILLO, Antonella; ZOMPARELLI, Frederico. A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1643-1648, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318313429>. Acesso em 20 set 2019.

FERREIRA, Manuel Portugal; LI, Dan; SERRA, Fernando A. Ribeiro. **Transferência internacional de conhecimento na multinacional: quando o jogo competitivo multimercado se sobrepõe aos mecanismos internos de coordenação**. RAE eletrônica, v. 9, n. 1, p. 0-0, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-56482010000100002>, Acesso em: 11 jan 2021.

FILIPOV, S.; MOOI, H. Innovation Project Management. **Journal on Innovation and Sustainability**, v. 1, n. 1, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277789740\\_Innovation\\_Project\\_Management\\_A\\_Research\\_Agenda](https://www.researchgate.net/publication/277789740_Innovation_Project_Management_A_Research_Agenda). Acesso em 30 nov 2019.

FRAZIER, William E. Metal additive manufacturing: a review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, 2014.

FREITAS, Pedro Henrique Chagas. Estrutura de dados para IA I. In: **Inteligência artificial**. Porto Alegre: SAGAH, 2019, p. 79 – 89. Livro online.

GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-02-2018-0057/full/html>. Acesso em 18 ago 2019.

GIDEL, Thierry; BUET, Gael; MILLET, Dominique. Synchronization of Innovation and Vehicle Projects: Proposal of a Management Tool at Renault SAS. **Project Management Journal**, v. 45, n. 3, p. 57-73, 2014. Disponível em: [https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1002/pmj.21429?casa\\_token=0mOU4mMt\\_RoAAAAA:MyKcnkXt1-z1DxE4dLnmOGy7Yy\\_sG6qLtopX7Xr5voqGrOgOda\\_cOgPz9HnRuqXz0x5Q7-eUjokpKsY](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1002/pmj.21429?casa_token=0mOU4mMt_RoAAAAA:MyKcnkXt1-z1DxE4dLnmOGy7Yy_sG6qLtopX7Xr5voqGrOgOda_cOgPz9HnRuqXz0x5Q7-eUjokpKsY). Acesso em: 12 nov 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Atlas metodologia do ensino superior**. São Paulo: Atlas, 2010.

GOIENETXEA URIARTE, Ainhoa; NG, Amos HC; URENDA MORIS, Matías. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. In: **Procedia Manufacturing**. 2018. p. 586-593. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1233108&dsid=1696>. Acesso em 21 set 2019.

GRANSTRAND, Ove; HOLGERSSON, Marcus. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. **Technovation**, v. 90, p. 102098, 2020. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497218303870>. Acesso em 10 nov 2020.

HALL, Ernest L. Intelligent robot trends and predictions for the net future. In: **Intelligent Robots and Computer Vision XX: Algorithms, Techniques, and Active Vision**. International Society for Optics and Photonics, 2001. p. 70-80. Disponível em: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/4572/0000/Intelligent-robot-trends-and-predictions-for-the-net-future/10.1117/12.444228.short?SSO=1>. Acesso em: 09 out 2019.

HAMZEH, Reza *et al.* A Technology Selection Framework for Manufacturing Companies in the Context of Industry 4.0. In: **2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA)**. IEEE, 2018. p. 267-276. Disponível: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8490606>. Acesso em 08 nov 2019.

HANSEN, Morten T.; BIRKINSHAW, Julian. The innovation value chain. **Harvard business review**, v. 85, n. 6, p. 121, 2007. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58832667/Aula04\\_-\\_Hansen.Birkinshaw.2007\\_-\\_The\\_innovation\\_value\\_chain.pdf?1554772048=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe\\_Innovation\\_Value\\_Chain.pdf&Expires=1613678231&Signature=P8XX6U~9W7QJWgN2vzbvfrHxhVImw7LS-R0fZT~XdL9IAxsi9ITxJWQYQUgwILXL0QaYOYzDhX5cil4cz3xdq~TRSFpqwwGJfK](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58832667/Aula04_-_Hansen.Birkinshaw.2007_-_The_innovation_value_chain.pdf?1554772048=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe_Innovation_Value_Chain.pdf&Expires=1613678231&Signature=P8XX6U~9W7QJWgN2vzbvfrHxhVImw7LS-R0fZT~XdL9IAxsi9ITxJWQYQUgwILXL0QaYOYzDhX5cil4cz3xdq~TRSFpqwwGJfK)

KhOBey~ko96ONShtWziW-r43hglG-  
YeR546YZHI6CietGg0hKHDzxcu7RretlK3PJKeDEzzJTJe4w3OP3OAQhtSy642Ryb8  
2O~78BcnNhntsxEfilZtbJXImQ5OfwdJHbjrXsno5pyuQ4hB28p9a6-  
cz9iDi1fqRFqoH5nPST8myrtOm4Of~MP9Seq-  
m2Wf5DPRji103ugraBOFdya7gHUiOQ-lc8ajLRlclLSOrweFw2tCw2~8w\_\_&Key-Pair-  
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 02 nov 2020.

HASHEM, Ibrahim Abaker Targio et al. The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. **Information systems**, v. 47, p. 98-115, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306437914001288>. Acesso em 10 jan 2020.

HERRERO FILHO, Emílio. **Balanced Scorecard e a gestão estratégica: uma abordagem prática**. Alta Books Editora, 2019.

HÖLZLE, Katharina; RHINOW, Holger. The dilemmas of design thinking in innovation projects. **Project Management Journal**, v. 50, n. 4, p. 418-430, 2019. Disponível em: [https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/8756972819853129?casa\\_token=nuZ3cwsfZwAAAAA%3A30N-BI0JmpcjuYnpPmv6jnwOPwLC-wv7NWsID1qersRRXOdaAxfJVZc5-VfgvIEVg7MtwJomtZ5uTA](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/8756972819853129?casa_token=nuZ3cwsfZwAAAAA%3A30N-BI0JmpcjuYnpPmv6jnwOPwLC-wv7NWsID1qersRRXOdaAxfJVZc5-VfgvIEVg7MtwJomtZ5uTA). Acesso em 12 dez 2020.

HUANG, Samuel H. et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 1191-1203, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-012-4558-5>. Acesso em 15 dez 2019.

HUVAJ, M. Nesij; JOHNSON, William C. Organizational complexity and innovation portfolio decisions: Evidence from a quasi-natural experiment. **Journal of Business Research**, v. 98, p. 153-165, 2019. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296318306660?casa\\_token=cuuhsTNmiKQAAAAA:Ft13ZIRoOdqsFagdOBh4JkFegQh6xtWMLcztlT98xGZOsqovSM7-exBzIV3\\_JLhZCPsqPMelOEYL](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296318306660?casa_token=cuuhsTNmiKQAAAAA:Ft13ZIRoOdqsFagdOBh4JkFegQh6xtWMLcztlT98xGZOsqovSM7-exBzIV3_JLhZCPsqPMelOEYL). Acesso em 16 nov 2020.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – IEDI. plano de políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil, 2017. Disponível em: [https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710\\_politicas\\_para\\_o\\_desenvolvimento\\_da\\_industria\\_4\\_0\\_no\\_brasil.pdf](https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf). Acesso em 10 setembro 2019.

JORDAN, Michael I.; MITCHELL, Tom M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. **Science**, v. 349, n. 6245, p. 255-260, 2015. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/349/6245/255>. Acesso em: 10 nov 2019.

KESKIN, Fatma Demircan *et al.* An Assessment Model for Organizational Adoption of Industry 4.0 Based on Multi-criteria Decision Techniques. In: **The International Symposium for Production Research**. Springer, Cham, 2018. p. 85-100. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92267-6\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92267-6_7). Acesso em 18 nov 2019.

KIPPER, Liane Mahlmann *et al.* Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. In: **International Journal of Production**

**Research**, p. 1-23, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2019.1671625>. Acesso em 01 dez 2019.

KLINGENBERG, Cristina Orsolin; BORGES, Marco Antônio Viana; ANTUNES JR, José Antônio Valle. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-09-2018-0325/full/html>. Acesso em 08 set 2019.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em 10 nov 2019.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 3, p. 18-23, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221384631400025X>. Acesso em 04 nov 2019.

LIAGKOU, Vasiliki; SALMAS, Dimitrios; STYLIOS, Chrysostomos. Realizing Virtual Reality Learning Environment for Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 79, p. 712-717, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119301398>. Acesso em 07 ago 2019.

LOCH, Christoph H.; SOLT, Michael E.; BAILEY, Elaine M. Diagnosing unforeseeable uncertainty in a new venture. **Journal of product innovation management**, v. 25, n. 1, p. 28-46, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1540-5885.2007.00281.x>. Acesso em 24 nov 2019.

MAHMOUD-JOUINI, Sihem Ben; MIDLER, Christophe; SILBERZAHN, Philippe. Contributions of design thinking to project management in an innovation context. **Project Management Journal**, v. 47, n. 2, p. 144-156, 2016. Disponível: [https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1002/pmj.21577?casa\\_token=cppQSaJp06cAAAAA:dpMD1cZxZ6cmSsROLRjIW1JIHc0IplGjNdZiAgSK86abviWyCnEiTTOvzdMm3R0YNLH9qkkwibBLsQ](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1002/pmj.21577?casa_token=cppQSaJp06cAAAAA:dpMD1cZxZ6cmSsROLRjIW1JIHc0IplGjNdZiAgSK86abviWyCnEiTTOvzdMm3R0YNLH9qkkwibBLsQ). Acesso em 12 nov 2020.

MARQUES, Maria et al. Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 3, p. 299-313, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316623249\\_Decentralized\\_decision\\_support\\_for\\_intelligent\\_manufacturing\\_in\\_Industry\\_40](https://www.researchgate.net/publication/316623249_Decentralized_decision_support_for_intelligent_manufacturing_in_Industry_40). Acesso em 10 abr 2019.

MARTINSUO, Miia. Project portfolio management in practice and in context. **International journal of project management**, v. 31, n. 6, p. 794-803, 2013. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026378631200155X?casa\\_token=eyZHIQLVqi4AAAAA:EUOAIT0HEznU74mnUZcDJ5k8CLPdBkL6HmJdGcnt7wEp7xY2kxKCCyjhqvFFeVFcjzPrkso7ualu](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026378631200155X?casa_token=eyZHIQLVqi4AAAAA:EUOAIT0HEznU74mnUZcDJ5k8CLPdBkL6HmJdGcnt7wEp7xY2kxKCCyjhqvFFeVFcjzPrkso7ualu). Acesso em 21 nov 2020.

MASOOD, Tariq; EGGER, Johannes. Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. **Robotics and Computer-**

**Integrated Manufacturing**, v. 58, p. 181-195, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584518304101>. Acesso em 13 nov 2019.

MASS, Bruno. Cinco exemplos práticos que provam que já vivemos no mundo do Big Data. **Computer World**, 2016. Disponível em: <https://computerworld.com.br/2016/09/26/cinco-exemplos-praticos-que-provam-que-ja-vivemos-no-mundo-do-big-data/>. Acesso em 01 abr 2020.

MATHEWS, Scott. Innovation portfolio architecture. **Research-Technology Management**, v. 53, n. 6, p. 30-40, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.2010.11657660>. Acesso em: 01 out 2020.

MORANDI, Maria Isabel Wolf da Motta; CAMARGO, Luis Felipe Riehs. Revisão sistemática da literatura. In: **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, p. 141-75, 2015. Livro online.

MOZZATO, Anelise Rebelato; GRZYBOVSKI, Denize. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rac/v15n4/a10v15n4.pdf>. Acesso em 05 jan. 2020.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering applications of artificial intelligence**, v. 78, p. 218-235, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197618302458>. Acesso em 09 jul 2019.

MÜLLER, Julian Marius; KIEL, Daniel; VOIGT, Kai-Ingo. What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 247, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/247>. Acesso 10 maio 2019.

OLIVEIRA, Maicon Gouvêa de et al. Decision making at the front end of innovation: The hidden influence of knowledge and decision criteria. **R&D Management**, v. 45, n. 2, p. 161-180, 2015. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/radm.12058?casa\\_token=yYJFL8Zn2bKAAAAA%3AHc56h5pXLA5Dx3xItyIbkZxIG7VDf5P-aQ35P-bOhDAIpSGSPab2XKJZSb8Y2RaOhFw1mofchKeMf29eVA](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/radm.12058?casa_token=yYJFL8Zn2bKAAAAA%3AHc56h5pXLA5Dx3xItyIbkZxIG7VDf5P-aQ35P-bOhDAIpSGSPab2XKJZSb8Y2RaOhFw1mofchKeMf29eVA). Acesso em 9 nov 2020.

OVERSLUIZEN, Gerlinde; SLOMP, Jannes. Use of A3-method by engineering students in industry projects. **Production Planning & Control**, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2020.1742372>. Acesso em 15 nov 2020.

PADUAM, Taisa Cordeiro; FABRI, José Augusto; L'ERARIO, Alexandre. Model to return on investment after the software deployment. In: **2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. IEEE, 2015. p. 1-

5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7170563/>. Acesso em 02 nov 2019.

PAULSON, Albert S.; O'CONNOR, Gina Colarelli; ROBESON, Daniel. Evaluating radical innovation portfolios. **Research-Technology Management**, v. 50, n. 5, p. 17-29, 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.2007.11657458>. Acesso em 16 set 2020.

RIBEIRO, Jeferson Lima. **Fatores facilitadores da capacidade de inovação em subsidiária de empresa multinacional com diferentes unidades de negócios**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2020.

RÖTH, Tobias; SPIETH, Patrick; LANGE, Donald. Managerial Political Behavior in Innovation Portfolio Management: A Sensegiving and Sensebreaking Process. **Journal of Product Innovation Management**, v. 36, n. 5, p. 534-559, 2019.

RUSSO, Rosaria de Fatima Segger Macri; SBRAGIA, Roberto. Uncertainty in innovative projects unpredictable: creating direction with project management/Incerteza imprevisível em projetos inovadores: criando sentido com a gestão de projetos. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 5, n. 2, p. 24-40, 2014. Disponível em: <https://go.galegroup.com/ps/anonymouse?id=GALE%7CA417895712&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=22360972&p=AONE&sw=w>. Acesso em 10 nov 2019.

SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SALEHI, Hadi; BURGUENO, Rigoberto. Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. **Engineering structures**, v. 171, p. 170-189, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029617335526>. Acesso em 08 jan 2020.

SALERNO, Mario Sergio et al. Innovation processes: Which process for which project?. **Technovation**, v. 35, p. 59-70, 2015. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497214001072?casa\\_token=6v9u-3yp8wkAAAAA:EDX4Bf0tyHzPcdsyu6dTsliaBHi4FvFqaTiAGscxL5bL LLNI5GJcTegLZbTQ9AWfwh7xMHZz5MG](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497214001072?casa_token=6v9u-3yp8wkAAAAA:EDX4Bf0tyHzPcdsyu6dTsliaBHi4FvFqaTiAGscxL5bL LLNI5GJcTegLZbTQ9AWfwh7xMHZz5MG). Acesso em 21 set 2020.

SALERNO, Mario Sérgio. Políticas de inovação no Brasil: desafios de formulação, financiamento e implantação. *In*: COUTINHO, Diogo Rosenthal; FOSS, Maria Carolina; MOUALLEM, Pedro Salomon B. (org.). **Inovação no Brasil: avanços e desafios jurídicos e institucionais**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 79 - 94.

SALERNO, Mario Sergio; GOMES, Leonardo Augusto de Vasconcelos. **Gestão da Inovação Radical**. São Paulo. Elsevier, 2018.

SANDERS, Adam, CHOLA Elangeswaran, and JENS P. Wulfsberg. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**

(JIEM) 9, no. 3 (2016): 811-833. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/188791>. Acesso em 08 nov 2019.

SANTOS, Elieber Mateus dos; PAMPLONA, Edson de Oliveira. Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento. In: II Encontro Brasileiro de Finanças. 2008. SANTOS, José Antônio dos. Processo decisório. In: **A prática da tomada de decisão**. São Paulo: Atlas, 2009.

SCHNEIDER, Paul. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. **Review of Managerial Science**, v. 12, n. 3, p. 803-848, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11846-018-0283-2>. Acesso em 20 out 2019.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – **Sebrae**. **Definição de Porte de Estabelecimentos Segundo o Número de Empregados**. Brasília, 2013. Disponível em: [https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/MPE\\_conceito\\_empregados.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/MPE_conceito_empregados.pdf). Acesso em 12 set 2020.

SEVINÇ, Ali, ŞEYDA GÜR, and TAMER Eren. Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process. **Processes** 6, no. 12 (2018): 264. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/6/12/264>. Acesso em 09 nov 2019.

SHARMA, Akanksha; GUPTA, Sonia; SHARMA, Aanchal. IoT in Mining: A Review. **International Journal of Electronics, Electrical and Computational System**, v. 6, n. 2, p. 84-91, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/de55/2748b042d98e780d26d8314cfd5b468ab507.pdf>. Acesso em 07 ago 2019.

SHENHAR, Aaron J.; DVIR, Dov. **Reinventando gerenciamento de projetos: a abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos**. São Paulo. M. Books, 2010.

SILVA, Débora Oliveira da. **Gestão de portfólio de projetos de inovação: análise das práticas adotadas por empresas industriais de grande porte**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2016.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, UFSC. 2005.

SIN OIH YU, Abraham. **Tomada de decisão nas organizações**. São Paulo, Saraiva, 2011.

SINGH, Jai Prakash. Development trends in the sensor technology: A new BCG matrix analysis as a potential tool of technology selection for a sensor suite. **IEEE Sensors Journal**, v. 4, n. 5, p. 664-669, 2004. Disponível em: [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1331374/?casa\\_token=Yes6CQuX8hQAAAA:CK5R\\_2eH1RTTKNeQKmD\\_yN4zaKFV869LHIGoMlr2Yxgj\\_f4tljGzNrP0Puew8CuF6PQNsrnosM9-](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1331374/?casa_token=Yes6CQuX8hQAAAA:CK5R_2eH1RTTKNeQKmD_yN4zaKFV869LHIGoMlr2Yxgj_f4tljGzNrP0Puew8CuF6PQNsrnosM9-). Acesso em 5 nov 2020.

TERWIESCH, Christian; ULRICH, Karl. Managing the opportunity portfolio. **Research-Technology Management**, v. 51, n. 5, p. 27-38, 2008.

Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08956308.2008.11657523>. Acesso em 8 nov 2020.

THOMASSEN, Maria Kollberg, BØRGE Sjøbakk, and ERLEND Alfnes. A strategic approach for automation technology initiatives selection. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, pp. 288-295.

Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44733-8\\_36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44733-8_36). Acesso em 09 nov 2019.

THORNHILL, Adrian; SAUNDERS, Mark; LEWIS, Philip. Research methods for business students. **Essex: Pearson Education Ltd**, 2009.

TORTORELLA, Guilherme Luz; ESCOBAR, Laurence; RODRIGUES, Cláudia.

Organizational climate research: a proposed approach focused on banking institutions. **Business Process Management Journal**, 2015.

TÜRKEŞ, Mirela Cătălina et al. Drivers and barriers in using industry 4.0: a perspective of SMEs in Romania. **Processes**, v. 7, n. 3, p. 153, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/7/3/153>. Acesso em 12 nov 2019.

VERMULM, Roberto *et al.* Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486>. Acesso em 18 set 2019.

WAN, Jiafu *et al.* Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 20, p. 7373-7380, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7467436>. Acesso em 18 out 2019.

WANG, Shiyong *et al.* Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2016/3159805>. Acesso em 08 set 2019.

WU, Xindong *et al.* Data mining with big data. **IEEE transactions on knowledge and data engineering**, v. 26, n. 1, p. 97-107, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6547630>. Acesso em 27 nov 2019.

XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em 17 ago 2019.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)**. IEEE, 2015. p. 2147-2152. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7382284>. Acesso em 27 nov 2019.

ZIN, Roque Alberto; BOMBANA, Ligia Pichetti; BARCELLOS, Paulo Fernando Pinto. Avaliação das equipes de vendas de duas empresas com a matriz BCG utilizando lucro e margem de contribuição. **Gestão & Produção**, v. 25, n. 4, p. 826-838, 2018. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2018005012102&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2018005012102&script=sci_arttext). Acesso em 2 nov 2020.

ZÚÑIGA, Enrique Ruiz; MORIS, Matias Urenda; SYBERFELDT, Anna. Integrating simulation-based optimization, lean, and the concepts of industry 4.0. In: **2017 Winter Simulation Conference (WSC)**. IEEE, 2017. p. 3828-3839. disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8248094>. Acesso em 01 dez 2019.

## APÊNDICE A – ARTIGO SUBMETIDO

### The impact of industry 4.0 technologies on coal mining: a case study from the perspective of sustainability

\***Jocieli Francisco da Silva**<sup>a</sup>

University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

**Morteza Ghobakhloo**<sup>b</sup>

Kaunas University of Technology(KTU)

**Ágata Maitê Ritter**<sup>c</sup>

University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

**Nelson Kadel Júnior**<sup>d</sup>

University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

**Débora Oliveira da Silva**<sup>e</sup>

University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

**Luiz Alberto Oliveira Rocha**<sup>f</sup>

University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

#### **Abstract**

Industry 4.0 and the application of modern digital technologies across industrial operations are believed to offer exciting opportunities for sustainability. Nonetheless, the literature generally falls short in empirically demonstrating how Industry 4.0 can contribute to sustainability, a knowledge gap that is more evident in the context of the mining industry. The present study addresses this knowledge gap by empirically explaining how the digitalization of coal processing operations may facilitate various aspects of sustainability. In doing so, the present case study offers an in-depth comparison of two coal processing plants belonging to the same company. The first processing plant followed the historical evolution of the mining processes but stopped evolving technologically in the 1980s. The second processing plant implemented a few advanced operations and digital technologies attributable to Industry 4.0. The data collection was conducted through interviews with senior managers as well as accessing various forms of business information across the two units. Findings show that the application of Industry 4.0 technologies in the digitalized processing unit resulted in more streamlined processes, leading to more homogeneous final products and meeting customer specifications more efficiently. Besides the economic productivity contributions, the digitalization processes reduced the negative environmental impacts of coal processing significantly, particularly in waste and pollution reduction. The social implications of coal processing digitalization were observed to be contradictory. The digitalization in a modern unit led to higher workforce safety and welfare. However, digitalization and automation resulted in job polarization and fewer employment opportunities comparatively.

**Keywords:** Industry 4.0; digitalization; coal mining; sustainability; coal processing.

#### **1. Introduction**

Although necessary, mining activities have been seen as damaging to the environment. The mining sector has been committed to improving the sustainability, safety, and productivity of mines, adapting to resource scarcity and providing more

effective equipment maintenance (Prakash et al., 2020). Advances in the use of sensors, combined with robust analysis, offer the opportunity to accelerate mining performance and improve the way the process has been conducted (Buddhan et al., 2019). The use of industry 4.0 technologies can fill these gaps and provide solutions to mining problems related to product quality, process efficiency, mining safety, and sustainability. (Nepsha et al., 2019). Coal mining is an important source of energy generation and can be integrated with other energy generation and recovery systems, including industrial and residential consumption (Butturi et al., 2019) and renewable sources (Adami et al., 2017). About 87% of the energy consumed in the world is generated by the combustion of fossil fuels, of which about 30% is mineral coal (Tolmasquim, 2016). Total coal reserves are estimated to be around 1.1 trillion tons in the world. At current consumption rates, there is enough coal for around 150 years, while oil and gas reserves will only last 50 years (WCA, 2019). Brazilian coal reserves total approximately 32 billion tons, representing about 1% of world reserves. Brazilian reserves are concentrated in the three southern states of the country, including the Rio Grande do Sul (90.1%), Santa Catarina (9.6%), and Paraná (0.3%). Only the Candiota Deposit, located in the Rio Grande do Sul, has 38% of all national coal (Silva et al., 2018). As it has a high impurities content, Brazilian coal requires beneficiation processes, whose residues account for the main environmental impact associated with mining and coal processing (Oliveira et al., 2016). Therefore, integrating sustainable thinking into the Brazilian coal Industry can offer important implications for socio-environmental development at both national and international scales.

The notoriously polluting coal mining industry may now economically contribute to environmental sustainability thanks to the fourth industrial revolution (Industry 4.0) and the underlying digital technologies. Overall, the opportunities that Industry 4.0 may offer for sustainability have received much attention within academia. In this particular context, sustainability is understood as a concept that encompasses the balance between environmental, social, and economic aspects, aiming at humankind's well-being today and in the future. (Ghobakhloo, 2020a). Previous theoretical and practical contributions have extended the understanding of Industry 4.0-sustainability interaction extensively. The implications of Industry 4.0 and underlying technologies have been across various context and from diverse perspectives, examples of which include Industry 4.0 implications for remanufacturing (Kerin and Pham, 2019), manufacturing-economic sustainability (Bag et al., 2021; Fatorachian and Kazemi,

2018), circular economy and sustainable operations (de Sousa Jabbour et al., 2018; Dev et al., 2020; Fatimah et al., 2020), sustainable and flexible industrial human-machine interfaces (Ardanza et al., 2019), lean-green manufacturing (Ghobakhloo and Fathi, 2020; Kamble et al., 2020), sustainable supply chain management (Mastos et al., 2020; Yadav et al., 2020), and sustainable industrial value creation (Bordeleau et al., 2020; Primi and Toselli, 2020).

The most recent bibliometric studies on the Industry 4.0-sustainability literature reveal that this research discipline is in its infancy (Machado et al., 2020). The majority of contribution done to this discipline has been theoretical, and the current understanding of how Industry 4.0 technologies may contribute to the greening of various industries remain significantly limited (Sartal et al., 2020; Sharma et al., 2020). The present study addresses this knowledge gap and empirically demonstrates how the implementation of industry 4.0 technologies in the mining industry can contribute to the sustainable development goal and improve economic aspects, process efficiency, product quality, and safety. To this purpose, the study conducts a comprehensive case study of a coal mining company with two differently functioning business units, one business unit following traditional mining technologies, and one business unit benefiting from modern Industry 4.0 digital technologies. Through a comparative assessment of sustainability metrics across the two business units, the case study explains the real-world implications of digitalization for the sustainable development of the mining industry.

## **2. Literature and background**

### **2.1 Sustainability**

As defined by the United Nations (UN, 1987), sustainability means guaranteeing well-being, and meeting the present's needs, ensuring that future generations can meet their needs. Sustainability is not limited to environmental preservation, as it also involves socio-economic development (Goh et al., 2020; Shou et al., 2019). The economic sustainability aspect denotes the efficient use of socio-economic resources in a responsible way to ensure that companies make a profit but not at any cost. Economic sustainability proposes that businesses should enjoy economic prosperity and remain profitable to have the competence to promote socio-environmental sustainable development goals (Díaz-Chao et al., 2020; Niu et al., 2019). Environmental sustainability is concerned the reducing the negative impacts of

organizations and their products, services, and processes on the environment. Reducing reliance on non-renewable resources, keeping the balance between consumption and regeneration rate of renewable resources, and reducing waste and pollution are among the key concerns of environmental sustainability (Ghobakhloo et al., 2020a; Niu et al., 2019). Social sustainability is an elusive concept but mostly interpreted as the proactive way of balancing business impacts on people. Social sustainability values income equality, impartial employment opportunities, social homogeneity, and equitable access to universal human rights and basic amenities (de Sousa Jabbour et al., 2018; Lee and Jung, 2019).

The creation of an agenda for sustainability in organizations involves a better understanding of natural resources, such as fossil fuels, water, land, soil, air components, renewable energy sources, and biotic natural resources, such as flora, fauna, and wildlife (Sonderregger et al., 2017). Environmental management systems (EMS) are investments in infrastructure and commitments in organizations' environmental policies and procedures. EMS may include changes in operating practices, improving prevention systems, modifying operating procedures. (Gavronski et al., 2012).

Companies are increasingly considering sustainable aspects as the potential to drive innovation, competitiveness, and economic profitability (Brozzi et al., 2020). Sustainable manufacturing brings benefits that include cost savings obtained through the efficient use of resources, improved brand reputation for taking care of the planet, easier access to new markets, and less labor turnover, as it creates safe and secure environments and attractive and growth opportunities with access to finance and capital (Bag et al., 2020; Dev et al., 2020; Machado et al., 2020; Sharma et al., 2020). Aligning business norms and operations with sustainable development goals is a gradual and complex process (Burrirt et al., 2019). The transformation of processes and organizations toward sustainability must start with simple and easy to implement measures, gradually moving towards more complex indicators, according to the efficiency indexes (Veleva and Ellenbecker, 2001). The authors Machado et al. (2020) suggest the integration of sustainable practices through quality management systems, supported by lean technologies and oriented towards production innovations to improve the performance of value chain operations as well as the information systems that support a new business model aligned with the principles of sustainability,

integrating quality, environmental management, social systems and supply chain management.

## **2.2. Industry 4.0 technologies and their impact on sustainability**

Industry 4.0 aims to integrate digital technology systems into production processes, improving the production and management of companies (Faller and Feldmüller, 2015). In the industry 4.0 environment, systems are connected, automated, intelligent, and self-configuring, increasing the organization's efficiency and performance (Klingenberg et al., 2019). Digital transformation under Industry 4.0 refers to trends towards digitizing manufacturing environments that lead to process automation, taking business systems to the next level and introducing the intelligent use of interconnected machines using technologies (Erbay et al., 2018). The most frequently discussed technologies of industry 4.0 include cyber physical systems (CPS), big data, internet of things (IoT), automation, additive manufacturing, cloud computing, and simulation (Faller and Feldmüller, 2015; Ghobakhloo, 2018). The literature widely acknowledges that the improvement in the management of productive systems promoted by the application of Industry 4.0 technologies can also impact the sustainability of operations. Ghobakhloo (2020a) states that Industry 4.0 technologies reduce the costs and complexities of emissions and waste systems, and increase efficiency in materials usage, contributing to energy sustainability in various processes. They also allow manufacturers to analyze their consumers' behavior in real-time and better assess their products' socio-environmental impact (Bag et al., 2021; Díaz-Chao et al., 2020). Besides, industry 4.0 provides economic growth for the organization, enabling greater profitability and providing better working conditions, higher wages, social stability, and economic equality (Machado et al., 2020).

Table 1 summarizes the possible implications of Industry 4.0 to improve the sustainability of industrial operations. Previous studies provide exciting insights into how Industry 4.0 and underlying digital technologies can develop various sustainability dimensions. The literature argues that big data analytics (BDA) is considered a key technology in the context of sustainability because it can explore large and varied data sets and discover useful patterns and information, allowing industry leaders to make business decisions more quickly and effectively (Ren et al., 2019). BDA also offers important opportunities for sustainable layout development and sustainable manufacturing by analyzing the complete product life cycle and proposing sustainable

solutions and policies for the entire supply chain (Kumar et al., 2018; Tseng et al., 2018). BDA can integrate with other methodologies, allowing robust analysis operations and processes, facilitating environmental performance strategy development. Besides, the integration of BDA allows monitoring the life cycle of processes and products, allowing the before and after-life analysis of their environmental impacts (Belhadi et al., 2020). On the other hand, literature introduces additive manufacturing as one of the most sustainability-friendly technologies of Industry 4.0 (Yadav et al., 2020). Reducing material waste, ease of recycling, components redesigning efficiency, more sustainable new product design, and reducing emissions throughout the production chain are among the contributions of additive manufacturing to sustainability (Ford and Despeisse, 2016; Liu et al., 2016; Sanchez et al., 2020).

IoT contributes to sustainability and brings about significant changes in safety, as it provides a safe workplace, eliminating risks in operations and foreseeing possible problems and environmental aspects (Tiwari and Khan, 2020). The resulting data accuracy improves quality control initiatives, generating more sustainable and ecological practices (Sharma et al., 2017). Kiel et al. (2017) claim that IoT creates value for organizations by meeting expectations and requirements concerning the Triple Bottom Line of sustainability by delivering value through technical integration, data quality, and information. Similarly, industrial automation, when integrated with other technologies, allows safer operations and more sustainable processes (Barnewold, 2019). On the other hand, augmented virtual reality supports more intelligent and sustainable manufacturing strategies, further aligning business strategies and processes with circular economy business models (Kerin and Pham, 2019).

Extending the application of Industry 4.0 to the mining industry, scholars believe that Mining 4.0, which denotes the industrial application of Industry 4.0 technologies across mining operations, may offer massive opportunities for sustainable development (Löow et al., 2019). The scientific community further proposes that Industry 4.0 technologies can support sustainability by optimizing the entire mining value chain (Jang and Topal, 2020). Nonetheless, the empirical evidence on the opportunities that Industry 4.0 may offer for the sustainability of the mining industry is significantly lacking.

Table 1. Industry 4.0 technologies and implications for sustainability

Technology	Impact on sustainability and operations	Sources
Automation	It makes operations safer and more sustainable by increasing the capacity to reduce waste, increase resource efficiency, and improve product quality.	Barnewold (2019); Kerin e Pham (2019).
Big Data	It allows one to achieve quality improvement, optimize the product life cycle, develop a sustainable layout, and integrate the supply chain.	de Sousa Jabbour et. al. (2018); Raut et al. (2019); Belhadi et al. (2020).
Cloud Computing	It enables safe and sustainable operations and the ability to connect people to share demands on the useful life of products.	de Sousa Jabbour et. al. (2018); Barnewold (2019).
RFID	It contributes to reverse logistics by tracking products that can be disassembled and reused at the end of their useful life.	de Sousa Jabbour et. al. (2018).
IoT	They provide improvements in the safety of operations, quality control, maintenance forecasting, contribute to sustainable and ecological practices due to the ability to better dimension sustainable resources.	Kiel et. al (2017); Sharma, et al. (2017); de Sousa Jabbour et. al. (2018).
Additive Manufacturing	It allows the reduction in the use of materials and the generation of waste and facilitates reuse and recycling processes.	Ford e Despeisse (2016); Liu et al (2016); Sanchez et al. (2020).
Virtual Reality and Augmented Reality	They support the remanufacturing processes by promoting circular economy business models.	Kerin e Pham (2019).
Simulation	It allows the editing of genomes in the food and beverage industries, allowing an increase in the yield of products and decreasing water use.	Bai et al. (2020)
Cyber Physical System (CSF)	They make operations more sustainable due to systems integration and assist in improving the quality and safety of operations.	de Sousa Jabbour et. al. (2018); Barnewold (2019).

### **3. Research methodology**

The research method is a case study. Case studies can provide a complete description of an object, test a hypothesis about an object, or generate a hypothesis that explains an object's aspect (Eisenhardt, 1989). The present study tests the hypothesis that the implementation of industry 4.0 technologies makes the coal mining process more sustainable and contributes to improved economic aspects, process efficiency, product quality, and operation safety. According to Eisenhardt (1989), the selection of cases is fundamental and helps reduce strange variations and define the limits of generalization of results. Cases must be chosen according to some criteria, such as replicating previous cases, extending emerging theories, suppressing theoretical categories, and providing examples of extreme or polar cases. For this study, polar cases were selected, an analysis unit with technology implementation from Industry 4.0 and another unit with traditional technology. The cases are two mining units specialized in mineral coal processing, with the same production process. Both cases belong to the company Copelmi Mineração Ltda.

As directed by Eisenhardt (1989), the data collection process included verbal data derived from semi-structured interviews and documents provided by the company. According to Eisenhardt (1989), researchers should formulate a research problem in the case study and specify some potentially essential variables regarding the existing literature. However, they should avoid establishing specific relationships between variables and theories, especially at the beginning of the process. Following this recommendation, a semi-structured interview script was prepared, containing research items based on the literature survey. After that, interviews were conducted to collect data. Employees from both production units and customers from both units participated in the interviews. Thus, it was necessary to establish a separate script for each of these groups of respondents. The scripts used are available in Appendices A and B. The interviews lasted an average of 40 minutes and were held at the company's headquarters and recorded. The employees interviewed were selected according to their knowledge of the process. In the traditional unit, four employees and two customers were interviewed. In unit 4.0, five employees and two customers were interviewed, both of whom are representatives of the same company, since unit 4.0

has an exclusive supply for a thermoelectric plant. The profile of the interviewees is presented in Appendix C.

The collected data were analyzed using the content analysis technique. Content analysis is a research method that seeks to interpret and analyze data through coding (Moldavska, 2017). First, there was the transcription of the interviews and the coding of the data. Then, the coded sections were grouped into categories to reduce them according to the topics of interest in the research. The purpose of this analysis was to identify, in the content of the interviews, the parts correlated with the information found in the literature.

## **4.0 Results and discussion**

### **4.1 Characterization of the units studied**

The units studied belong to Copelmi Mineração company, founded in 1983 and consist of eight mining units. The company currently operates two units, one in the city of Butiá / RS and the other in the city of Candiota / RS, with the remaining units inactive. The Butiá unit was built in the 1980s. It uses traditional technologies, that is, the control of the plant is based on the use of spreadsheets of manual filling and visual management, with the information concentrated in an analog panel. The company has 192 employees, produces approximately 1.3 million tonnes/year of crude coal annually, and has, as leading customers, producers of thermoplastic resins, grain dryers, steel mills, ceramics, cellulose, and cement company. The processes carried out in this unit is represented by Figure 1, which include: 1) extraction of coal from the mine and transportation to the beneficiation plant; 2) Discharge into the primary hopper (Mg-1); 3) reduction in the primary crusher (Br-1) to 100 mm; 4) reduction in the secondary crusher (Br-2) to 50 mm; 5) separation of what is a product (PI-1) and what is rejected (RE-1) on the separation table and cyclone tower (Jg-1) - what is rejected (RE-1) will return to the mine pit; 6) intermediate product stock (PI-1) for analysis; 7) definition of the charging fraction of each cell; 8) formation of the finished product (PA-1).

**Figure 1 - Traditional unit process**

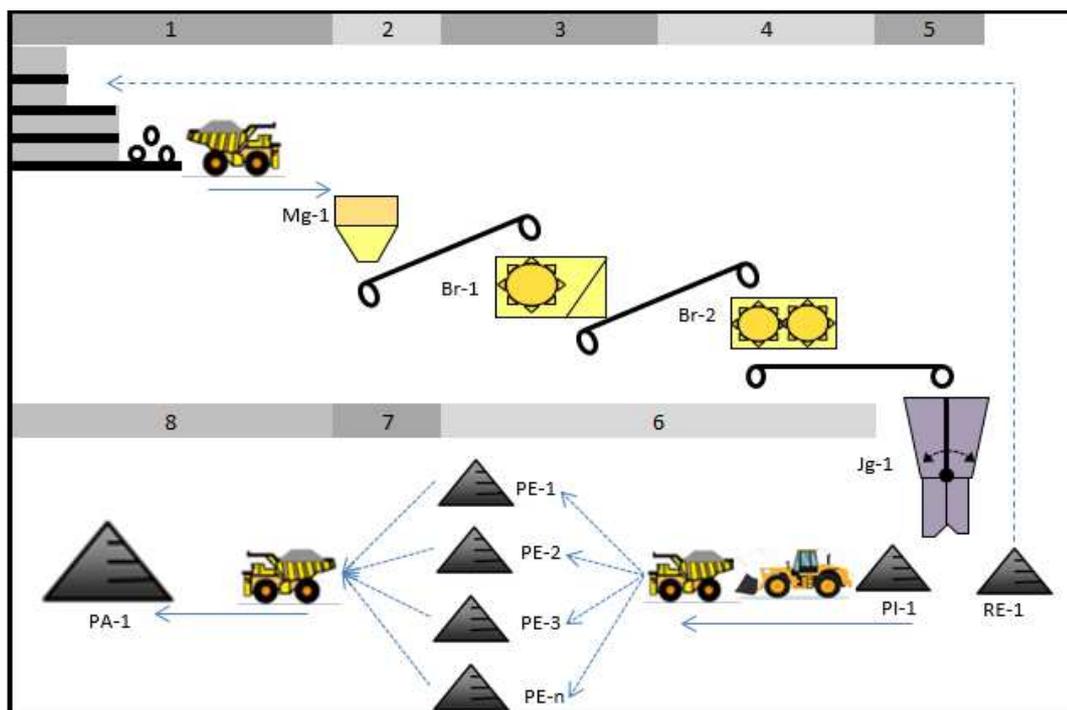


Figure 1 – An schematic presentation of operational processes in the traditional business unit.

Unit 4.0 was inaugurated in 2018. It is located in the city of Candiota / RS, which concentrates 38% of all Brazilian coal. It has 95 employees, was designed and built to use Industry 4.0 digital technologies: big data, IoT, automation, and cloud computing. It has an installed capacity of 2.3 million tonnes/year, with an exclusive focus on serving a 350 MW thermoelectric plant. The process of beneficiation of this unit is represented in Figure 2, which includes: 1) extraction of coal from the mine and transport to the beneficiation plant; 2) Discharge into the main hopper (Mg-1); 3) reduction in the primary crusher (Br-1) to 100 mm; 4) reduction in the secondary crusher (Br-2) to 50 mm; 5) The online analyzer (A1) will classify into four types of intermediate product (PI). Whatever is rejected (RE-1) will return to the mine pit; 6) The remaining three intermediate products (PI-1, 2, 3) will be resumed by gravity; 7) The mixture will pass through the second online analyzer (A2). A2 will adjust the flow rate of the PI until it can form the standard finished product (PA-1); 8) Formation of the finished product (PA-1).

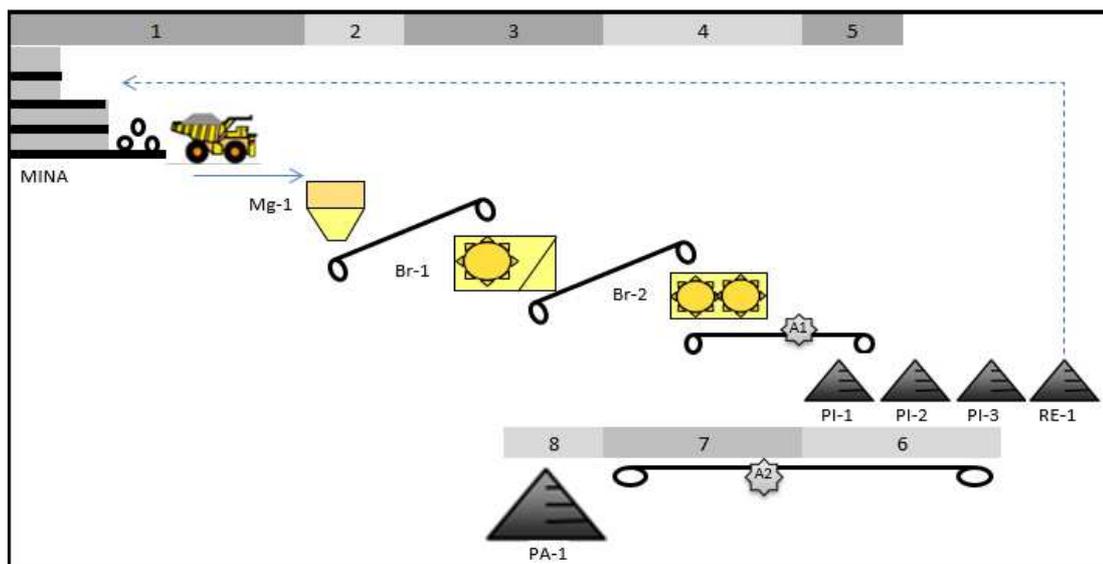


Figure 2. A schematic presentation of operational processes in unit 4.0.

## 4.2 Importance of technology

Initially, we sought to understand the impact of Industry 4.0 technologies, or their absence, for the production process and the aspects related to environmental impacts in the case company. Concerning sustainability, it was found that the application of digital technologies, especially automation, allowed changing the production process, eliminating the use of water. In the traditional unit, the product separation process uses water, while in unit 4.0, the process is carried out dry. The use of a separation table, integrated with automation, big data, cloud computing, and IoT technologies, allows the ore to be separated according to the predetermined specification using air and not water, autonomously and with high precision. This modification addresses two environmental problems: water consumption, which is a scarce natural resource, and the disposal of this post-process waste, which is usually carried out through dams. According to de Sousa Jabbour et al. (2018) and Bai et al. (2020), Industry 4.0 technologies allow organizations to apply the necessary technological changes to minimize natural resource consumption without impacting their productivity. Regarding discarded waste, digital technologies contribute to environmental and social aspects, as according to Aires et al. (2018), these dams are harmful to the environment since they are usually built on slopes using material derived from mining activities. Besides, dam safety has been a challenge due to the disasters that have occurred in recent decades. (Fonseca, 2019; Freitas et al., 2019; Luino and Graff, 2012; ANA, 2016; Davies, 2002; Vrhovnik et al., 2013).

The interview results show that the quality of the final product is perceived very differently across the traditional unit and unit 4.0 customers. The company that receives product from unit 4.0 claims to have no quality or reliability problems with the material received, characterizing the product as homogeneous and stable. For this reason, the unit 4.0 customers set their safety stock to only 10 hours. The customers who receive the product from the traditional plant reports homogeneity lack in the product received, with variations in the pattern throughout the lot, which frequently impairs their process. Besides, there is a lack of reliability concerning delivery, requiring a safety stock of approximately 20 days. The difference in product homogeneity is directly related to the use of Industry 4.0 technologies. In unit 4.0, the product selection and composition processes are carried out with online analyzers autonomously and in real-time. On the contrary, the selection and composition processes are carried out manually and inefficiently in the traditional unit. Online analyzers implemented in unit 4.0 are machines integrated with automation, big data, and cloud computing technologies. Online analyzers make it possible to measure product moisture and calorific value. Analyzes are made in real-time on all coal that passes through the conveyor belt. The technology used in the analyzer is the Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA), which consists of the analysis of gamma rays by rapid neutronic activation.



Figure 3. The online analyzer technology used in unit 4.0.

The analyzer, as shown in Figure 3, measures the amount of sulfur, silica, iron, calcium, aluminum, titanium, potassium, carbon, hydrogen, sodium, chlorine, nitrogen and ash present in the coal. Moisture measurement is done on the same analyzer by magnetic microwaves. The data collected is forwarded to the Real time cloud and then made available in a process control panel available in a control room. In this panel the operator controls two screens: Analysis Screen and the Trends Screen. The analysis screen shows the composition of the coal over four different time periods:

- "Current analysis": the most recent one-minute analysis.
- "Current average": the average of the most recent X minutes, where X is a number chosen by the customer.
- "Cumulative": it is the average of all analyzes from a point chosen by the user to the present moment. This is the most used way of tracking the average composition of, for example, a truck being loaded.
- "Interval": is the average between any two points in time, selected by the user. It is used when the plant or mine is trying to diagnose a problem that has occurred in the past and checking whether it is related to the quality of the coal.

Analysis	Current		Rolling		Cumulative		Interval		
	Dry	As Rec.							
Tons	16.85		803.59		2910.80		1451.86		MAF BTU: 14328.01
TPR	280.90		279.13		202.75		0.00		Other Ash Constituents: 10.80
Moisture	0.00	19.63	0.00	20.07	0.00	19.54	0.00	20.37	Bound Moisture: 0.31
Ash	13.76	11.06	14.11	11.28	13.78	11.09	14.15	11.27	
Sulfur	1.25	1.00	1.25	1.00	1.16	0.93	1.24	0.99	
BTU	12310	9893.8	12297	9830.1	12294	9892.3	12268	9769.3	
1b SO2/mBTU		2.03		2.03		1.89		2.02	
SiO2(%Ash)		52.36		51.84		52.87		52.11	
Al2O3(%Ash)		19.95		20.13		19.69		19.63	
CaO(%Ash)		10.90		10.57		10.98		10.78	
Fe2O3(%Ash)		4.86		4.76		4.42		4.59	
K2O(%Ash)		1.00		1.03		0.96		0.99	
TiO2(%Ash)		1.13		1.12		1.05		1.10	
Trace(%Ash)		10.80		10.55		11.02		10.80	
	1		48		270		106		Number of records:
	04/01/03 09:04:19		04/01/03 08:59:31		04/01/03 08:24:21		04/01/03 08:50:34		Actual start time
	04/01/03 09:04:25		04/01/03 09:04:25		04/01/03 09:04:25		04/01/03 09:03:18		Actual stop time
Analysis count	281				04/01/03 08:24:20		04/01/03 08:50:28		Requested start time
							04/01/03 09:03:19		Requested stop time
30 to 60 feet									Destination
			5						Requested (minutes)

Figure 4. The online analyzer control panel.

The trend screen uses up to six trend graphs to capture the most critical parameters like sulfur, ash and calorific value (Figure 5). The user can define upper and lower limits and plot not only current values but also moving and cumulative averages.



Figure 5. Trend screen of online analyzer.

The process control software for the analyzers is BaseCoal, which has an integrated Windows platform and provides momentary, cumulative analytical data, over time intervals, of product quality. It includes graphical interfaces that allow operators to monitor trends for numerous quality parameters. The Base Coal software provides the operator with all the information necessary to manage and control the quality of the coal being produced. In addition to this software, the analyzers are integrated by the COBOS software, Coal Blending Optimization System, which can mix up to six different sources of coal to achieve the lowest possible mixing cost that meets its quality specifications. Therefore, the operator can select up to six of the referred sources to mix. The software will then mix the coal sources to obtain and "recipe" consisting of up to five quality parameters such as sulfur, ashes, moisture and even ash oxides or ash oxide proportions.

The unit 4.0 plant has two online analyzers located on the conveyor where the product passes. As shown in Figure 6, Analyzer 1 is located at the beginning of the process, it receives the product, identifies the specifications and classifies them according to the available specifications. The product follows the route and when it reaches analyzer 2, it is responsible for adjusting the compositions of the product it is receiving until it forms the standard product that will be sent to the customer.

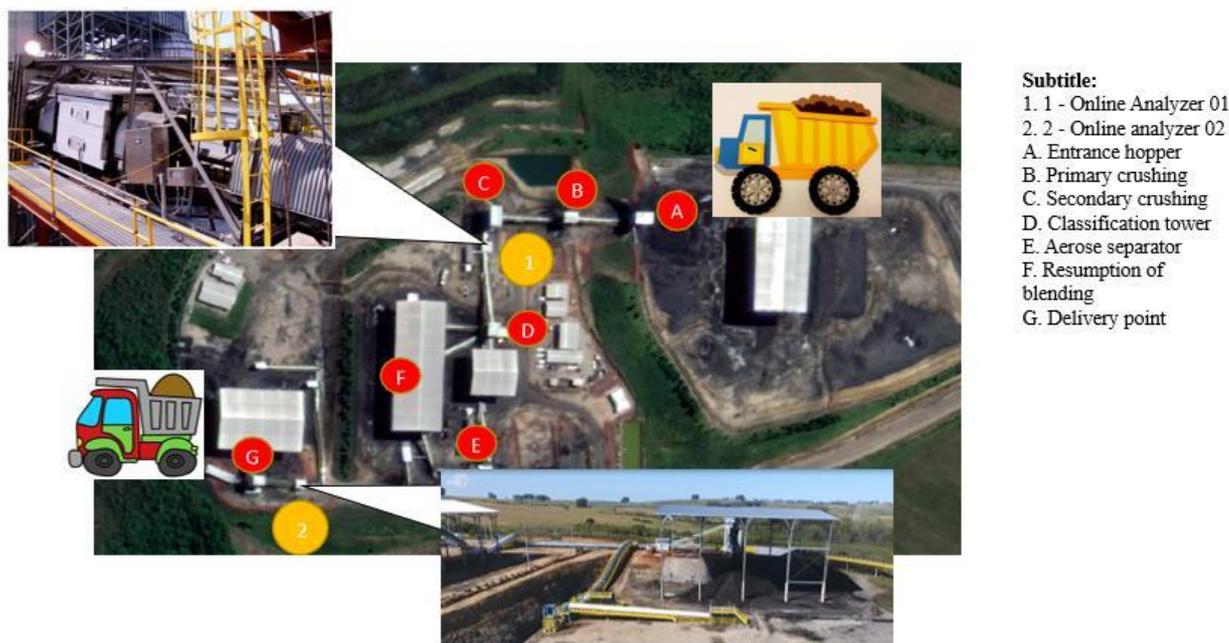


Figure 6 - Location of analyzers on the unit 4.0 plant.

Respondents from Unit 4.0 explain that the use of online analyzers is crucial to ensure the quality that must be delivered to the customer. In the traditional unit, the interviewees recognize the customer's complaint regarding quality and affirm that they would only reach the ideal quality index with the use of online analyzers existing in the other unit, manually it is impossible to compose the product without high variation. This statement corroborates Barnewold (2019) and Ghobakhloo (2020), claiming that in addition to sustainable aspects, one of the principles of the integration of Industry 4.0 technologies is to allow processes to become more flexible and efficient and have the capacity to produce with high quality and low cost, providing economic growth for the organization.

Another aspect observed in the case study concerns security. Safety is one of the company's priorities at the expense of existing legislation in Brazil, particularly concerning the regulatory standard NR-12 - Safety at work in machinery and equipment. This rule is based on the implementation of protective measures in machinery and equipment to safeguard the health and physical integrity of workers. It establishes the minimum requirements for the prevention of accidents and occupational diseases in the design and use phases of machinery and equipment. (ENIT, 2020). In order to meet this standard, machines and equipment must be equipped with sensors that guarantee safety in operation. The traditional company has

already spent around R \$ 1.2 million to adjust some machines and equipment in accordance with this standard and still continues to invest around R \$ 300 thousand a year to adjust the machines and equipment that are not yet in line with the legislation. In unit 4.0, no investment was made to adjust machinery and equipment as this company has already been built in compliance with the requirements of the legislation, reducing the operational cost of the company significantly. Unit 4.0 has sensors in different functions, integrated with automation. When the sensors automatically detect anomalies in the process, they trigger a high-volume audible signal that reaches all areas of the company. At this very moment, the guardrails move automatically, stopping the equipment that is operating. On the conveyor belt there are tear and overflow sensors. These sensors on the belt automatically activate when there is accumulation of product in a certain area and stop the process, thus avoiding the burial of employees. Despite all these sensors, which aims to prevent accidents at work, it is not possible to say that they have contributed in this sense, as the data provided by case units with the number of accidents at work with and without personal injury does not differ between companies in the years 2019 and until October 2020, as shown in Figure 7. This finding differs from the findings by Sharma et al. (2017), Barnewold (2019), and Kerin and Pham (2019) who state that the Industry 4.0 technologies, especially automation, guarantee safe and adequate working conditions in mining, contributing to the reduction of accidents and the improvement of efficiency of this industry.

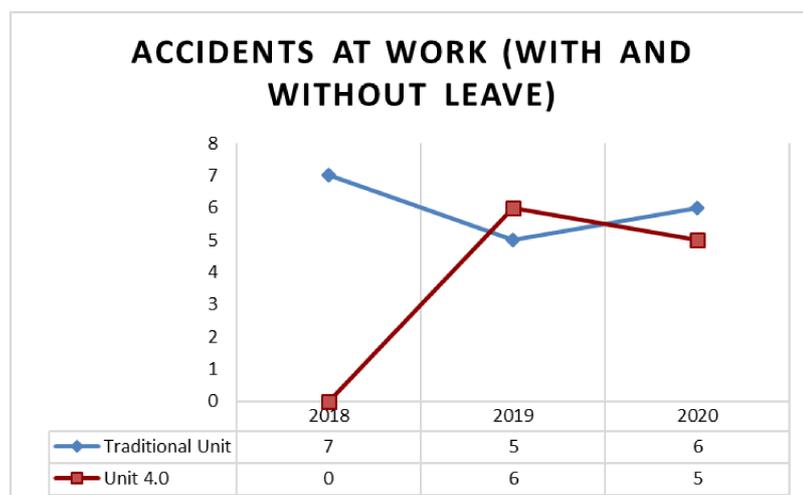


Figure 7. Number of accidents with and without personal injury in each of the companies.

The automatic shutdown of operations if an anomaly is identified contributes to preventive maintenance, which for unit 4.0 is a fundamental activity. According to one of the interviewees from unit 4.0, the use of sensors to detect failures contributes to reducing the loss of equipment. Maintenance is considered a fundamental activity for unit 4.0 due to its location. The company is more than 500 km from the most critical parts and repair suppliers, and even the simplest ones are purchased only 200 km from the company. Therefore, anticipating any maintenance that causes a stop in the process is very significant. Figure 8 shows the number of breakdowns (accidents with material damages only) in the companies in the years 2018, 2019 and until October 2020. unit 4.0 has lower numbers than the traditional company throughout the period observed. There is a higher number of breakdowns in the year 2019 because both companies had an increase in production of about 35% in the traditional company and 30% in unit 4.0. This concept confirms Dong et al. (2017), arguing that the stable and efficient operation of mining equipment is essential to guarantee the operation and that Industry 4.0 technologies can contribute to the elaboration of a predictive maintenance plan, changing the way of maintenance of the mine's equipment and ensuring safe and efficient operation for equipment.

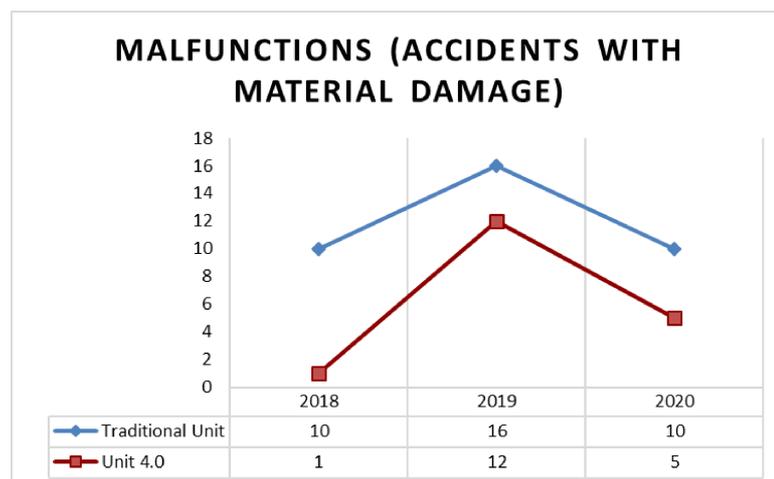


Figure 8. Number of critical malfunctions in each of the case companies.

The interviews offer exiting findings concerning the number of people working in the process and their degree of experience. Unit 4.0 is composed of a team of 95 employees, with less than three years of experience, while the traditional unit has 192 employees, and the most influential people in the process have more than ten years

of experience. This change in employee profile is one of the points listed by previous scholars such as Erbay et al. (2018) and Ghobakhloo (2018) as essential for the implementation of Industry 4.0 technologies. They claim that in an environment like that of Industry 4.0, there is a necessary change in the workforce profile, which needs to be more trained and prepared, since it will operate in a flexible, constantly changing environment and still without all the specifications defined.

Overall, the interviewees highlighted that the quality and safety results achieved by unit 4.0 would be impossible to achieve without the full implementation of the technologies used. In this sense, it would not be possible to adapt the traditional unit to adopt partial technologies, since it is a complex, high-cost process that needs to be designed in an integrated manner. This finding provides empirical support for previous work of Ghobakhloo (2020b) and Lööw et al. (2019) arguing that industrial entities should have a certain degree of digital and operations technology readiness to avoid the piecemeal implementation of digital technologies, and have the capability to fully benefit from integrative nature of Industry 4.0.

### **4.3 Learning and management**

The second item of interest was the impact of technology on the learning and management of organizations. For this, interviewees were asked whether organizations perceive learning opportunities using technologies, how they explore this aspect, and whether technologies provide data that help improve the process and how they are used. The interviewees understand technologies' importance and the excellent performance acquired by the organization due to them. However, they point out that some improvements can be developed for the company's growth, among them, to improve the interpretation of the data collected by the sensors. Also, the technologies offer a range of information that is not being processed and used, and that has the potential to be used for the development of improvement programs, maintenance schedules, and process monitoring. This statement corroborates the work of Klingenberg et al. (2019) arguing that data is a valuable resource due to its traceability, predictability, and mainly because it is inexhaustible, however, its existence alone is not enough. To become a tool and offer a competitive advantage, they need to be well collected, analyzed, and used to support decision-making.

Another point raised is the integration of systems. For the interviewees, the ideal operation is achieved when the mine is integrated with the plant, and the plant is

integrated with the client. For the company, the integration of the plant and the mine will allow one to see, in real-time, what is being excavated and already prepare the process for receiving this material. In the same way, the client's integration will allow him to follow the process and the quality of what he is receiving. In Industry 4.0, this integration is defined by Zhou et al. (2015) as end-to-end integration. Industry 4.0 allows the integration of sensors present in all embedded terminals, intelligent control systems, and communication facilities to form an intelligent network. The interconnection can be man to man, man to machine or machine to machine, in order to achieve horizontal, vertical, and complete integration of the entire network.

#### **4.4 The environmental impacts of technologies**

The application of digital technologies into the mining operations is expected to contribute to quality improvement, the efficiency of the process, and the operation's safety, and consequently, reduction in operational costs and an increase in revenues. (Wan et al., 2016; Nepsha et al., 2019). Interestingly, the results of present case study provided empirical support for this assumption. The consumption of drinking water is shown in Figure 9. It is important to highlight that in the traditional unit the consumption of drinking water is more than double that of unit 4.0. Water is used for consumption, personal hygiene of employees, and for cleaning and maintenance of companies' workplaces. The amounts consumed are directly related to the number of employees in each of the companies. In the traditional company there are around 200 employees while in unit 4.0 it is half, approximately 100 employees. Given unit 4.0 outperforms the traditional unit in total amount of coal produced yearly, Figure 9 signifies the sustainability productivity of unit 4.0.

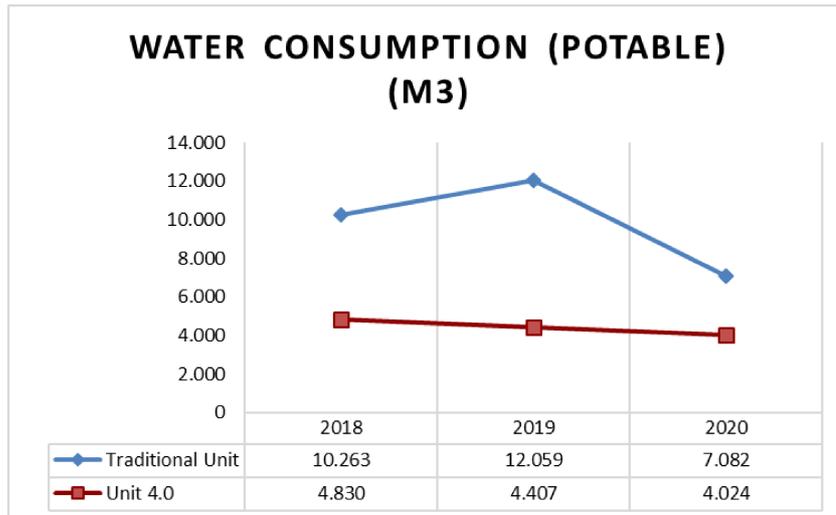


Figure 9. Amount of drinking water consumed in each case company.

In the traditional unit, the coal separation process, according to the quality of the product, is carried out with water. In unit 4.0 it is carried out by online analyzers. Therefore, the consumption of non-potable water in this unit 4.0 is only for cleaning process machines and equipment. As shown in Figure 10, the non-potable water consumption in unit 4.0 does not reach 10,000m<sup>3</sup>, while in the traditional company, it exceeds 250,000m<sup>3</sup> annually.

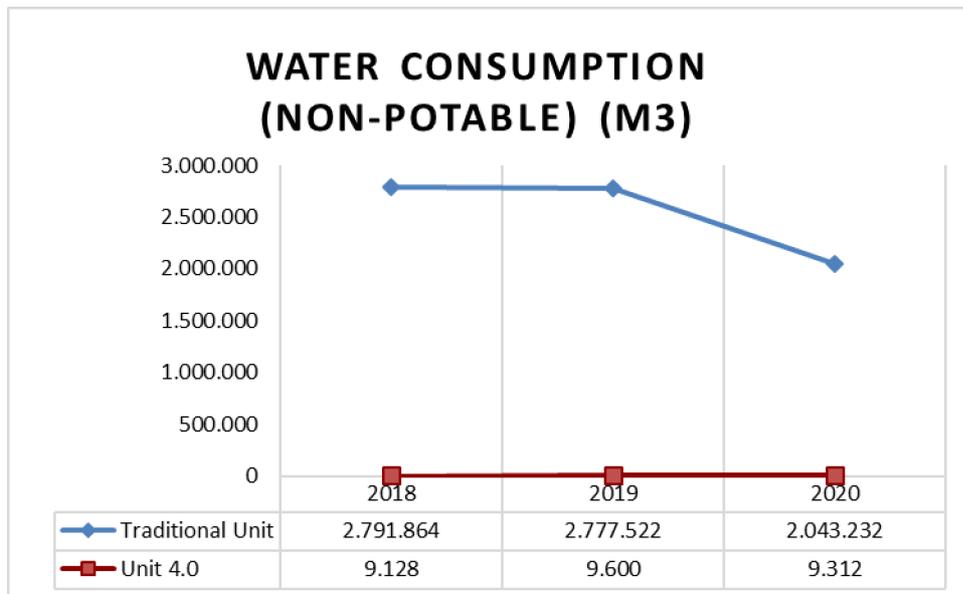


Figure 10. Amount of non-potable water consumed in each case company.

In addition to drinking potable and non-potable water, the traditional unit consumes an average of 4 times more electricity than unit 4.0. The massive difference concerning the energy consumption level across the two case companies is directly linked to the existing technology and their energy efficiency. As the traditional unit was built about 40 years ago, the machines and equipment that operate in this company have a much higher energy consumption than the smart and energy-aware equipment and machines of the unit 4.0. Figure 11 shows the general consumption of electricity in each case company.

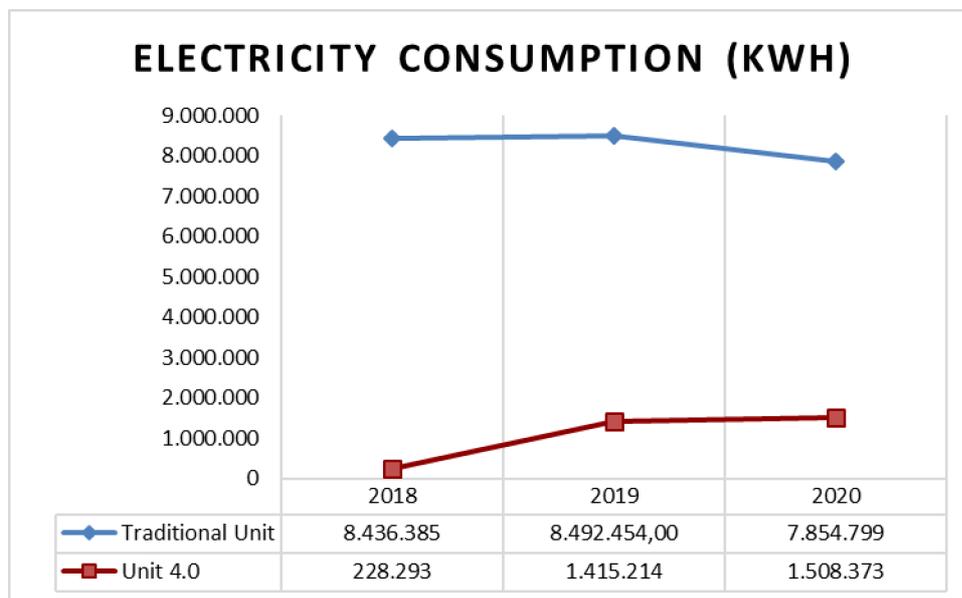


Figure 11. Yearly energy consumption across case companies.

The discrepancy in the amount of waste that each company generates in its production processes is also significant. Waste for the case companies consists of sterile and tailings. The sterile are the residues generated by the extraction activities in the stripping of the mine and they are disposed in piles. The tailings are the residues resulting from the beneficiation process. As the traditional company carries out the water processing process, the amount of waste from this unit is much higher than unit 4.0. Despite higher production capacity and output of unit 4.0, this unit produced a significantly lower amount of waste compared to the traditional unit (Figure 12). The spike in 2019 data is due to the increase in production in both companies.

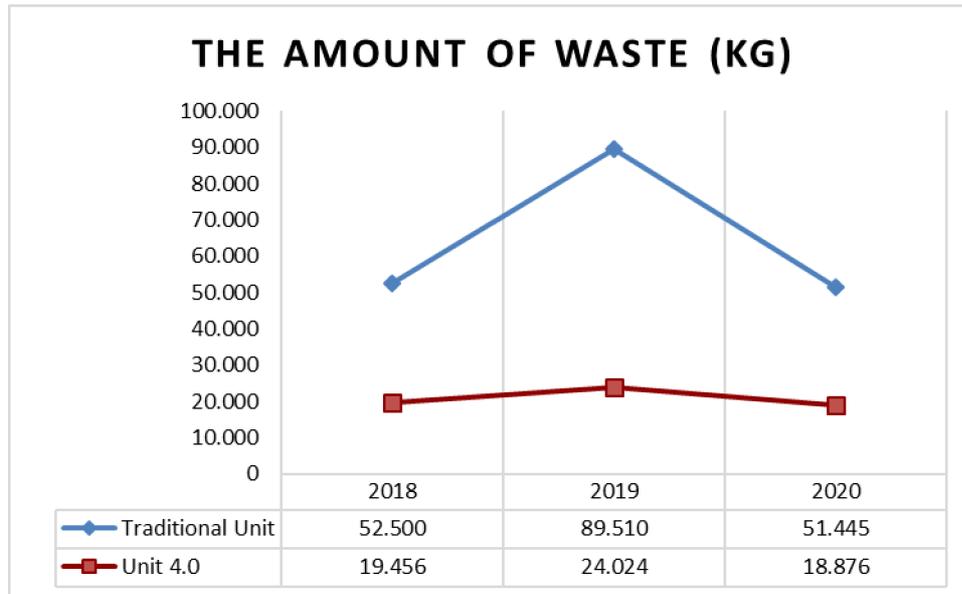


Figure 12. The overall amount of waste produced across the case companies.

Figure 13 shows emission of harmful particles (mg / Nm<sup>3</sup>) across the case companies, directly resulting from production processes. These particles come from the fines dryer. In the traditional company, as water is used in the production process, there is a final step that requires drying the product before delivery to the customer. This drying step releases a harmful particle into the air. As unit 4.0 does not use water in the process, there is no product drying or harmful particles emission, as the graph highlights.

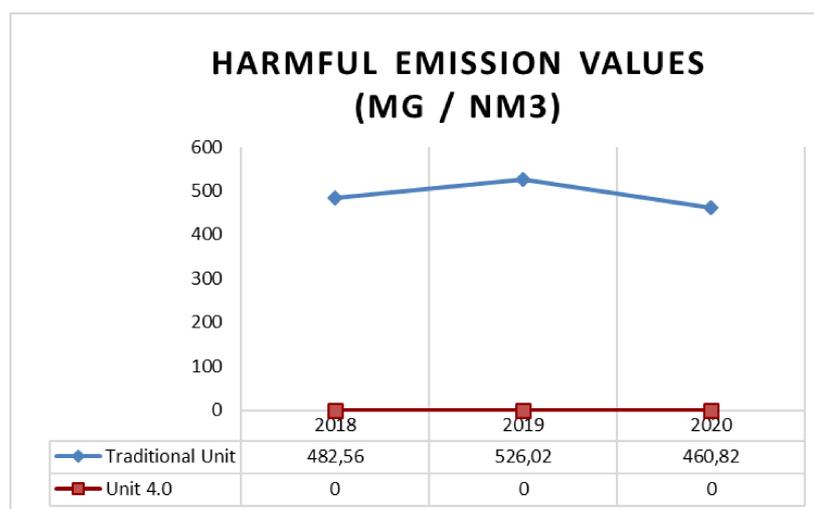


Figure 13. The amount of harmful particle emitted to air across case companies.

These data, collectively, demonstrate how the integration of Industry 4.0 technologies into the mining operations reduces the water use, energy consumption, and the production of waste and harmful particles. These benefits are not restricted only to environmental gains, given there is also a reduction in electricity and water costs and a better quality of life for operators and families who live close to mine. Table 2 summarizes the application of technologies in unit 4.0 and their sustainability impact across various processes.

Table 2. The summary of Industry 4.0 technology applications across unit 4.0.

Process	Operation	Where they are located	Automation	Big Data	Cloud computing	IoT	Impact	
Mine	perforation	Drills	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> <li>The installed sensors monitor the type of rock being drilled and its degree of resistance to advancement and depth.</li> <li>The installed sensors collect information to assist in mine excavation planning.</li> </ul>	
		Topography		✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> <li>Collect field information that feeds the database and is used in mine excavation planning.</li> </ul>	
	Excavation	Excavators		✓			<ul style="list-style-type: none"> <li>Collect information to assist in mine excavation planning</li> </ul>	
	Transport	Trucks		✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>All trucks are equipped with a "tag" containing information about the vehicle and the product they are transporting. These "tags" will open the access gates to the plant and road scales.</li> <li>Collect and store data that can be used for production planning and control.</li> <li>The installed sensors monitor the equipment to check their performance.</li> <li>The installed sensors replace the need for labor, contributing to the safety of the operation.</li> </ul>	
Processing	Crushing	Belt Conveyors	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>The installed sensors collect and store data that can assist in planning process improvements and predictive maintenance planning.</li> </ul>	
		Online analyzer	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>It ensures that product segregation is done accurately and quickly</li> <li>It increases product quality</li> <li>It collects and stores data for mine excavation planning.</li> </ul>	
	Blending	Flow scales	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>They feed control and inventory information throughout the production process.</li> </ul>	
		Road scales	✓		✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>They feed control and production information automatically.</li> </ul>	
		Belt Conveyors	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensors are responsible for stopping operations when anomalies are identified.</li> <li>Shutdowns contribute to reducing accidents and increasing safety.</li> <li>Collect and store data that can be used for maintenance planning.</li> </ul>	
	Aeroseparation	Separation table	Online analyzer	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensures the correct mix of intermediate products, ensuring that the product delivered is within the contract specification.</li> <li>Contributes to increasing product quality and reducing variability for the customer.</li> </ul>
					✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contributes to eliminating the use of water in the separation process that makes up the final product.</li> </ul>

## 5. Concluding remarks

This study aimed to investigate the impact of Industry 4.0-related technologies on the sustainable operations of coal mines. To that purpose, the two coal production units were compared in terms of the existing operations technologies, and the impact of Industry 4.0 technologies on quality, efficiency, safety, maintenance, sustainability, and economy metrics were assessed. This comparison was made based on the data

collected across interviews with the top management of the two units, involving senior managers whose work directly relates to each unit's processes and customers.

The results show that unit 4.0, which benefited from Industry 4.0 technologies, offers its product with higher quality and homogeneity. The process in unit 4.0 is considered more efficient because it delivers a larger quantity of the product and with a higher quality specification than the traditional unit. In addition to improving product quality and efficiency, the existing intelligent sensors significantly contributed to the safety of processes, allowing the identification of anomalies to realign the operations and avoid accidents and losses proactively. Overall, the sensor-based real-time data collection allowed the continuous monitoring of various processes, leading to more optimized maintenance management activities and streamlined continuous improvement initiatives. The application of Industry 4.0 technologies across unit 4.0 provided significant opportunities for socio-environmental sustainability. Unit 4.0 provided an overall safer working environment for employees compared to the traditional unit. The reduction of hazardous waste and emission, as well as eliminating the risk associated with dams, generally improved operators' quality of life and local families residing close to unit 4.0. More importantly, the economic development, thanks to the efficiency and productivity outcomes of Industry 4.0 technologies, allowed unit 4.0 to develop more generous welfare initiatives for the employees. Overall, the study and underlying findings offer important implications for the academia and industry, as briefly listed in the following:

- The literature offers various scenarios for the possible contribution of Industry 4.0 and the digital transformation of industries to sustainability. Nonetheless, the majority of contribution is at the theoretical level, and limited empirical studies explain how the digital transformation of the coal mining industry can promote the TBL of sustainability. The present study showed that, even inside a single company, the application of Industry 4.0 digital technologies could revolutionize the sustainability performance of various business units. Industry 4.0 digital transformation and development of corporate sustainability strategies are not merely limited to the multinational manufacturing giants, and sustainable development and leadership strategy can be a viable business strategy to ordinary companies operating in less developed economies.
- The literature explains that Industry 4.0 transformation and sustainable production are complex phenomena, requiring a dramatic change in the

business norms, operations, processes, and value creation activities at the supply chain level. The literature further argues that not all companies have the necessary expertise, management competencies, technological readiness, inter-organizational and inter-organizational integrability, and resource availability to embark on digitalization and sustainable development. However, the present study revealed that companies could pursue digitalization and sustainable development at a smaller scale and according to existing resources and competencies. Copelmi Mineração company, as shown in the present study, decided to digitalize the certain processes of the Candiota unit (unit 4.0), given this unit had the necessary operations technology readiness for the integration of digital technologies into the beneficiation processes. Because of the economic productivity advantages of partially digitized processes across unit 4.0, the company now has the necessary knowledge, resources, and strategic vision to further pursue a wider-scale digitalization agenda in the near future.

- The literature believes that among various sustainability dimensions, economic sustainability is the more immediate outcome of digitalization under Industry 4.0, and the present case study empirically supported this assumption. The decision on the digitalization of unit 4.0 was mainly made based on economic productivity milestones such as increased production capacity, improved product quality, higher process reliability, and overall increased profitability. Nonetheless, digitalized processes and operations across unit 4.0 offered significant socio-environmental benefits such as reduced waste, energy consumption, emission, risk, and environmental degradation. Thanks to the economic productivity of digitalized operations, Copelmi Mineração company now has the liberty and necessary resources to strategically prioritize the integration of sustainable development initiatives all across the business units.
- The results reveal that Industry 4.0 transformation for the mining industry may negatively impact the labor market. Although the production capacity of unit 4.0 is massively more extensive than the traditional unit, the employment opportunities provided in unit 4.0 is twice less compared to the traditional unit, which is mainly due to the automation of labor-intensive processes. Also, unit 4.0 employed younger yet more skilled and talented employees in response to a higher degree of digitalization. The inevitable polarization of the labor and

somewhat unequal salary levels across the two units might be interpreted as Industry 4.0 negatively affecting social sustainability.

### **Acknowledgements**

This research was conducted with financial support from CAPES/Brazil (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

### **References**

Adami, V. S., Júnior, J. A. V. A., & Sellitto, M. A.: Regional industrial policy in the wind energy sector: The case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Energy Policy*, 111, 18-27. (2017)

Aires, U. R. V., Santos, B. S. M., Coelho, C. D., da Silva, D. D., & Calijuri, M. L. (2018). Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Land use policy*, 70, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.026>.

ANA, 2016. Special Insert on the Rio Doce Basin: Dam rupture in Mariana / MG. National Water Agency. Superintendency of Water Resources Planning – SPR, Brasília - DF (in Portuguese). [https://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce\\_22\\_03\\_2016v2.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf).

Ardanza, A., Moreno, A., Segura, Á., de la Cruz, M., & Aguinaga, D. (2019). Sustainable and flexible industrial human machine interfaces to support adaptable applications in the Industry 4.0 paradigm. *International Journal of Production Research*, 57(12), 4045-4059. doi:10.1080/00207543.2019.1572932

Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, 231. doi:10.1016/j.ijpe.2020.107844

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>.

Barnewold, L. (2019). Digital technology trends and their implementation in the mining industry. In: *Mining Goes Digital: 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, APCOM, pp. 9-16. DOI: 10.1201/9780429320774-2.

Belhadi, A., Kamble, S. S., Zkik, K., Cherrafi, A., & Touriki, F. E. (2020). The integrated effect of Big Data Analytics, Lean Six Sigma and Green Manufacturing on the environmental performance of manufacturing companies: The case of North Africa. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119903. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119903>.

Bordeleau, F.-E., Mosconi, E., & de Santa-Eulalia, L. A. (2020). Business intelligence and analytics value creation in Industry 4.0: a multiple case study in manufacturing medium enterprises. *Production Planning & Control*, 31(2-3), 173-185. doi:10.1080/09537287.2019.1631458

Brozzi, R., Forti, D., Rauch, E., & Matt, D. T. (2020). The Advantages of Industry 4.0 Applications for Sustainability: Results from a Sample of Manufacturing Companies. *Sustainability*, 12(9), 3647. <https://doi.org/10.3390/su12093647>.

Buddhan, A. R., Eswaran, S. P., Buddhan, D. E., & Sripurushottama, S. (2019). Even Driven Multimodal Augmented Reality based Command and Control Systems for Mining Industry. *Procedia Computer Science*, 151, 965-970. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.135>.

Burritt, R. L., Herzig, C., Schaltegger, S., & Viere, T. (2019). Diffusion of environmental management accounting for cleaner production: Evidence from some case studies. *Journal of Cleaner Production*, 224, 479-491.

Butturi, M. A., Lolli, F., Sellitto, M. A., Balugani, E., Gamberini, R., & Rimini, B.: Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. *Applied Energy*, 255, 113825. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113825>.

Davies, M. P. (2002). Tailings Impoundment Failures Are Geotechnical Engineers Listening?. *GEOTECHNICAL NEWS-VANCOUVER-*, 20(3), 31-36.

de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 273-286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>.

Dev, N. K., Shankar, R., & Qaiser, F. H. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 153. doi:10.1016/j.resconrec.2019.104583

Díaz-Chao, Á., Ficapal-Cusí, P., & Torrent-Sellens, J. (2020). Environmental assets, industry 4.0 technologies and firm performance in Spain: A dynamic

capabilities path to reward sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 125264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125264>.

Dong, L., Mingyue, R., & Guoying, M. (2017). Application of internet of things technology on predictive maintenance system of coal equipment. *Procedia engineering*, 174, 885-889. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.237.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4), 532-550. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>.

ENIT (2020). NR-12 - Safety at work in machinery and equipment. National School of Labor Inspection – ENIT. Regulatory Standards, Brasil. <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/safety-and-health-at-work/sst-menu/sst-standardization/sst-nr-Portuguese?view=default> (in Portuguese).

Erbay, H., & Yıldırım, N. (2018, August). Technology Selection for Digital Transformation: A Mixed Decision Making Model of AHP and QFD. In *The International Symposium for Production Research* (pp. 480-493). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92267-6\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92267-6_41).

Faller, C., & Feldmüller, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *Procedia Cirp*, 32, 88-91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.117>.

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122263

Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633-644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>.

Fonseca, B. (2019). Brazil registers more than three dam accidents per year. *Exame*. - DF (in Portuguese). <https://exame.com/brasil/brasil-registers-more-than-three-accidents-in-dams-per-year/>

Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>.

Freitas, C. M. D., Barcellos, C., Heller, L., & Luz, Z. M. P. D. (2019). Mining dam disasters: lessons from the past to reduce current and future risks. *Epidemiology and Health Services*, 28, e20180120. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100020>

Gavronski, I., Klassen, R. D., Vachon, S., & do Nascimento, L. F. M. (2012). A learning and knowledge approach to sustainable operations. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 183-192. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.037>.

Ghobakhloo, M. (2020a). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.

Ghobakhloo, M. (2020b). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384-2405. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>.

Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), 1-30. doi:10.1108/JMTM-11-2018-0417.

Goh, C. S., Chong, H.-Y., Jack, L., & Faris, A. F. M. (2020). Revisiting triple bottom line within the context of sustainable construction: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119884>.

Jang, H., & Topal, E. (2020). Transformation of the Australian mining industry and future prospects. *Mining Technology*, 129(3), 120-134. doi:10.1080/25726668.2020.1786298

Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337. doi:10.1080/00207543.2019.1630772

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 117805. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805>.

Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740015. <https://doi.org/10.1142/S1363919617400151>.

Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & Antunes Jr, J. A. V. (2019). Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0325>.

Kumar, R., Singh, S. P., & Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 204, 643-659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327>.

Lee, K., & Jung, H. (2019). Dynamic semantic network analysis for identifying the concept and scope of social sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1510-1524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.390>.

Liu, X., Liu, L. (2014). Design 'of Coal Mine Monitoring System Based on Internet of Things. Springer-Verlag. 472, 289–294. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45049-9\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45049-9_46). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45049-9\\_46](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45049-9_46).

Liu, Z., Jiang, Q., Zhang, Y., Li, T., & Zhang, H. C. (2016). Sustainability of 3D printing: a critical review and recommendations. In ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8618>.

Lööw, J., Abrahamsson, L., & Johansson, J. (2019). Mining 4.0—The impact of new technology from a work place perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(4), 701-707. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00104-9>.

Luino, F., & De Graff, J. V. (2012). The Stava mudflow of 19 July 1985 (Northern Italy): a disaster that effective regulation might have prevented. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 12(4). doi:10.5194/nhess-12-1029-2012.

Machado, C. G., Winroth, M. P., & Ribeiro da Silva, E. H. D. (2020). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1462-1484. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777>.

Mastos, T. D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinis, C., Gkortzis, D., . . . Tzovaras, D. (2020). Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. *Journal of Cleaner Production*, 269. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122377

Moldavska, A., & Welo, T. (2017). The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 744-755. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.006>

Nepsha, F., Belyaevsky, R., Efremenko, V., & Varnavskiy, K. (2019). Modern Problems of Increasing Coal Mines Power Supply Efficiency. In E3S Web of Conferences (Vol. 105, p. 03026). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503026>.

Niu, B., Mu, Z., Chen, L., & Lee, C. K. (2019). Coordinate the economic and environmental sustainability via procurement outsourcing in a co-opetitive supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 17-27.

Oliveira, C. M., Machado, C. M., Duarte, G. W., & Peterson, M. (2016). Beneficiation of pyrite from coal mining. *Journal of Cleaner Production*, 139, 821-827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.124>.

ONU. United Nations Organization. (1987). *The UN and the environment*. Rio de Janeiro. [https://unitednations.org/action/environment/\(in Portuguese\)](https://unitednations.org/action/environment/(in%20Portuguese)).

Prakash, V., k Sinha, S., Das, N. C., & Panigrahi, D. C. (2020). Sustainable mining metrics en route a coal mine case study. *Journal of Cleaner Production*, 122122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122122>.

Primi, A., & Toselli, M. (2020). A global perspective on industry 4.0 and development: new gaps or opportunities to leapfrog? *Journal of Economic Policy Reform*, 23(4), 371-389. doi:10.1080/17487870.2020.1727322

Ren, S., Zhang, Y., Liu, Y., Sakao, T., Huisingh, D., & Almeida, C. M. (2019). A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions. *Journal of cleaner production*, 210, 1343-1365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.025>.

Sanchez, F. A. C., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: a systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 121602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602>.

Sartal, A., Bellas, R., Mejías, A. M., & García-Collado, A. (2020). The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(5). doi:10.1177/1687814020925232.

Sharma, A., Gupta, S., & Sharma, A. (2017). IoT in Mining: A Review. *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System*, 6(2), 84-91.

Sharma, R., Jabbour, C. J. C., & Lopes de Sousa Jabbour, A. B. (2020). Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don't. *Journal of Enterprise Information Management*. doi:10.1108/JEIM-01-2020-0024.

Shou, Y., Shao, J., Lai, K.-h., Kang, M., & Park, Y. (2019). The impact of sustainability and operations orientations on sustainable supply management and the triple bottom line. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118280.

Silva, M. G., Muniz, A. R. C., Hoffmann, R., & Lisbôa, A. C. L. (2018). Impact of greenhouse gases on surface coal mining in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 193, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.076>.

Sonderegger, T., Dewulf, J., Fantke, P., de Souza, D. M., Pfister, S., Stoessel, F., ... & Hellweg, S. (2017). Towards harmonizing natural resources as an area of protection in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(12), 1912-1927. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1297-8>.

Tiwari, K., & Khan, M. S. (2020). Sustainability accounting and reporting in the Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 120783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120783>.

Tolmasquim, M. T. (2016). Thermoelectric energy: natural gas, biomass, coal, nuclear. Rio de Janeiro. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-73/Energia%20Termel%C3%A9trica%20-%20Online%2013maio2016.pdf> (accessed on 13 March 2020).

Tseng, M.-L., Tan, R. R., Chiu, A. S., Chien, C.-F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146-147. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.028>.

Veleva, V., & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of cleaner production*, 9(6), 519-549. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00010-5).

Vrhovnik, P., Dolenc, T., Serafimovski, T., Dolenc, M., & Rogan Šmuc, N. (2013). The occurrence of Heavy Metals and Metalloids in Surficial Lake Sediments before and after a Tailings Dam Failure. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5), 1525-1538.

Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M., & Vasilakos, A. V. (2016). Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 16(20), 7373-7380. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2565621.

WCA, 2019. World Coal Association. <https://www.worldcoal.org/coal/what-coal>.(Accessed 02 dezembro 2020).

Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, 254. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120112.

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2147-2152. DOI:10.1109/FSKD.2015.7382284.

## APPENDICES

### Appendix A - Staff interview guide

Items of Interest	Definition adopted and Reference	Interview script
Importance of Technology	The insertion of digital technologies allows greater flexibility, adaptability, and efficiency in the systems. The systems are autonomous and connected, allowing self-configuration. Faller e Feldmuller (2015); Marques et al. (2017); Barnewold (2019); Kerin e Pham (2019).	Questioning the organization's process
		Questioning the impact of technology or its lack on the interviewed company's production process
Learning and Management	The insertion of digital technologies allows a series of benefits for companies such as ease in adapting new products, reducing risk and failures, qualifying labor, accurate and real-time data. This information can be used for strategic planning and decision making. Zhou et al. (2015); Sousa Jabbour et al. (2018); Barnewold, (2019).	Understand the company's relationship with sustainable aspects
		Question the impact of technology or its lack on the environmental aspects of the interviewed company
Influenced Aspects	The incorporation of technologies in production processes directly contributes to improving product	Check if the company perceives learning opportunities with the use of technologies and how they are used.
		Check if the technologies provide data that assist in improving the process and how they are exploited.
		To which of the parameters does technology contribute: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quality</li> </ul>

quality, process efficiency, and safety and equipment maintenance. These technologies have a positive impact on the company's economy. Nepsha et al. (2019); Wan et al. (2016).

- Efficiency
- Security
- Maintenance
- Economy

Questioning whether the company is interested in modernizing the company that does not have technologies from industry 4.0

---

Source: the authors (2020)

**Appendix B - Client interview script**

Items of Interest	The Definition adopted and Reference	Interview script
Customer Perception	The introduction of industry 4.0 technologies contributes to improving the quality of the final product, more sustainable operations, better dimensioning of resources. Sharma et al. (2017); Keil et al. (2017); Sousa Jabbour et al. (2018).	What is the customer's perception of the product received What is the perception regarding delivery times What is the customer's perception of the reliability of deliveries
Improvement Opportunities	Technologies such as the internet of things, Big data Analytics, cloud computing, automation, provide the ability to connect between production chains to share relevant demands and information. Barnewold (2019); Kerin e Pham (2019); Zhou et al. (2015).	Questioning what else the customer would like to receive Questioning whether the customer sees any improvement to be made at his supplier Questioning whether the customer sees opportunities to take advantage of industry 4.0 technologies existing at their supplier

---

Source: the authors (2020)

**Appendix C - Profile of respondents**

Local	Occupation	Company Time
Unit 4.0	Production supervisor	1 year experience

---

Unit 4.0	Maintenance supervisor	2 years experience
Unit 4.0	Production and maintenance engineer	1 years experience
Unit 4.0	Production manager	1 years experience
Unit 4.0	Mining engineer	1 year experience
Unit 4.0	Thermoelectric customer 1	1 year experience
Unit 4.0	Thermoelectric client 2	1 year experience
Traditional unit	Director of both units	30 years of experience
Traditional unit	Geologist from both units	25 years of experience
Traditional unit	Plant production supervisor	15 years of experience
Traditional unit	Maintenance supervisor	15 years of experience
Traditional unit	Ceramic customer	5 years experience
Traditional unit	Cement customer	7 years experience

---

Source: the authors (2020)