

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO SARTORI

**PERCEPÇÕES E BENEFÍCIOS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA
GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE ATIVOS INDUSTRIAIS
NO ÂMBITO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

CURITIBA

2023

FERNANDO SARTORI

**PERCEPÇÕES E BENEFÍCIOS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA
GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE ATIVOS INDUSTRIAIS
NO ÂMBITO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

**Perceptions and Benefits of Modeling and Simulation for Industrial Asset
Lifecycle Management in the Context of Industry 4.0 in Brazil**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração pelo Programa de pós-graduação em Administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Jurandir Peinado

CURITIBA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



FERNANDO SARTORI

PERCEPÇÕES E BENEFÍCIOS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE ATIVOS INDUSTRIAIS NO ÂMBITO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Organizações E Tecnologia.

Data de aprovação: 02 de Outubro de 2023

Dr. Jurandir Peinado, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Francisco Rodrigues Lima Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Jose Roberto Frega, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 07/10/2023.

Dedico este trabalho à minha esposa, pelos
momentos mágicos de apoio.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jurandir Peinado, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Eu denomino meu campo de Gestão do Conhecimento, mas você não pode gerenciar conhecimento. Ninguém pode. O que você pode fazer, o que a empresa pode fazer é gerenciar o ambiente que otimize o conhecimento.
(DAVENPORT; PRUSAK, 2012).

RESUMO

Este estudo exploratório emprega uma pesquisa por meio de uma *Survey* para analisar a percepção de profissionais sobre Modelagem e Simulação (M&S) na Indústria 4.0 e suas aplicações na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA). Utilizando um referencial teórico como base conceitual, a pesquisa desenvolve um questionário estruturado para coletar dados de campo. O objetivo geral é analisar a percepção dos profissionais sobre os benefícios da M&S na gestão de ativos industriais, enquanto os objetivos específicos incluem a pesquisa de referências teóricas, a criação do questionário, a coleta, validação e avaliação dos dados, e a identificação do nível de conhecimento e prática dos respondentes. O procedimento metodológico detalhado destaca a confiabilidade dos dados e os métodos estatísticos utilizados na análise, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4 com uma análise crítica respaldada por testes de confiabilidade, Wilcoxon, Kruskal-Wallis e Friedman explanados no Capítulo 3. As Considerações Finais buscam sintetizar os achados, proporcionando insights valiosos para a gestão aprimorada do ciclo de vida de ativos na contemporaneidade. Este trabalho inovador contribui significativamente para o campo da gestão de ativos na era da Indústria 4.0, alinhando teoria e prática. Os resultados destacam a aceitação e valorização da M&S, reforçando sua relevância para otimizar a eficiência operacional e a tomada de decisões estratégicas. A diversidade nas percepções sobre a importância das tecnologias da Indústria 4.0 ressalta a complexidade da gestão de ativos, enquanto a análise das normas de gestão revela oportunidades para futuras pesquisas e estratégias informadas. Em síntese, este abstract oferece uma visão abrangente das percepções profissionais sobre M&S na gestão de ativos industriais na Indústria 4.0 no Brasil, enriquecendo a compreensão e fornecendo insights valiosos para pesquisas e práticas futuras.

Palavras-chave: Modelagem e Simulação; Indústria 4.0; Gestão do Ciclo de Vida de Ativos; Percepção Profissional.

ABSTRACT

This exploratory study employs a survey to analyze professionals' perceptions of Modeling and Simulation (M&S) in Industry 4.0 and its applications in Asset Lifecycle Management (ALCM). Utilizing a theoretical framework as a conceptual foundation, the research develops a structured questionnaire for field data collection. The overall objective is to examine professionals' perceptions of the benefits of M&S in industrial asset management, with specific goals including theoretical reference research, questionnaire creation, field data collection, validation, and evaluation, as well as identifying respondents' knowledge and practices. The detailed methodological procedure emphasizes data reliability and statistical methods, with results presented in Chapter 4, including a critical analysis supported by reliability tests, Wilcoxon, Kruskal-Wallis, and Friedman tests explained in Chapter 3. The Conclusions aim to synthesize the findings, providing valuable insights for enhanced asset lifecycle management in the contemporary context. This innovative work significantly contributes to the field of asset management in the Industry 4.0 era, aligning theory and practice. The results underscore the acceptance and appreciation of M&S, reinforcing its relevance for optimizing operational efficiency and strategic decision-making. The diversity in perceptions regarding the importance of Industry 4.0 technologies highlights the complexity of asset management, while the analysis of management standards reveals opportunities for future research and informed strategies. In summary, this abstract provides a comprehensive overview of professionals' perceptions of M&S in industrial asset management in the Industry 4.0 era in Brazil, enriching understanding and offering valuable insights for future research and practices. Keywords: Modeling and Simulation; Industry 4.0; Asset Lifecycle Management; Professional Perception.

Keywords: Modeling and Simulation; Industry 4.0; Asset Lifecycle Management; Professional Perception.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de Vida Fabril e Etapas da GCVA	19
Figura 2 - Modelo Conceitual PAS55 Landscape	22
Figura 3 - Alpha de Cronbach e Bootstrap	52
Figura 4 - Alpfa de Cronbach - Software R	52
Gráfico 1 - Distribuição de Dados (P4)	58
Gráfico 2 - Distribuição de Dados (P5)	58
Gráfico 3 - Variável 1 - Categoria Nominal - Setor	62
Gráfico 4 - Variável 2 - Categoria Nominal - Porte	63
Gráfico 5 - Variável 3 - Categoria Nominal - Cargo	64
Gráfico 6 - Variável 5 - Categoria Nominal - P1	65
Gráfico 7 - Variável 6 - Categoria Nominal - P2	66
Gráfico 8 - Variável 7 - Nominal - P7	67
Gráfico 9 - Grupo 1 - % de Aplicação M&S por etapa GCVA (Quadro 11)	68
Gráfico 10 - % de Benefícios M&S por etapa GCVA (Quadro 12)	72
Gráfico 11 - % de Utilização de Normas na GCVA	74
Quadro 1 - Panorama de Perspectivas à GCVA	23
Quadro 2 - Categoria Software (S/W) e Aplicação	33
Quadro 3 - Benefícios do Digital Twin (DT) na GCVA	34
Quadro 4 - DT na M&S - Benefícios à GCVA e Dificuldades de Implementação	35
Quadro 5 - Testes de Ativos por M&S aplicados na GCVA	35
Quadro 6 - Princípios de Design para Sistemas Fabris e benefícios da M&S ...	40
Quadro 7 - Questionário Estruturado para Survey	46
Quadro 8 - Resultados Intrinsecos na Metodologia Bootstrap	54
Quadro 9 - Resultados do Teste Wilcoxon Signed-Rank	56
Quadro 10 - Variáveis aplicadas no Teste de Kruskal-Wallis	60
Quadro 11 - Grupo 1 - Utilização de M&S na GCVA	68
Quadro 12 - Grupo 2 – Benefícios da M&S na GCVA	70
Quadro 13 - Utilização de Normas na GCVA	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral	17
1.2	Objetivos específicos.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais.....	18
2.2	GFMAM – Uma Referência Estrutural para Gestão de Ativos	20
2.3	Modelagem e Simulação na Indústria 4.0 – Perspectivas à GCVA ..	32
2.4	Tecnologias da Indústria 4.0 na Modelagem e Simulação	37
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	44
4	ANÁLISE DOS DADOS	51
4.1	Confiabilidade dos Dados – Cronbach & Bootstrap	51
4.2	Distinção dos Dados	54
4.2.1	Teste de Wilcoxon Signed-Rank	55
4.2.2	Teste de Kruskal-Wallis.....	59
4.2.3	Teste de Friedman	60
5	RESULTADOS DA PESQUISA	62
5.1	Considerações Finais	76
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Indústria 4.0 tem firmado sua presença como um paradigma revolucionário na gestão e operação de ativos industriais, prometendo uma transformação radical na maneira como as organizações abordam a manutenção e eficiência de seus ativos (AKPAN *et al.*, 2018). Nesse contexto, a Modelagem e Simulação (M&S) emergem como ferramentas cruciais na gestão do ciclo de vida de ativos industriais, proporcionando oportunidades para otimizar processos, aprimorar a tomada de decisões e reduzir os custos operacionais (WEERASEKARA *et al.*, 2022).

Esta pesquisa é exploratória e utilizará uma *Survey*, um referencial teórico será a base conceitual e contextual para um questionário estruturado, destinado a coletar dados de campo. O propósito fundamental desse questionário é estimular a percepção de profissionais sobre a M&S na Indústria 4.0 e suas aplicações na GCVA. No entanto, com o intuito de proporcionar uma compreensão preliminar ao leitor, alguns conceitos-chave são apresentados antecipadamente.

Ativos Industriais são bens físicos utilizados na produção de bens ou serviços, tais como: máquinas, equipamentos, instalações, veículos e outros bens que são necessários para o funcionamento de uma empresa; a GCVA é um conjunto de práticas e processos que visa otimizar o uso e o desempenho de ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida (KOMONEN *et al.*, 2006).

Weerasekara *et al.* (2022) definem a GCVA como uma integração estratégica de processos tais como: financeiros, de gestão, de engenharia, de operações e de manutenção; contudo, para Dinçer *et al.* (2018), a GCVA também se integra aos aspectos ambientais, sociais e de governança. As tecnologias da Indústria 4.0 corroboram à sustentabilidade industrial na redução do consumo de recursos, na melhora da eficiência, no desenvolvimento de novas tecnologias e no monitoramento e controle necessários à GCVA (EL-AKRUTI *et al.*, 2013).

Wiese (2021) afirma que os objetivos da GCVA podem variar dependendo das necessidades e metas específicas de uma organização, mas alguns objetivos comuns incluem: a otimização da utilização de ativos, a redução de custos relacionados a ativos, a melhoria da confiabilidade dos ativos, o aprimoramento da segurança de ativos e, o aumento da visibilidade e rastreabilidade dos ativos.

Na Indústria 4.0, o uso de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e Inteligência Artificial (IA) facilita a GCVA permitindo que as empresas coletem

e analisem dados em tempo real sobre o uso e desempenho dos ativos; isso habilita as empresas tomarem decisões mais informadas, otimizando o uso dos ativos em seu ciclo de vida, maximizando seu valor e minimizando custos (Akpan *et al.*, 2018).

A M&S são técnicas que permitem representar e prever o comportamento de sistemas complexos de maneira mais precisa e eficiente, e quando associadas as tecnologias da Indústria 4.0 podem suportar cenários e decisões com maior acuracidade (VAIDYA *et al.*, 2018). Para De Paula Ferreira *et al.* (2020), os principais objetivos dos estudos acadêmicos sobre Modelagem e Simulação no âmbito da Indústria 4.0 são a prescrição e a previsão para um modo aprimorado de operação.

M&S são conceitos estreitamente relacionados, mas possuem algumas diferenças distintas; a Modelagem refere-se ao processo de criação de uma representação ou aproximação de um sistema ou processo usando ferramentas matemáticas ou computacionais; por outro lado, a Simulação é um tipo específico de modelagem que envolve a criação de uma representação virtual de um sistema ou processo e, em seguida, a execução de experimentos ou cenários nesse modelo para ver como isso se comporta (TARANDACH *et al.*, 2020).

A Modelagem para a GCVA no âmbito da Indústria 4.0 geralmente envolve o uso de análises avançadas de dados para extrair insights e otimizar estratégias de gerenciamento de ativos; isso pode incluir o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para analisar dados de sensores e outras fontes para prever a probabilidade de falhas de ativos e otimizar os cronogramas de manutenção, ou o uso de análises preditivas para otimizar o uso de ativos e minimizar o tempo de inatividade (WEERASEKARA *et al.*, 2022).

A Simulação para a GCVA pode ser utilizada para avaliar diferentes cenários de uso e condições operacionais, bem como para testar diferentes estratégias de manutenção e reparação, isso permite que as empresas tomem decisões informadas sobre como operar e manter os seus ativos de maneira mais eficiente e eficaz; além disso, a simulação também pode ser utilizada para ajudar a planejar a transição para novos ativos ou tecnologias, bem como para avaliar o impacto de mudanças nas condições operacionais ou nas exigências do produto (MA *et al.*, 2022).

No cenário da GCVA, a M&S desempenham um papel crucial na orientação das tomadas de decisão. Macchi *et al.* (2018) conduziram uma pesquisa exploratória que elucida a convergência das necessidades de apoio à decisão na GCVA com o potencial oferecido pela M&S. Essa pesquisa destaca a importância de utilizar a M&S

para prever o desempenho e o comportamento a longo prazo dos ativos, além de garantir a continuidade digital dos dados ao longo de seu ciclo de vida.

Uma das contribuições notáveis do estudo de Macchi *et al.* (2018) é a sugestão de que pesquisas futuras devem ser direcionadas à classificação das tecnologias essenciais na M&S. Além disso, os autores enfatizam a necessidade de novas abordagens metodológicas para desenvolver modelos de M&S destinados a apoiar a tomada de decisões em relação a ativos. Esse avanço metodológico é fundamental para a criação de novas ferramentas e sistemas que capacitem gestores e engenheiros na administração eficiente de ativos.

Em última análise, as descobertas de Macchi *et al.* (2018) ressaltam a importância crescente da M&S na gestão de ativos, não apenas como uma ferramenta de previsão de desempenho, mas também como um elemento essencial na formulação de estratégias de manutenção e apoio à tomada de decisões em todas as fases do ciclo de vida de um sistema.

Em consonância com a visão de Macchi *et al.* (2018), Kambler *et al.* (2022) apresentaram a tecnologia da Indústria 4.0, o *Digital Twin* (DT), como um avanço notável na integração entre sistemas virtuais e físicos, o que suporta robustamente as possíveis análises na M&S.

Para os autores, a abordagem *Digital Twin* visa a criação de sistemas de fabricação inteligentes e sustentáveis, almejando aprimorar a qualidade, reduzir o tempo de produção e personalizar produtos. Ao integrar informações em tempo real ao longo do ciclo de vida do produto, o DT se alinha com as premissas metodológicas previamente destacadas por Macchi *et al.* (2018), expandindo as fronteiras da gestão de ativos e tomada de decisões estratégicas.

Kambler *et al.* (2022) conduziram uma revisão sistemática abordando várias dimensões do DT, sugerindo que avanços tecnológicos, como a Internet das Coisas (IoT) e Simulação em Nuvem (SeN), têm ampliado o potencial das aplicações do DT na GCVA. A pesquisa destaca a crescente importância do DT nas operações de produtos, ativos e infraestrutura, devido à capacidade de prever falhas operacionais, aprimorar a qualidade e reduzir o tempo de inatividade. Componentes essenciais do DT incluem IoT, Machine Learning, Inteligência Artificial e SeN na Modelagem e Simulação (M&S) da GCVA.

No entanto, apesar do potencial significativo do paradigma do DT, Kambler *et al.* (2022) alertam para a falta de descrições estruturais e funcionais bem definidas, o

que pode limitar a extensão em que essa abordagem tecnológica pode ser vantajosa para o ambiente construído na M&S como um todo. Portanto, a clareza conceitual e a padronização desempenham um papel crucial na realização do potencial completo do DT na GCVA.

Neste contexto, as conclusões de Qamsane *et al.* (2022) solidificam ainda mais o valor do paradigma DT na GCVA. A pesquisa conduzida pelos autores aborda a implementação do conceito de DT na supervisão do desempenho de ativos industriais, com foco na oferta de soluções de manutenção preditiva, um componente vital na GCVA.

Além disso, os autores fornecem uma análise detalhada da aplicação de M&S baseada em dados provenientes de IoT e outras interconexões cibernéticas em um cenário de processo de fabricação; e ainda destacam que essa abordagem permite o desenvolvimento e a avaliação de novas tecnologias sem causar impactos na produção e sem a necessidade de aportes significativos em pesquisa e desenvolvimento. Portanto, a pesquisa de Qamsane *et al.* (2022) reforça a promissora integração entre DT, M&S, IoT e manutenção preditiva, contribuindo para aprimorar a GCVA de maneira abrangente.

Em suma, essa pesquisa que visa compreender o impacto da Modelagem e Simulação na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos no contexto da Indústria 4.0, se revela de extrema importância. A coleta de dados provenientes de profissionais da indústria e a avaliação da percepção sobre o nível de inteligência proporcionado ao contexto da GCVA são componentes fundamentais deste estudo.

Os dados de campo obtidos não apenas sustentarão as justificativas práticas nas considerações finais, mas também orientarão investigações futuras. Essa pesquisa busca responder à pergunta central que direciona esse trabalho: "Quais são os benefícios da Modelagem e Simulação na GCVA na Indústria 4.0?". Portanto, as conclusões deste estudo prometem contribuir significativamente para o entendimento e a otimização da GCVA em um cenário de rápido avanço tecnológico.

No encerramento desta Introdução, delinea-se o objetivo geral e específicos que nortearam essa pesquisa, concentrando-se na compreensão da gestão eficaz de ativos e nas implicações da Indústria 4.0, particularmente na utilização da modelagem e simulação (M&S). A seguir, no segundo Capítulo, vislumbra-se a gestão do ciclo de vida de ativos industriais (GCVA), respaldada por pesquisadores de referência, nisso,

explorara-se a estrutura proporcionada pelo GFMAM, assim como as perspectivas da Modelagem e Simulação na era da Indústria 4.0.

O Procedimento Metodológico adotado será cuidadosamente delineado no Capítulo 3, destacando a confiabilidade dos dados e os métodos estatísticos empregados na análise. Os Resultados da Pesquisa serão apresentados nos Capítulo 4, com uma prévia análise crítica respaldada por testes de confiabilidade, Wilcoxon, Kruskal-Wallis e Friedman explanados no Capítulo 3. Ao finalizar, as Considerações Finais a respeito dos Resultados da Pesquisa objetivam proporcionar uma síntese dos achados, em seguida a conclusão, onde a interseção entre teoria e dados revelou *insights* valiosos para uma gestão mais aprimorada do ciclo de vida de ativos na contemporaneidade. Este trabalho buscou contribuir significativamente para o campo da gestão de ativos na era da Indústria 4.0, alinhando teoria e prática de maneira inovadora e esclarecedora.

1.1 Objetivo geral

Analisar a percepção de profissionais sobre os benefícios da Modelagem e Simulação na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais.

1.2 Objetivos específicos

Pesquisar referências teóricas.

Criar um questionário estruturado.

Coletar, validar e avaliar dados de campo.

Identificar o nível de conhecimento e prática dos respondentes sobre o tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste referencial teórico é fornecer contexto e fundamentação à pesquisa, apresentando teorias e conceitos relevantes para a temática em análise, isso visa proporcionar uma compreensão completa do problema e identificar áreas de conhecimento que precisam ser esclarecidas. Conforme sugerido por Bell *et al.* (2022), uma base teórica serve para apoiar a abordagem da pesquisa e estabelecer uma base sólida para os resultados e conclusões da dissertação.

Nesse contexto, quatro tópicos interligados se destacam, cada um desempenhando um papel crucial na compreensão deste estudo. Inicialmente, o primeiro tópico explora a "Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais", examinando cuidadosamente suas implicações estratégicas e operacionais; o segundo tópico introduz um modelo de referência para sua estruturação. Esse enfoque administrativo está alinhado com as ideias de Kambler *et al.* (2022), que destacam a importância de descrições estruturais e funcionais bem delineadas para conferir relevância à Modelagem e Simulação (M&S) no contexto da Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA).

A seguir, adentra-se com profundidade na M&S aplicadas à GCVA, evidenciando a função proeminente que tais ferramentas desempenham ao facultar análises abrangentes e decisivas. Finalmente, nesse contexto, o quarto tópico lança um olhar sobre as Tecnologias da Indústria 4.0; o foco recai sobre as inovações tecnológicas que estão a revolucionar o *modus operandi* das organizações na gestão de seus ativos industriais.

2.1 Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais

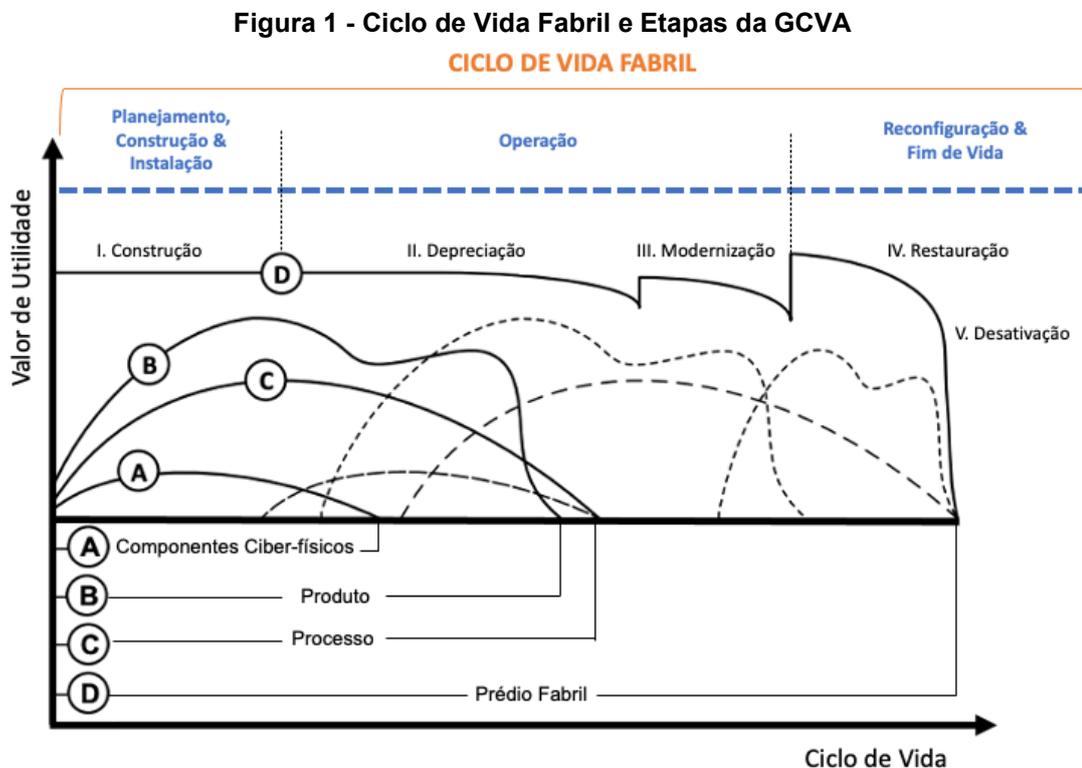
De acordo com Roda *et al.* (2016), a Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA) é o processo de determinar quais ativos uma empresa precisa para alcançar seus objetivos e gerenciá-los em todo o ciclo de vida; os fundamentos da tomada de decisão na GCVA incluem objetivos e desempenhos de longo prazo, uma visão holística do sistema, incertezas no alcance de objetivos e foco em dados e informações dos ativos; essa pesquisa concentra-se em ativos industriais e utiliza a Indústria 4.0 como contexto tecnológico.

Fábricas são sistemas complexos compostos por ativos que possuem ciclos de vida interdependentes e sobrepostos; a heterogeneidade desses ciclos de vida

pode dificultar a análise do ciclo de vida fabril e precisam ser abordados de maneira estratégica e cuidadosa por uma GCVA (DÉR *et al.*, 2022).

A Indústria 4.0 oferta o uso de ciberconexões, componentes Ciber-físicos tais como sensores, redes de informática e algoritmos, que coletam dados sobre a performance das máquinas, processos, prédio fabril e sua infraestrutura, bem como dos produtos industrializados; isso permite otimizar o ciclo de vida e aumentar a eficiência do sistema fabril (NIELSEN *et al.*, 2016).

De acordo com Nielsen *et al.* (2016), o Ciclo de Vida Fabril pode ser dividido em três etapas: planejamento e construção, operação e reconfiguração, e fim de vida; a **Figura 1** é uma representação qualitativa que combina as curvas de ciclo de vida dos principais elementos industriais para a GCVA, numa hierarquia estruturada, demonstrando como essas três etapas emergem disso (WIENDAHL *et al.*, 2015).



Fonte: Inspirado em Nielsen *et al.* (2016)

Para Dér *et al.* (2022), a evolução tecnológica dos componentes Ciber-físicos (A) pode aumentar a eficiência do sistema fabril tanto quanto sua inovação, mas isso pode gerar também conflitos à GCVA; isso ocorre porque seu ciclo de vida tende a

ser mais curto e dinâmico em comparação com elementos exclusivamente físicos, como o Prédio Fabril (D).

De acordo com Nielsen *et al.* (2016), o ciclo de vida do Produto (B) é curto devido à constante necessidade de mudanças para atender às demandas do mercado comercial; já o ciclo de vida do Processo (C) é determinado por mudanças tecnológicas e sua eficiência, e geralmente é mais longo que o ciclo de vida do Produto; isso é aplicado a várias gerações de Produtos e tem um valor de depreciação elevado. O ciclo de vida do Prédio Fabril (D) é composto pela estrutura do prédio e pelos serviços técnicos de construção, ambos os ciclos são geralmente mais longos do que os ciclos de Processo e Produto.

Nesse contexto, Wiendahl *et al.* (2015) deduzem que a GCVA tem a missão de projetar e administrar os subsistemas para serem adaptáveis e harmonizados temporalmente com o ciclo de vida da fábrica como um todo.

O ciclo de vida fabril é complexo e pode ter custos variáveis de acordo com sua configuração; segundo Hauschild (2020), é importante criar uma base de dados qualitativa e quantitativa para auxiliar na tomada de decisões sobre *trade-offs* necessários para atingir os objetivos. El-Akruti *et al.* (2013) ressaltam a importância de levar em conta o nível hierárquico de controle do ativo ao tomar decisões de gerenciamento, para garantir que medidas apropriadas sejam tomadas em todos os níveis da empresa.

2.2 GFMAM – Uma Referência Estrutural para Gestão de Ativos

Com o objetivo de estabelecer uma estrutura de trabalho para a Gestão de Ciclo de Vida de Ativos (GCVA), o **Global Forum on Maintenance and Asset Management** (GFMAM) desempenha um papel fundamental como uma organização internacional dedicada à promoção da troca de conhecimento e das melhores práticas nas áreas de manutenção e gestão de ativos. Fundada em 2002 e com sede na Suécia, o GFMAM oferece um modelo de GCVA denominado “**PAS 55 Landscape**”, que mantém uma associação direta com as normas ISO 55000:2014 (GFMAM, 2021).

A ISO 55000 é composta por três partes principais: a ISO 55000, que fornece uma visão geral do sistema de gerenciamento de ativos; a ISO 55001, que especifica os requisitos para um sistema de gerenciamento de ativos; e a ISO 55002, que fornece orientações sobre como implementar um sistema de gerenciamento de ativos (ISO, 2014).

O modelo “PAS 55 *Landscape*” foi desenvolvido pela GFMAM, que é uma organização internacional dedicada ao avanço da gestão de ativos e manutenção; a **PAS 55**, que significa **Publicly Available Specification 55**, era um padrão britânico que estabelecia diretrizes para a gestão de ativos físicos em organizações (CAMPOS *et al.*, 2011).

No entanto, a “PAS 55 *Landscape*” é uma versão mais recente e abrangente do padrão PAS 55, oferece orientações detalhadas para a gestão de ativos em diversas organizações e setores, incluindo empresas de energia, transporte, manufatura e muitos outros. O modelo é projetado para suportar as organizações a otimizar o desempenho de seus ativos físicos, minimizar riscos e garantir a conformidade com regulamentações relevantes (HODKIEWICZ *et al.*, 2015).

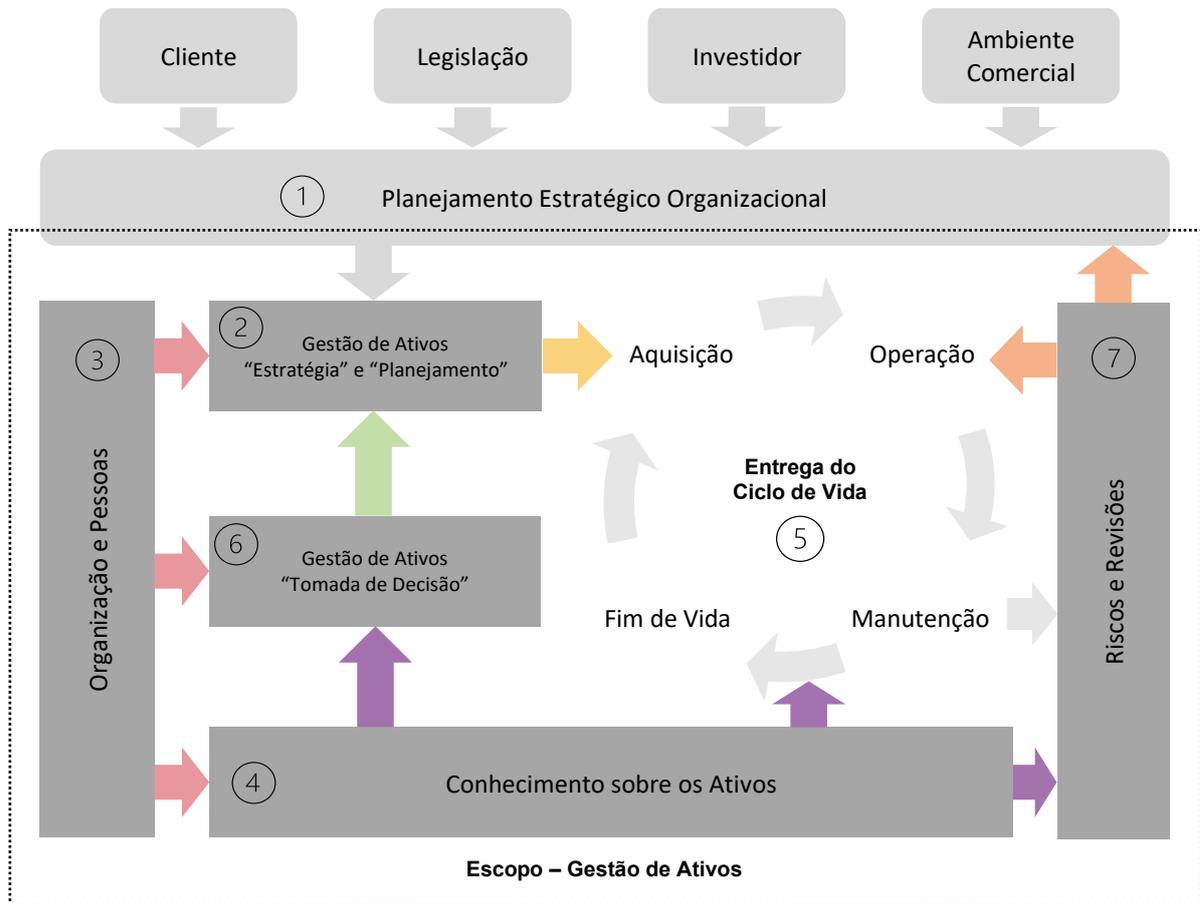
O modelo criado pela GFMAM inclui princípios, práticas e processos que abrangem todo o ciclo de vida dos ativos, desde a aquisição até a disposição; isso promove a integração de estratégias de gestão de ativos com os objetivos organizacionais e considera fatores como custo, risco e desempenho ao longo do tempo (GFMAM, 2021).

A sinergia entre ISO 55000 e PAS 55 reside em sua ênfase compartilhada em melhorar o desempenho dos ativos físicos através de um gerenciamento eficiente de ativos e, enfatizam a importância de estabelecer uma política e uma estratégia de gerenciamento de ativos claras e de revisar e melhorar regularmente os processos de gerenciamento de ativos (HODKIEWICZ *et al.*, 2015).

É importante enfatizar que a PAS 55 *Landscape* é uma referência valiosa para profissionais e organizações que desejam melhorar a gestão de seus ativos físicos. No entanto, a adoção dessas diretrizes pode variar de acordo com as necessidades específicas de cada organização e setor; todavia, a **Figura 2** ilustra o conceito desse modelo.

O “**Planejamento Estratégico Operacional**” (1) é o processo de alinhamento da visão do cliente, do cumprimento de leis, do interesse do investidor e das condições do ambiente comercial com a Gestão do Ativo, Estratégia e Planejamento (GFMAM, 2021). De acordo com Hodkiewicz *et al.* (2015), a ISO 55000 separa o Planejamento Estratégico Operacional da Gestão de Ativos; enquanto na PAS 55 *Landscape* essa delimitação é menos clara, na ISO 55000 tem como objetivo alinhar-se ao planejamento estratégico da organização e focar a GCVA na execução disso.

Figura 2 - Modelo Conceitual PAS55 Landscape



Fonte: Inspirado em GFMAM (2019)

A política de **“Gestão de Ativos” (2)**, estabelecida na Cláusula 5.2 da ISO 55001, é um conjunto de princípios e requisitos obrigatórios consistentes com o plano organizacional/corporativo, que fornece uma estrutura para o desenvolvimento e implementação do plano estratégico de gestão de ativos e o estabelecimento de objetivos de gestão de ativos; a PAS 55 *Landscape* é um padrão mais abrangente, fornecendo orientações detalhadas sobre o ciclo de vida completo dos ativos físicos, incluindo a identificação de ativos críticos, o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de ativos e a medição do desempenho dos ativos (GFMAM, 2021).

Tradicionalmente, as métricas de desempenho financeiro são as únicas métricas usadas na GCVA, posteriormente, destaca-se a importância das métricas de desempenho multidimensionais e incluem-se métricas técnicas, operacionais e organizacionais (RODA *et al.*, 2015). Mollentze *et al.* (2007) propõem verificar os resultados operacionais relacionados a: gestão estratégica, tática de manutenção,

gestão de materiais, recursos humanos, melhoria contínua, medição de desempenho, informações do sistema e gestão do trabalho.

Campbell *et al.* (2010) possuem uma visão diretamente operacional e relacionam indicadores diretos à operação do ativo - confiabilidade, desempenho, custo de manutenção e gastos com peças de reposição.

Para Schuman *et al.* (2005), monitorar os custos na GCVA é sobre ter medidas de desempenho para avaliar a relação custo-benefício de cada ativo por sua performance operacional; Parida *et al.* (2007) complementam que se deve agregar os custos das atividades da GCVA.

Para Attwater *et al.* (2014), a melhoria contínua na GCVA requer um sistema de medição robusto com indicadores e ações corretivas àqueles elementos que não estão funcionando como planejado.

No **Quadro 1**, os autores propõem um Panorama de Perspectivas à GCVA com suas Atividades, Entregas e, a relação disto com algumas métricas de Performance no Negócio.

Quadro 1 - Panorama de Perspectivas à GCVA

continua

Perspectivas GCVA	Atividades	Entregas	Métricas de Performance no Negócio
Planejamento GCVA	Planejar Estratégia e Política GA.	Escopo de ativos, estratégia de planejamento de ativos, política de metas de gerenciamento e regulamentos das atividades GA.	Custo, Confiabilidade, Criação de Valor e Satisfação do Cliente.
	Analisar as demandas técnicas de processo e volume de trabalho.	Projeto da capacidade do ativo e sua instalação física.	Custo, Confiabilidade, Capacidade e Criação de Valor.
	Desenvolver o Plano Estratégico GA,	Integração de sistemas e alocação de ativos, planejar atribuição de trabalho e metas específicas.	OEE, Custo, Confiabilidade e Criação de Valor Total.
	Analisar as Criticidades.	Priorização dos ativos de acordo com as necessidades GA.	Custo e Confiabilidade.
	Justificar as decisões de capital.	Otimização do Custo de Capital.	Custo.

Quadro 2 - Panorama de Perspectivas à GCVA

continuação

Perspectivas GCVA	Atividades	Entregas	Métricas de Performance no Negócio
	Planejar contingências.	Preparar contingências alternativas e soluções de reserva, garantir a prontidão para os riscos inesperados.	Custo, Confiabilidade, Pontualidade na Entrega, Relacionamento com o Cliente.
Implementação GCVA	Adquirir Ativos.	Base de ativos eficaz que atende aos requisitos.	Custo e Tempo.
	Responder a Incidentes.	Recuperação da Criação de Valor.	Custo, Confiabilidade e Relação com o Cliente.
	Operar Ativos.	Utilização dos Ativos para Criação de Valor.	Vendas e Retorno sobre o Investimento.
	Manter Ativos.	Estratégia de Manutenção para Confiabilidade dos Ativos.	Confiabilidade, OEE e Custo.
	Disponibilizar Ativos.	Regenerar/vender/substituir ativos após o envelhecimento ou incapacidade técnica.	Custo.
Monitoramento & Revisão GCVA	Valor de Ativos.	Registrar e auditar dados financeiros das atividades GA.	N/A
	Monitorar a Condição do Ativo.	Registrar e inspecionar a integridade e o status de operação dos ativos.	Confiabilidade e Custo.
	Conduzir Análises de Causas Raízes.	Investigue a causa raiz dos ativos e a lacuna de desempenho GA.	Confiabilidade, Criação de Valor e Custo.
	Desenvolver um Plano de Melhoria Contínua.	Planejar Melhorias específicas para abordar qualquer lacuna de desempenho GA.	N/A
Habilitadores	Gerenciar um Sistema de Informações sobre os Ativos.	Coletar/Processar/Analisar as informações relativas aos ativos.	Custo.
	Definir & Gerenciar Competências.	Fornecer orientação sobre as competências necessárias para funções de gerenciamento de ativos e treinamento suficiente para a equipe.	Incidentes e Confiabilidade,

Fonte: Attwater et al. (2014)

A “Estratégia” de Gestão de Ativos, estabelecida nas Cláusulas 4.4 e 6.2 da ISO 55001, é o plano estratégico para a gestão dos ativos de uma organização, que será utilizado para alcançar os objetivos organizacionais/corporativos (GFMAM, 2021). Interim à “Estratégia” há a “Análise” e “Atendimento” da demanda; a análise pode ser seguida pela Cláusula 4.2 da ISO 55001 a qual trata dos processos que uma organização utiliza para avaliar e influenciar a demanda e o nível de serviço dos ativos de uma organização; já o atendimento, estabelecido na Cláusula 4.4 da ISO 55001,

refere-se aos processos que uma organização utiliza para realizar o planejamento estratégico de gerenciamento de ativos (GFMAM, 2021).

Por fim, o “Planejamento” da Gestão de Ativos, descrito na Cláusula 6.2.2 da ISO 55001, são as atividades para desenvolver os planos de gestão de ativos que especificam as atividades e recursos detalhados, responsabilidades e prazos e riscos para a realização dos objetivos de gestão de ativos (GFMAM, 2021).

Para GFMAM (2019), a “**Organização e as Pessoas**” (3) são importantes para a gestão de ativos; a liderança eficaz da organização é necessária para promover uma abordagem de gestão de ativos de toda a vida e cumprir os objetivos estabelecidos (Cláusula 5.1, ISO 55001); nesse contexto, a PAS 55 *Landscape* desdobra alguns aspectos a serem desenvolvidos – estrutura organizacional, cultura organizacional, competências da equipe, gestão de compras e cadeia de suprimentos.

O GFMAM destaca a importância da “Estrutura Organizacional” para entregar os objetivos de gestão de ativos (Cláusula 5.3, ISO 55001) e a “Cultura Organizacional” que influencia a capacidade da organização alcançar isso (Cláusula 4.1, ISO 55001); portanto, é fundamental gerenciar as “Competências da Equipe” para garantir o sucesso na gestão de ativos (Cláusula 7.2, ISO 55001) (GFMAM, 2021).

A “Gestão de Compras” e “Cadeia de Suprimentos” asseguram que as atividades terceirizadas estejam alinhadas com os objetivos de gestão de ativos da organização e permitem monitorar os resultados dessas atividades (Normas: ISO 28000/1/2/3/4, ISO 17365, ISO 17364) (GFMAM, 2021).

O “**Conhecimento sobre os Ativos**” (4) é fundamental para a gestão de ativos e uma “Estratégia de Informações” de ativos é crucial para coletar, gerenciar e relatar as informações necessárias para apoiar a implementação da estratégia de gestão de ativos da organização (Cláusulas 7.5 da ISO 55001 e ISO 27000 1/2); além disso, os “Padrões de Informações” de ativos especificam como armazenar e relatar de forma consistente as informações sobre os ativos, conforme mencionado nas Cláusulas 7.5 da ISO 55001 e ISO 27000 1/2 (GFMAM, 2021).

A ISO 55001 é mais exigente do que a PAS 55 *Landscape* em termos de “Conhecimento sobre os Ativos”; enquanto a PAS 55 *Landscape* se concentra em identificar requisitos de competência e fornecer treinamento, a ISO 55001 também exige garantias de que as pessoas sejam competentes e que a eficácia da educação/treinamento/experiência seja avaliada em relação à competência necessária; isso implica a necessidade de programas de avaliação de competência; a

ISO 55001 também considera que todo terceiro é responsável por sua própria competência para prestar serviços, enquanto a PAS 55 *Landscape* assume que o contratante é responsável por construir a competência do terceiro (HODKIEWICZ *et al.*, 2015).

O GFMAM enfatiza que, o “Gerenciamento de Informações” inclui os dados e informações armazenados nos sistemas de informações de ativos da organização e os processos para gerenciá-los e governá-los (Cláusula 7.5, ISO 55001; ISO 27000 1/2) (GFMAM, 2021).

De acordo com Hodkiewicz *et al.* (2015), a ISO 55001 exige mais detalhes sobre a qualidade dos dados coletados em comparação com a PAS 55 *Landscape*, as informações documentadas precisam ser revisadas para garantir que sejam adequadas e apropriadas; a ISO 55001 também aborda atributos de qualidade de dados relacionados à disponibilidade e proteção, e exige informações sobre o monitoramento, medição, análise e avaliação do desempenho dos ativos, não conformidades ou incidentes, e qualquer ação subsequente tomada, bem como os resultados de qualquer ação corretiva.

A “**Entrega do Ciclo de Vida**” (5) inclui processos para assegurar que as atividades de gestão de ativos da organização estejam de acordo com normas técnicas e legislação relevantes, tais como: criação e aquisição de ativos, engenharia de sistemas, gerenciamento de configurações, entrega da manutenção, engenharia de confiabilidade, operação do ativo, gerenciamento do recurso, gerenciamento de desligamento e interrupção, resposta a falhas e incidentes, desativação e descarte de ativos (GFMAM, 2021).

O processo de “Criação e Aquisição de Ativos” inclui a compra, instalação e ativação de bens pela organização, seguindo os códigos de construção relevantes e os requisitos de ativação.

A “Engenharia de Sistemas” é uma abordagem interdisciplinar e colaborativa que visa desenvolver, aprimorar e validar soluções de sistemas que atendam às expectativas do cliente e à aceitação pública; isso é alcançado através de um ciclo de vida equilibrado e usando normas e padrões como a ISO/IEC 15288:2008 para engenharia de software e sistemas e o MIL-STD-499 para gerenciamento de engenharia de sistemas militar (GFMAM, 2021).

O “Gerenciamento de Configurações” é um processo que tem como objetivo manter a consistência dos atributos físicos e funcionais de um produto em relação ao

seu design e informações operacionais ao longo de sua vida; isso é realizado seguindo normas e padrões como a AS/ISO 10007:2003 para sistemas de gestão da qualidade e a EIA-649-A 2004 para o padrão nacional de gerenciamento de configuração (GFMAM, 2021).

A “Entrega da Manutenção” envolve a gestão das atividades de manutenção, incluindo a utilização de metodologias de gestão de manutenção preventiva e corretiva; um tem correlato a isso, a “Engenharia de Confiabilidade”, é responsável por garantir que um item funcione de acordo com um padrão especificado por um período determinado em um ambiente específico seguindo processos especializados (GFMAM, 2021).

A “Operação do Ativo” envolve os processos utilizados por uma organização para operar seus ativos de maneira a atingir os objetivos de negócios e o “Gerenciamento do Recurso” envolve a implementação de uma estratégia para gerenciar de maneira eficiente o uso do orçamento, pessoas, instalações, ferramentas e materiais na entrega das atividades de gestão de ativos (GFMAM, 2021).

O “Gerenciamento de Desligamento e Interrupção” envolve os processos utilizados por uma organização para identificar, planejar, programar, executar e controlar o trabalho relacionado a paralisações ou interrupções (GFMAM, 2021).

O “Gerenciamento de Resposta a Falhas e Incidentes” envolve uma abordagem sistemática para lidar com falhas e incidentes, incluindo a detecção e identificação de incidentes, análise de falhas, uso de respostas padrão, reparos temporários e permanentes, bem como a tomada e devolução de sites (GFMAM, 2021).

Por fim, a “Entrega do Ciclo de Vida” possui um processo de “Desativação e Descarte de Ativos”, que envolve o descomissionamento e descarte de ativos devido ao envelhecimento ou alterações nos requisitos de desempenho e capacidade; isso é realizado levando em consideração fatores ambientais, o nível de serviço desejado e a legislação sobre alienação de ativos (GFMAM, 2021).

A “**Gestão de Ativos**” (6) inclui a “Tomada de Decisões” sobre investimentos de capital, que são os recursos financeiros necessários para adquirir ou renovar ativos da organização; o objetivo disso é garantir que a organização invista em ativos que maximizem o retorno sobre o investimento e atendam suas necessidades operacionais a longo prazo; as decisões para o modelo Landscape abrangem – as

operações e manutenção, o valor do ciclo de vida, a estratégia de recursos, e a estratégia para desligamento e interrupção (GFMAM, 2021).

O gerenciamento de Operações e Manutenção (O&M) envolve atividades para garantir que os ativos da organização funcionem de maneira eficiente e eficaz; de acordo com a norma ISO 55001, o gerenciamento de O&M deve atender aos objetivos e metas da gestão de ativos da organização; isso inclui determinar os requisitos de O&M, planejar e programar tarefas de manutenção, avaliar riscos e implementar medidas preventivas para garantir a disponibilidade e desempenho dos ativos (GFMAM, 2021).

O Valor do Ciclo de Vida (VCV) é o processo de maximizar o valor econômico e técnico dos ativos da organização ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a aquisição até a disposição, conforme as cláusulas 6.1 e 6.2 da norma ISO 55001; o gerenciamento do VCV envolve a identificação dos requisitos de O&M de cada ativo e a implementação de medidas para atender a esses requisitos de maneira a atender aos objetivos e metas da gestão de ativos da organização; isso pode incluir a avaliação de riscos, o planejamento e programação de tarefas de manutenção, e a implementação de medidas preventivas para garantir a disponibilidade e o desempenho dos ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida (GFMAM, 2021).

A norma ISO 55001 faz importantes considerações financeiras à PAS 55; a priori, é necessário definir os requisitos para registrar e padronizar a terminologia financeira em toda a organização, bem como garantir a rastreabilidade dessas informações; no entanto, é preciso ter uma estrutura de custeio baseado em atividades; e a posteriori, a ISO 55001 exige que sejam relatadas informações financeiras sobre o desempenho e a eficácia da GCVA, assim determinando seu custo administrativo (HODKIEWICZ *et al.*, 2015).

A “Estratégia de Recursos” é o processo de planejamento e gerenciamento dos recursos necessários para a execução eficaz da gestão de ativos de uma organização; seguindo a cláusula 7.1 da norma ISO 55001, a estratégia de recursos envolve a determinação das atividades e processos necessários para adquirir e utilizar pessoas, instalações, ferramentas e materiais de maneira a atender aos objetivos e metas da gestão de ativos da organização; isso pode incluir a identificação das necessidades de recursos, a seleção de fornecedores e o gerenciamento de contratos de fornecimento, bem como o treinamento e desenvolvimento de pessoal e a manutenção de instalações e equipamentos (GFMAM, 2021).

A “Estratégia de Desligamento e Interrupção” é o processo de planejamento e gerenciamento das atividades necessárias para garantir a transição eficaz e segura de ativos para a fase de desativação ou desmantelamento; isso pode incluir a identificação de requisitos regulatórios e de conformidade, a definição de responsabilidades e processos de trabalho, e a garantia de que todas as medidas de segurança e proteção ambiental sejam adotadas; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais da gestão de ativos estabelecidos na norma ISO 55001 (GFMAM, 2021).

Por fim, o “Planejamento Estratégico Organizacional” recebe o maior benefício da GCVA, a avaliação e gestão de **“Riscos e Revisões” (7)**, que é o processo de identificar, quantificar e mitigar riscos e explorar oportunidades de maneira a proteger e maximizar o valor dos ativos da organização; de acordo com as normas ISO 31000:2009 e IEC/ISO 31010:2009, bem como com a HB 327:2010, a avaliação e gestão de riscos envolve a implementação de políticas e processos para identificar e avaliar os riscos e oportunidades associados aos ativos da organização, bem como a implementação de medidas para minimizar os riscos e maximizar as oportunidades; isso pode incluir a avaliação de riscos de segurança, ambientais, operacionais e financeiros, bem como a comunicação e consultoria sobre riscos para todas as partes interessadas (GFMAM, 2021).

“Riscos e Revisões” também conferem o “Planejamento de Contingência e Análise de Resiliência”, que é o processo de planejamento e implementação de medidas para garantir que uma organização possa continuar a operar e proteger os seus ativos em caso de eventos adversos; isso inclui a definição de sistemas e processos para garantir a segurança e integridade dos ativos em operação e em desativação, bem como a manutenção do nível de serviço necessário para atender às necessidades dos clientes e outras partes interessadas; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais da gestão de riscos estabelecidos nas normas ISO 31000:2009 e IEC/ISO 31010:2009 (GFMAM, 2021).

O GFMAM propõe a GCVA sempre revisar o contexto do “Desenvolvimento Sustentável”, que é o processo de garantir que a atividade econômica, a responsabilidade ambiental e o progresso social de uma organização estejam em equilíbrio e possam ser mantidos de maneira duradoura; isso envolve a implementação de processos interdisciplinares e colaborativos para garantir que todas as atividades da organização sejam sustentáveis ao longo do tempo; também tem-se

a consideração de impactos ambientais, sociais e econômicos em decisões de negócios, a implementação de práticas responsáveis de gerenciamento de recursos, e a garantia de que os produtos e serviços da organização sejam oferecidos de maneira justa e ética; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais de responsabilidade social estabelecidos na norma ISO 26000 (GFMAM, 2021).

Neste sentido, há algo inerente a GCVA, a “Gestão da Mudança”, que é o processo de planejamento e implementação de alterações às pessoas, processos e ativos de uma organização de maneira eficaz e eficiente; isso envolve a identificação de áreas que precisam ser alteradas, a avaliação dos impactos dessas alterações, a implementação dessas alterações de maneira controlada e bem-sucedida, e a comunicação dessas alterações para todas as partes interessadas; isso pode ser gerenciada de acordo com os princípios gerais de gerenciamento de projetos estabelecidos na norma ISO 21500 (GFMAM, 2021).

O GFMAM enfatiza a importância do “Monitoramento de Desempenho e Integridade” de ativos, que é o processo de avaliar continuamente o desempenho e a condição dos ativos da organização para garantir que eles estejam funcionando de maneira eficiente e eficaz; isso envolve a implementação de processos e medidas para monitorar o desempenho dos ativos usando indicadores de desempenho relevantes, bem como a realização de avaliações periódicas da integridade dos ativos para garantir que eles estejam em boas condições e seguros para uso; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais de monitoramento de desempenho estabelecidos na norma ISO 9001 (GFMAM, 2021).

Os objetivos GCVA, pelo modelo PAS55 *Landscape* têm convergência aos objetivos estratégicos na medida que o “Monitoramento do Sistema de Gestão de Ativos” que é o processo de avaliar continuamente o desempenho e a eficácia do sistema de gestão de ativos da organização seja disciplinarmente realizado; isso envolve a implementação de processos e medidas para monitorar o desempenho do sistema de gestão de ativos, bem como a realização de avaliações periódicas para garantir que ele esteja funcionando de maneira eficiente e eficaz; assim como o “Monitoramento de Desempenho e Integridade”, isso também pode seguir a ISO 9001 (GFMAM, 2021).

Para isso, a “Revisão de Gestão, Auditoria e Garantia” que é o processo de avaliar a eficácia dos processos de gestão de ativos e do sistema de gestão de ativos da organização deve ser uma rotina; isso envolve a realização de revisões internas

e/ou externas da gestão de ativos e do sistema de gestão de ativos da organização, bem como a realização de auditorias para garantir que eles estejam funcionando de maneira eficiente e eficaz; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais de auditoria estabelecidos na norma ISO 19011 (GFMAM, 2021).

Intrinsicamente, o “Custeio e Avaliação de Ativos” que é o processo de definir e rastrear os custos unitários de manutenção e renovação dos ativos da organização e avaliar e depreciar esses ativos de acordo com métodos apropriados, é gerado pelas auditorias; isso envolve a implementação de processos para definir e rastrear os custos unitários de manutenção e renovação dos ativos da organização, bem como a avaliação dos ativos para determinar seu valor de depreciação; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais de avaliação de ativos estabelecidos na norma ISO 55000 (GFMAM, 2021).

O GFMAM compreende que o “Engajamento das Partes Interessadas” que é o processo de estabelecer uma comunicação eficaz e uma relação de trabalho eficaz com as partes interessadas da organização, incluindo clientes, fornecedores, funcionários, governos, comunidades e outros grupos relevantes, é fundamental para o sucesso do modelo PAS55 *Landscape*; isso envolve a implementação de métodos e processos para se envolver ativamente com as partes interessadas e garantir que suas necessidades e expectativas sejam compreendidas e levadas em consideração na tomada de decisões e no gerenciamento dos ativos da organização; isso pode ser gerenciado de acordo com os princípios gerais de gerenciamento de relacionamento com as partes interessadas estabelecidos na norma ISO 26000 (GFMAM, 2021).

Portanto, na exploração do modelo GFMAM, destaca-se a importância disso na promoção das melhores práticas em manutenção e gestão de ativos em nível global. Dessa forma, ao adentrar no universo da sinergia entre Modelagem e Simulação e o modelo GFMAM, percebe-se como essas técnicas complementares desempenham um papel crucial na implementação das diretrizes e princípios estabelecidos pela GFMAM.

Através da modelagem de sistemas complexos de ativos e da simulação de cenários diversos, as organizações tomam decisões informadas, otimizam suas estratégias de gestão de ativos e, assim, se alinham de maneira mais eficaz com as metas de confiabilidade, eficiência e desempenho preconizadas pela GFMAM.

Essa abordagem integrada capacita as organizações a maximizar o valor de seus ativos, beneficiando-se das melhores práticas globais no domínio da manutenção e gestão de ativos (D'AMICO *et al.*, 2022).

2.3 Modelagem e Simulação na Indústria 4.0 – Perspectivas à GCVA

De acordo com De Paula Ferreira *et al.* (2020), a modelagem e simulação são técnicas que visam representar ativos matematicamente ou computacionalmente, permitindo explorar possíveis otimizações. A Indústria 4.0, por sua vez, é uma abordagem de produção que busca aumentar a eficiência, flexibilidade e agilidade da produção através da integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e Big Data; essas tecnologias permitem que a modelagem e simulação sejam aprimoradas (WEERASEKERA *et al.*, 2022).

A avaliação do ciclo de vida do ativo geralmente envolve várias etapas diferentes, incluindo modelagem e simulação; a etapa de modelagem envolve a criação de uma representação do ativo, como um modelo computacional, para simular seu comportamento e desempenho ao longo do tempo; a simulação é então usada para testar o modelo em condições diferentes, como cenários de uso ou fatores ambientais diferentes, para prever como o ativo se comportará durante toda a sua vida útil (DELGADO *et al.*, 2021).

A Modelagem e Simulação (M&S) são ferramentas importantes na análise de decisões à Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA), pois permitem avaliar diferentes cenários e suas consequências para uma decisão final; essas ferramentas podem ser utilizadas para prever o desempenho futuro de um ativo, avaliar a relação custo-benefício de diferentes opções de manutenção, e identificar pontos críticos no ciclo de vida do ativo que requerem atenção especial; além disso, também podem ajudar a identificar oportunidades à eficiência e redução de custos operacionais (D'AMICO *et al.*, 2022).

A “Modelagem” geralmente envolve a criação de representações digitais de ativos físicos e suas características, como forma geométrica, propriedades de material e características de desempenho; esses modelos podem ser usados para simular diferentes cenários, como diferentes condições operacionais ou estratégias de manutenção, a fim de prever o comportamento e o desempenho dos ativos ao longo do tempo (WEERASEKARA *et al.*, 2022).

A “Simulação” pode incluir a avaliação do custo do ciclo de vida, confiabilidade, manutenção, risco, segurança e impactos ambientais de um ativo, fornecendo informações para a tomada de decisões; ao simular diferentes cenários, as organizações podem identificar a abordagem mais econômica e confiável para manter seus ativos, bem como identificar possíveis problemas antes que ocorram no mundo real (MA *et al.*, 2022).

De forma abrangente, cada estágio da GCVA pode exigir diferentes técnicas de modelagem e simulação, e diferentes técnicas podem ser combinadas para obter um cenário sistêmico do ciclo de vida dos ativos; além disso, para o uso eficaz dessas abordagens, é fundamental ter dados precisos e atualizados sobre o ativo, bem como um processo bem definido para coletar e analisar os resultados da modelagem e simulação (MACCHI *et al.*, 2018).

Para Zacharewicz *et al.* (2019), **as técnicas de M&S na GCVA podem ser aplicadas nas tarefas de desenvolvimento incluindo Design, Teste, Aquisição, Produção, Manutenção e Vendas**. Zhang *et al.* (2019) defendem que o Design é uma das atividades mais criativas na GCVA, mas trata de grandes incertezas que podem levar a possíveis falhas de concepção causando defeitos em produtos e prejuízos à manufatura.

Yan *et al.* (2017) identificam diversas áreas do **Design** que podem explorar benefícios diretos, incluindo estruturas mecânicas, eletrônica, controle e pneumática. Para aprimorar e otimizar essas áreas, a utilização da tecnologia de Modelagem e Simulação é crucial. Adicionalmente, Ormarsson *et al.* (2018) classificam *Softwares* (S/W) em diferentes categorias e, no **Quadro 2**, apresentam exemplos dessas categorias e suas respectivas aplicações em cada uma das áreas mencionadas.

Quadro 3 - Categoria Software (S/W) e Aplicação

Categorias S/W	Aplicação
Estática	Analisar a Tensão, Deslocamento e Deformação sob Carga Estável para testar a Resistência e Estabilidade.
Dinâmica	Testar a Estrutura e o Estado do Objeto sob Cargas Variadas, incluindo Análise Modal, Análise Transiente, Análise Espectral e Análise de Vibração.
Cinemática	Simular a Trajetória de Movimento, Velocidade e Aceleração do Objeto.
Mecânica dos Fluidos	Analisar o Fluxo do Fluido, Transferência de Calor, Campo de Velocidade e Campo de Pressão.
Termodinâmica	Analisar o Fluxo de Calor, Campos de Temperatura e Características de Transferência de Calor no Sistema.

Fonte: Ormarsson *et al.* (2018)

No estudo conduzido por Macchi *et al.* (2018), a aplicação da M&S no *Design* é investigada por meio da técnica conhecida como *Digital Twin* (DT). O trabalho realizado confirma a viabilidade de replicar o ciclo de vida de sistemas industriais, possibilitando a previsão de desempenho a longo prazo e a manutenção contínua dos dados, visando embasar decisões mais informadas na gestão de ativos. O **Quadro 3** apresenta uma visão abrangente dos benefícios do uso do DT nas diversas etapas da GCVA.

Quadro 4 - Benefícios do Digital Twin (DT) na GCVA

Etapas GCVA	Benefícios do DT
Configuração do Ativo	Avalia o <i>Design</i> e desempenho sistêmico de confiabilidade, disponibilidade e capacidade de manutenção para previsão do Custo Total de Propriedade.
Reconfiguração do Ativo	Da mesma forma a Configuração do Ativo, todavia envolve análises complexas de inovação e adaptação à novas funções tecnológicas.
Reconfiguração do Ativo & Planejamento	Estruturação de conhecimento sobre o ativo como base para uma arquitetura de Sistema de Execução de Manufatura, serve como modelo de dados semânticos.
Comissionamento do Ativo	Análise do conhecimento estruturado e de dados em tempo de execução para simulação avançada visando o comissionamento virtual do sistema de manufatura.
Monitoramento da Condição Operacional do Ativo	Diagnóstico do ativo com base na condição monitorada, extração e análise de dados para limitar situações de insegurança.

Fonte: Macchi *et al.* (2018)

De acordo com Delgado *et al.* (2021), o conceito DT desempenha um papel fundamental no apoio à GCVA. Os autores destacam que o DT é uma representação digital idêntica ao ativo físico e tem a capacidade de integrar dados sistêmicos. Além disso, ressaltam que o DT viabiliza o monitoramento e controle remoto em tempo real do ativo físico, permitindo a incorporação de dados para identificar anomalias, realizar simulações e antecipar possíveis falhas.

O potencial do DT conforme defendido por Kamblar *et al.* (2022), **pode se estender à Cadeia de Suprimentos**, os autores argumentam que isso pode ser aplicado para identificar tendências, ineficiências e custos associados ao desenvolvimento em diferentes fases do ativo, permitindo assim a tomada de decisões mais embasadas na escolha entre adquirir ativos ou contratar serviços relacionados. Qamsane *et al.* (2022) complementam essa perspectiva, enfatizando que o DT tem a capacidade de reduzir riscos operacionais, minimizar o tempo de inatividade, otimizar o consumo de energia, e promover a segurança e a eficiência nos sistemas fabris.

Conforme enfatizado por D'amico *et al.* (2022), a do DT associada a M&S oferece aos usuários a capacidade de monitorar ativos, sobretudo durante as fases de operação e serviço do ciclo de vida. Essas fases são particularmente relevantes para ativos de engenharia complexos, dada sua durabilidade prolongada. No **Quadro 4**, os autores destacam diversos benefícios à GCVA bem como as limitações associadas à implementação dessa tecnologia.

Quadro 5 - DT na M&S - Benefícios à GCVA e Dificuldades de Implementação

DT associada a M&S – Benefícios à GCVA	
a)	Minimiza a expansão de problemas nos ativos, do <i>Design</i> ao Fim de Vida;
b)	Possibilita a previsão de falhas nos ativos;
c)	Disponibiliza informações pertinentes a um Plano de Manutenção proativa;
d)	Serve cenários de longo prazo à estratégia de manutenção industrial e predial;
e)	Potencializa análises diversas pelo volume de informações sistêmicas;
f)	Descobre intervalos de inatividade produtiva para análises de otimização;
g)	Identifica fragilidades para análises de confiabilidade técnica dos ativos e,
h)	Prioriza gargalos sistêmicos para análises de otimização nos programas de produção.
DT associada a M&S – Dificuldades à Implementação	
a)	Custos Elevados de Aquisição de tecnologia e infraestrutura de instalação;
b)	Falta de acuracidade entre a realidade física e o modelo digital do sistema fabril;
c)	Falta de atualização ao modelo sobre as evoluções tecnológicas dos ativos;
d)	A necessidade de softwares e/ou configurações específicas de um ativo e,
e)	Falta de treinamento e gestão do conhecimento nos processos intrínsecos da GCVA.

Fonte: D'amico *et al.* (2022)

Para Zhang *et al.* (2019), o **testar o conceito e detalhes operacionais do ativo é importante na GCVA**, a qualidade e a eficiência do processo de teste afetam diretamente a qualidade do produto e a experiência do usuário; no **Quadro 5**, os autores relacionam os principais tipos e testes aplicados pelas tecnologias de M&S.

Quadro 6 - Testes de Ativos por M&S aplicados na GCVA

Tipos de Testes	Aplicações M&S
Teste Virtual	Teste de componentes eletrônicos, especialmente chips de circuitos integrados, por meio dos métodos de simulação de software pode-se testar virtualmente as especificações e os requisitos do produto (IQBAL <i>et al.</i> , 2015).
Banco de Teste Virtual	Aplicado na análise de “testabilidade” e diagnóstico de falhas, à exemplo construir com rapidez e precisão os modelos de software de teste, hardware de suporte e objetos medidos (WEI <i>et al.</i> , 2018).
Instrumentos Virtuais	Medição virtual com poder de computação baseado e compartilhamento de recursos, integra técnicas de processamento digital de sinais e combina as funções especiais de “usabilidade” do produto (ZHANG <i>et al.</i> , 2019).

Fonte: Zhang *et al.* (2019)

A **Aquisição baseada em M&S** é uma abordagem que utiliza as técnicas de “Testes” para avaliar eficientemente o objeto e utiliza sistemas CAD (Computer Aided Design) para criação de Protótipos Virtuais visando validar as funcionalidades requeridas, as definições de logística e manutenção, e o fluxo de materiais no sistema fabril (LEE *et al.*, 2013).

As **técnicas de M&S são ferramentas fundamentais para a Produção**; de acordo com Ma *et al.* (2022), além de permitir a testagem de diferentes cenários e configurações antes da implementação na prática, essas ferramentas podem ser integradas a diversos sistemas de informação, tais como CAD, CAE (Computer Aided Engineering) e MES (Manufacturing Execution System), a fim de otimizar a utilização de recursos, prever o desempenho do processo, minimizar riscos e promover a inovação.

De acordo com Zahedi-Hosseini (2018), **as técnicas M&S desempenham um papel fundamental na otimização das decisões de manutenção**, ao maximizarem a disponibilidade dos equipamentos, otimizarem os tempos de inatividade, preverem falhas, identificarem problemas e analisarem os riscos associados à manutenção.

No contexto das **Vendas**, a transição do mercado físico para o e-commerce demanda uma estratégia cuidadosamente planejada. Nesse cenário, as técnicas baseadas em M&S têm a capacidade de modelar cenários nos quais entidades autônomas e virtuais interagem, gerando diversas características logísticas essenciais para o Planejamento Estratégico de Produção (FAROOQ *et al.*, 2021).

Na exploração da sinergia entre Modelagem e Simulação e as perspectivas GCVA, evidencia-se como essas técnicas combinadas desempenham um papel essencial na otimização da gestão de ativos, alinhando-se às diretrizes promovidas pela GFMAM para eficiência e confiabilidade.

Portanto, ao adentrar no domínio das tecnologias de Modelagem e Simulação (M&S), é possível compreender como avanços nesse campo impulsionam ainda mais a capacidade das organizações em implementar estratégias de gestão de ativos alinhadas com as melhores práticas globais.

A adoção de tecnologias de ponta na M&S amplia o potencial de análise, aperfeiçoando a tomada de decisões e otimizando o desempenho dos ativos. Assim, a sinergia entre Modelagem e Simulação, o modelo GFMAM e as inovações

tecnológicas convergem para oferecer soluções cada vez mais eficazes no âmbito da gestão de ativos, promovendo a excelência e a sustentabilidade

2.4 Tecnologias da Indústria 4.0 na Modelagem e Simulação

A Indústria 4.0 (i4.0) aprimora a inteligência de manufatura e tem um impacto significativo na Modelagem e Simulação (M&S), o advento de tecnologias avançadas na i4.0 tornaram as ferramentas de M&S mais poderosas e sofisticadas; essas ferramentas agora podem lidar com maiores quantidades de dados e realizar simulações mais complexas, possibilitando modelar e simular cenários mais realistas (ZHOU *et al.*, 2018).

Mittal *et al.* (2018), ditam que Manufaturas Inteligentes são assistidas por uma Rede Industrial Inteligente que pode automatizar os ativos do sistema fabril para detecção, coleta, processamento e comunicação de eventos em tempo real. Essa rede habilitou as tecnologias de M&S para um conceito de Simulação em Nuvem (SeN) que consiste em realizar o compartilhamento, reutilização e colaboração de dados de forma integrada (SINHA *et al.*, 2015).

A Indústria 4.0 abre caminho para a M&S de forma mais eficiente e econômica, aproveitando a capacidade de SeN. A possibilidade de armazenar e processar volumes massivos de dados na nuvem possibilita a execução das tecnologias de M&S em *Hardwares* de custo reduzido, tornando-as acessíveis não apenas para grandes corporações, mas também para empresas de menor porte e instituições de pesquisa (AL-DHAHERI *et al.*, 2016).

Para Al-Dhaheri *et al.* (2016), o poder computacional da i4.0 reduz o tempo de execução das análises e cria condições para a M&S se conectar ao sistema fabril em tempo real e ajustar dinamicamente os cenários por um modelo de escalonamento onde os resultados podem ser utilizados interativamente para melhorar as estratégias.

Os métodos tradicionais de M&S baseiam-se em experimentos empíricos; no entanto, com o avanço da tecnologia de Aprendizado de Máquina (Machine Learning) junto a SeN, as tecnologias de M&S incorporaram uma análise de associação, permitindo identificar relações entre entradas e saídas de um sistema utilizando técnicas estatísticas para identificar padrões de correlação entre variáveis e identificar relações não óbvias (Xu *et al.*, 2015).

Conforme destacado por Babiceanu *et al.* (2016), a capacidade de Simulação em Nuvem (SeN) oferece a oportunidade de explorar o valor dos dados em diversos

processos, permitindo simular diferentes cenários no ambiente de manufatura e aprimorar a tomada de decisões no contexto fabril.

A SeN desempenha um papel central nas atividades de Modelagem e Simulação (M&S). No entanto, é importante observar que a execução de sistemas de manufatura frequentemente exige alto desempenho em tempo real; quando essa exigência não pode ser atendida, a M&S entra em ação no modo *offline*, acessando o último conjunto de dados armazenados na nuvem, conceito conhecido como Simulação em Borda, conforme delineado por Zhang *et al.* (2019).

Entretanto, há também o conceito de Simulação Integrada, que é um processo no qual vários modelos simulando diferentes aspectos de um sistema fabril são combinados para formar uma representação mais completa e precisa do comportamento; isso pode ser usado em uma variedade de campos, como engenharia, economia, ciência da computação e outros, é uma abordagem popular para sistemas IoT (Internet of Things) para simular diferentes aspectos do sistema, como desempenho, segurança e consumo de energia (PAN *et al.*, 2022).

A Indústria 4.0 (i4.0) aprimora a inteligência de manufatura e tem um impacto significativo na Modelagem e Simulação (M&S), o advento de tecnologias avançadas na i4.0 tornaram as ferramentas de M&S mais poderosas e sofisticadas; essas ferramentas agora podem lidar com maiores quantidades de dados e realizar simulações mais complexas, possibilitando modelar e simular cenários mais realistas (ZHOU *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0 abre caminho para a M&S de forma mais eficiente e econômica, aproveitando a capacidade de SeN. A possibilidade de armazenar e processar volumes massivos de dados na nuvem possibilita a execução das tecnologias de M&S em Hardwares de custo reduzido, tornando-as acessíveis não apenas para grandes corporações, mas também para empresas de menor porte e instituições de pesquisa (AL-DHAHERI *et al.*, 2016).

Para Al-Dhaheri *et al.* (2016), o poder computacional da i4.0 reduz o tempo de execução das análises e cria condições para a M&S se conectar ao sistema fabril em tempo real e ajustar dinamicamente os cenários por um modelo de escalonamento onde os resultados podem ser utilizados interativamente para melhorar as estratégias.

Os métodos tradicionais de M&S baseiam-se em experimentos empíricos; no entanto, com o avanço da tecnologia de Aprendizado de Máquina (Machine Learning) junto a SeN, as tecnologias de M&S incorporaram uma análise de associação,

permitindo identificar relações entre entradas e saídas de um sistema utilizando técnicas estatísticas para identificar padrões de correlação entre variáveis e identificar relações não óbvias (Xu *et al.*, 2015).

Conforme destacado por Babiceanu *et al.* (2016), a capacidade de Simulação em Nuvem (SeN) oferece a oportunidade de explorar o valor dos dados em diversos processos, permitindo simular diferentes cenários no ambiente de manufatura e aprimorar a tomada de decisões no contexto fabril.

A SeN desempenha um papel central nas atividades de Modelagem e Simulação (M&S). No entanto, é importante observar que a execução de sistemas de manufatura frequentemente exige alto desempenho em tempo real; quando essa exigência não pode ser atendida, a M&S entra em ação no modo offline, acessando o último conjunto de dados armazenados na nuvem, conceito conhecido como Simulação em Borda, conforme delineado por Zhang *et al.* (2019).

Entretanto, há também o conceito de Simulação Integrada, que é um processo no qual vários modelos simulando diferentes aspectos de um sistema fabril são combinados para formar uma representação mais completa e precisa do comportamento; isso pode ser usado em uma variedade de campos, como engenharia, economia, ciência da computação e outros, é uma abordagem popular para sistemas IoT (Internet of Things) para simular diferentes aspectos do sistema, como desempenho, segurança e consumo de energia (PAN *et al.*, 2022).

De acordo com a pesquisa de De Paula Ferreira *et al.* (2020), no contexto da Indústria 4.0, existem oito princípios de *Design* para sistemas fabris. Entre esses princípios, a virtualização é um conceito crucial, se refere a uma tecnologia que viabiliza a criação de ambientes virtuais independentes dentro de um único sistema físico. Esses ambientes, conhecidos como máquinas virtuais, operam de forma autônoma, cada uma com seu próprio sistema operacional e aplicativos. Isso resulta em uma melhor utilização de recursos, economia de energia e simplificação na administração de sistemas de computador.

Na Indústria 4.0, a virtualização refere-se à criação de representações virtuais de componentes, sistemas e processos industriais. Essa tecnologia desempenha um papel fundamental na transformação digital do setor industrial, permitindo a simulação, monitoramento e controle eficientes de operações (CHOI *et al.*, 2015).

Entretanto, embora a Virtualização seja categorizada como um princípio específico, as tecnologias de Modelagem e Simulação (M&S) incluídas nesse contexto

proporcionam benefícios que se estendem a todos os outros princípios; o **Quadro 6** proposto por De Paula Ferreira *et al.* (2020) fornece uma visão abrangente disso.

Quadro 7 - Princípios de Design para Sistemas Fabris e benefícios da M&S

Princípios	Benefício das Tecnologias “M&S”
Interconexão.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para testar e otimizar os protocolos de comunicação utilizados em sistemas da Indústria 4.0, garantindo que dispositivos, máquinas e sistemas possam se comunicar eficazmente.
Processamento de Dados em Tempo Real.	<i>Digital Twins</i> podem ser usados para simular o comportamento de sistemas em tempo real, permitindo previsões precisas e ajustes a serem feitos com base nos dados recebidos.
Tomada de Decisão Descentralizada.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para testar e otimizar os algoritmos de tomada de decisão utilizados em sistemas da Indústria 4.0, garantindo que as decisões sejam tomadas de forma eficiente e eficaz na borda da rede.
Virtualização.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para criar gêmeos digitais de sistemas, equipamentos e produtos, permitindo testes virtuais, otimização e manutenção.
Assistência Técnica.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para projetar e testar tecnologias avançadas, como realidade aumentada e robótica, melhorando a assistência fornecida aos operadores humanos.
Modularidade.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para testar diferentes configurações e atualizações de sistemas da Indústria 4.0, garantindo que eles sejam adaptáveis e flexíveis.
Orientação ao Serviço.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para projetar e testar serviços e produtos personalizados, garantindo que eles atendam às necessidades dos clientes.
Segurança cibernética.	Modelos virtuais e simulações podem ser usados para testar a segurança de sistemas da Indústria 4.0 e identificar vulnerabilidades potenciais, permitindo medidas preventivas para proteger contra ataques cibernéticos.

Fonte: De Paula Ferreira *et al.* (2020)

Além dos benefícios listados, De Paula Ferreira *et al.* (2020) realizaram uma Revisão Sistemática de Literatura identificando as principais tecnologias M&S aplicáveis na manufatura, descritas a seguir.

- **M&S baseada em Agente** (Agent-based modeling and simulation – ABMS): é um tipo de modelagem computacional que representa o comportamento e as interações de agentes autônomos em um sistema, esses agentes podem ser indivíduos, grupos, organizações ou outras entidades que podem tomar decisões e interagir com seu ambiente e outros agentes. A ABMS é usada para estudar sistemas complexos em campos como economia, ciências sociais e biologia, entre outros, e pode ser usado para testar hipóteses, explorar o comportamento de um sistema e fazer previsões sobre estados futuros (ABAR *et al.*, 2017).

- **Simulação de Eventos Discretos** (Discrete Event Simulation – DES): é uma técnica que modela o comportamento de um sistema representando-o como uma sequência de eventos discretos; o sistema é composto por entidades (como veículos, pessoas ou recursos) que se movem através de estados e interagem com regras; a simulação é executada pelo sistema com base em regras que determinam a temporização e ordem; a saída é um conjunto de dados que podem ser analisados para entender o comportamento do sistema e fazer previsões; isso é comumente utilizado em indústrias como fabricação, transporte, saúde e logística. (SCHEIDEGGER *et al.*, 2018).
- **Dinâmica de Sistema** (System Dynamics – SD): é uma “M&S” com uma abordagem holística para compreender sistemas complexos e seu comportamento ao longo do tempo, isso usa modelagem matemática e simulação computacional para criar modelos dinâmicos e entender como os elementos de um sistema interagem entre si, o que permite testar políticas e prever as consequências dessas ações; o uso de laços de retroalimentação de estoques e fluxos é importante para compreender como um sistema muda com o tempo; a SD é amplamente utilizada em campos como negócios, engenharia e ciências sociais (KUNC, 2017).
- **Realidade Virtual** (*Virtual Reality* – VR): é uma “M&S” gerada por computador de um ambiente tridimensional em que se pode interagir usando *softwares* e equipamentos especializados, como um *headset* com tela e luvas equipadas com sensores; a pessoa que usa o equipamento de VR é capaz de olhar ao redor e se mover dentro do ambiente virtual como se estivesse fisicamente presente nele; a VR é frequentemente usada para jogos, mas tem muitas outras aplicações, como simulações de treinamento, terapia e visitas virtuais (CHOI *et al.*, 2015).
- **Realidade Aumentada** (*Augmented Reality* – AR): é uma tecnologia que melhora a percepção de uma pessoa do mundo real, sobrepondo informações digitais, como imagens, vídeos e sons, nele. Isso pode ser realizado através do uso de dispositivos como smartphones, tablets ou óculos especializados; as informações digitais geralmente são exibidas de maneira a se misturar

perfeitamente com o mundo real, fazendo parecer que fazem parte dele; a AR pode ser usada para uma ampla gama de aplicações, como jogos, educação, entretenimento e treinamento industrial (PÉREZ *et al.*, 2019).

- **Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence – AI*):** refere-se à simulação da inteligência humana em máquinas que são programadas para pensar e aprender como os humanos; a AI pode ser usada para realizar tarefas que geralmente exigem inteligência humana, como percepção visual, reconhecimento de fala, tomada de decisão e tradução de idiomas; os sistemas de AI podem ser classificados em diferentes tipos, como baseado em regras, especialista e sistemas de aprendizado de máquina; o aprendizado de máquina é um tipo de AI que permite que os sistemas melhorem suas performance aprendendo a partir de dados, sem serem explicitamente programados (LOLLI *et al.*, 2018).
- **Simulação de Redes de Petri (*Petri Nets Simulation – PN*):** é uma linguagem de modelagem e formalismo para a descrição e análise de sistemas concorrentes e distribuídos; as Redes de Petri são estruturas matemáticas que podem ser usadas para modelar o comportamento de um sistema, incluindo as interações e dependências entre os diferentes componentes do sistema; permite a execução e análise do comportamento do sistema modelado, o que pode ser usado para verificação, validação e análise de desempenho do sistema; podem ser usadas em uma ampla gama de aplicações, incluindo ciência da computação, sistemas de controle e engenharia de software (PISCHING *et al.*, 2018).
- **Simulação Híbrida (*Hybrid Simulation – HS*):** é um método de simulação que combina diferentes tipos de técnicas de simulação, como testes experimentais, modelagem analítica e simulação numérica, para estudar o comportamento de sistemas complexos, permitindo uma análise eficiente e precisa de sistemas que envolvem múltiplos fenômenos físicos e escalas, como mecânica estrutural, dinâmica de fluidos e eletromagnetismo; o objetivo da HS é usar as vantagens de cada método de simulação para superar suas limitações individuais, resultando em uma simulação mais abrangente e confiável do sistema em estudo (DE PAULA FERREIRA *et al.*, 2020).

- **Gêmeo Digital (*Digital Twin – DT*):** é uma representação digital precisa e em tempo real de um sistema físico ou processo; no contexto da Indústria 4.0, os Gêmeos Digitais são usados para simular, otimizar e monitorar processos de fabricação e manufatura, permitindo que os fabricantes melhorem a eficiência e a qualidade dos seus produtos, além de reduzir custos e tempo de inatividade; isso é possível por meio da coleta e análise de dados em tempo real de sensores e dispositivos conectados na fábrica e comparando-os com a representação digital do processo (TAO *et al.*, 2019).
- **Comissionamento Virtual (*Virtual Commissioning – VC*):** é um processo no qual a comissionamento de uma máquina ou sistema é feito usando técnicas de simulação e modelagem, em vez de testes físicos; isso permite testar e otimizar a máquina ou sistema antes de ser construído ou instalado no local, o que pode economizar tempo e dinheiro; o VC pode ser usado para uma variedade de indústrias, incluindo fabricação, robótica e automação (LI *et al.*, 2015).

O referencial teórico apresentado neste estudo estabelece as bases conceituais necessárias para a compreensão das percepções sobre os benefícios da modelagem e simulação na gestão do ciclo de vida de ativos industriais, especialmente no contexto da Indústria 4.0. Ao explorar os tópicos de gestão do ciclo de vida de ativos, a referência do GFMAM como guia de administração para GCVA, modelagem e simulação, e as tecnologias associadas, se fornece um arcabouço sólido para a investigação que se segue.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo, aborda-se em detalhes o procedimento metodológico adotado para conduzir a pesquisa. O método escolhido para coletar dados de campo é o **Survey**, uma abordagem que permite explorar as percepções dos entrevistados sobre os benefícios da modelagem e simulação na gestão do ciclo de vida de ativos industriais, dentro do contexto da Indústria 4.0. Este capítulo desempenha um papel fundamental na compreensão de como a pesquisa é planejada e conduzida, incluindo a criação do questionário estruturado, a escolha da plataforma de coleta de dados e a estratégia de difusão.

Um dos principais componentes do procedimento metodológico envolve a criação de um questionário estruturado contendo **35 questões (8 Nominais e 27 Ordinais)**. Esse questionário é desenvolvido com a precisão necessária para abordar aspectos críticos relacionados à gestão do ciclo de vida de ativos industriais e à utilização da modelagem e simulação para administração disso. Cada pergunta é elaborada com cuidado, **com base em conceitos do referencial teórico apresentados no Capítulo 2**, a fim de obter informações relevantes.

De acordo com Martin (2006), pesquisas evidenciam que mesmo pequenas alterações na redação das perguntas ou na sequência em que são apresentadas podem ter um impacto significativo nas respostas. Isso reforça a premissa de que as perguntas devem ser formuladas exatamente da mesma maneira e na mesma ordem, a fim de garantir a comparabilidade dos dados. Nessa perspectiva, o questionário é constituído por perguntas padronizadas que operacionalizam os construtos de medição. O propósito é proporcionar um estímulo uniforme aos entrevistados, de modo a assegurar a comparabilidade de suas respostas.

No âmbito do procedimento metodológico adotado nesta dissertação de mestrado, a escolha da plataforma **Google Forms** se revela estrategicamente acertada, pois julga-se sua interface amigável e também a sua ampla gama de recursos disponíveis para possibilitar uma coleta e análise de dados eficazes e eficientes. A utilização dessa ferramenta representa um elemento fundamental para assegurar a qualidade e confiabilidade das respostas obtidas dos entrevistados, garantindo, assim, a robustez da pesquisa.

Além disso, visando alcançar uma amostra qualificada de profissionais cujo escopo se relaciona diretamente com o tema central da dissertação, o questionário foi

estrategicamente disponibilizado na plataforma *LinkedIn*. Esta escolha permite a seleção de entrevistados com *expertise* e experiência no campo, fortalecendo a relevância dos dados coletados e a contribuição significativa para o desenvolvimento do estudo.

A coleta de dados foi realizada nos meses de maio e junho de 2023, e o contexto empresarial brasileiro poderia refletir uma complexa interseção entre a evolução tecnológica da Indústria 4.0 e as mudanças políticas decorrentes do início do primeiro ano de mandato do novo presidente do país. O Brasil havia experimentado avanços significativos na adoção da Indústria 4.0 desde antes das eleições, com empresas multinacionais de origem norte-americana e europeia, bem como a recente chegada de indústrias asiáticas, liderando esforços nesse sentido.

Contudo, a chegada do novo presidente também trouxe uma série de incertezas, uma vez que as políticas econômicas e regulatórias poderiam ser revistas. Isso levaria as empresas a considerar cuidadosamente como as mudanças políticas impactariam suas estratégias de investimento e o ambiente de negócios em constante evolução. O equilíbrio entre a maturidade tecnológica e a instabilidade política poderia gerar um cenário desafiador, no qual as empresas precisavam navegar com cautela para garantir seu crescimento e competitividade no ambiente empresarial em constante mutação. Portanto, é possível que isso seja um viés implícito nas respostas.

No entanto, após a coleta de dados, antes de realizar qualquer análise, foi crucial submeter os dados a testes estatísticos. Conforme destacado por Bell *et al.* (2022), a realização de testes estatísticos antes da análise dos dados desempenha um papel essencial na garantia da robustez e validade das conclusões.

De acordo com Bell *et al.* (2022), essas análises estatísticas desempenham um papel crucial em *Surveys* que envolvam variáveis nominais e ordinais, pois auxiliam na compreensão e investigação de diversos aspectos, tais como: relações e associações entre variáveis, detecção de diferenças significativas, análise de distribuições e frequências, testagem de hipóteses exploratórias, visualização de resultados de maneira significativa e identificação de padrões inesperados.

Neste estudo, empregou-se o *Software* Estatístico R, uma linguagem de programação versátil que abarca múltiplos paradigmas, incluindo orientação a objetos e programação funcional; para tratamento, transformação e manipulação dos dados, contou-se com seu ambiente de desenvolvimento *RStudio*; para elaboração dos gráficos correspondentes à análise dos dados, optou-se pelo uso do *Jupyter*

Notebook; essa escolha se justifica pelo fato disso ser uma aplicação de código aberto, capacitando a criação e a compartimentalização de documentos interativos (GARDENER *et al.*, 2012).

Cada uma das variáveis passou por uma minuciosa análise estatística descritiva. Além disso, foi cuidadosamente verificada a presença de dados ausentes e valores discrepantes. Durante a avaliação de cada variável, é importante ressaltar que nenhum registro foi descartado devido à imputação de dados faltantes oriundos de outras variáveis que passaram por tratamento.

O **Quadro 7** apresenta o Questionário Estruturado para a *Survey*, com a identificação das categorias dos dados observados e analisados nos testes estatísticos; enfatiza-se que os dados da categoria ordinal tiveram suas respostas estruturadas numa escala *Likert*; isso é útil para transformar respostas qualitativas em dados quantitativos quando se deseja medir e analisar atitudes, opiniões e percepções de forma mais objetiva e numérica (BELL *et al.*, 2022).

Quadro 8 - Questionário Estruturado para Survey

Categoria		Descrição
-	Nominal	Qual é o macro setor de atuação da empresa em que você trabalha?
-	Nominal	Qual o porte da sua empresa?
-	Nominal	Qual seu papel profissional?
-	Nominal	Qual seu maior nível acadêmico?
P1	Nominal	Qual seu Nível de Conhecimento sobre Gestão de Ativos Industriais?
P2	Nominal	Qual seu Nível de Conhecimento sobre M&S?
P3	Nominal	Quais tecnologias da Indústria 4.0 a sua empresa utiliza para coletar dados sobre os ativos industriais?
P4	Ordinal	A sua empresa utiliza os dados obtidos pelas tecnologias da Indústria 4.0 na M&S?
P5	Ordinal	As tecnologias da Indústria 4.0 são importantes para coletar dados sobre os ativos industriais.
P6	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas ao: * Planejamento: Neste estágio, é feita a análise de viabilidade do projeto, definição de requisitos, escolha de fornecedores e planejamento do orçamento.

Quadro 9 - Questionário Estruturado para Survey**continua**

P7	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Aquisição ou Fabricação: Neste estágio, o ativo é adquirido ou fabricado de acordo com o planejamento estabelecido.
P8	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Instalação: Neste estágio, o ativo é instalado e configurado em sua localização final.
P9	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Operação: Neste estágio, o ativo é utilizado para realizar sua função específica.
P10	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Manutenção: Neste estágio, o ativo é mantido para garantir sua performance e disponibilidade ao longo do tempo.
P11	Ordinal	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Substituição ou Desativação: Neste estágio, o ativo é substituído ou desativado quando não é mais necessário ou se torna obsoleto.
P12	Ordinal	A M&S beneficia o Planejamento Estratégico de Ativos. Entregas: Escopo de ativos, estratégia de planejamento de ativos, política de metas de gerenciamento e regulamentos das atividades. Métricas: Custo, Confiabilidade, Criação de Valor e Satisfação do Cliente.
P13	Ordinal	A M&S beneficia a Análise de Demandas Técnicas de Processos e Volumes de Trabalho ao Ativo. Entregas: Projeto da capacidade do ativo e sua instalação física. Métricas: Custo, Confiabilidade, Capacidade e Criação de Valor.
P14	Ordinal	A M&S beneficia o Desenvolvimento do Plano Estratégico de Ativos. Entregas: Integração de sistemas e alocação de ativos, planejar atribuição de trabalho e metas específicas. Métricas: OEE, Custo, Confiabilidade e Criação de Valor Total.
P15	Ordinal	A M&S beneficia a Análise de Criticidades sobre os Ativos. Entregas: Priorização dos ativos de acordo com as necessidades da gestão. Métricas: Custo e Confiabilidade.
P16	Ordinal	A M&S beneficia as Justificativas de Decisões de Capital sobre Ativos. Entregas: Otimização do Custo de Capital. Métricas: Custo.

Quadro 10 - Questionário Estruturado para Survey

continua

P17	Ordinal	A M&S beneficia o Planejamento de Contingências. Entregas: Preparar contingências alternativas e soluções de reserva, garantir a prontidão para os riscos inesperados. Métricas: Custo, Confiabilidade, Pontualidade na Entrega, Relacionamento com o Cliente.
P18	Ordinal	A M&S beneficia a Avaliação a Aquisição de Ativos. Entregas: Base de ativos eficaz que atende aos requisitos. Métricas: Custo e Tempo.
P19	Ordinal	A M&S beneficia a Análise de Respostas a Incidentes. Entregas: Recuperação da Criação de Valor. Métricas: Custo, Confiabilidade e Relação com o Cliente.
P20	Ordinal	A M&S beneficia a Avaliação da Operação do Ativo. Entregas: Utilização dos Ativos para Criação de Valor. Métricas: Vendas e Retorno sobre o Investimento.
P21	Ordinal	A M&S beneficia a Definição do Plano de Manutenção do Ativo. Entregas: Estratégia de Manutenção para Confiabilidade dos Ativos. Métricas: Confiabilidade, OEE e Custo.
P22	Ordinal	A M&S beneficia a Avaliação de " <i>Disposa</i> " do Ativo. Entregas: Regenerar/vender/substituir ativos após o envelhecimento ou incapacidade técnica. Métricas: Confiabilidade, OEE e Custo.
P23	Ordinal	A M&S beneficia a Avaliação do Valor Financeiro Residual do Ativo. Entregas: Registrar e auditar dados financeiros das atividades.
P24	Ordinal	A M&S beneficia a Avaliação da Condição do Ativo. Entregas: Registrar e inspecionar a integridade e o status de operação dos ativos. Métricas: Confiabilidade e Custo.
P25	Ordinal	A M&S beneficia as Análises de Causas Raízes de Problemas com os Ativos. Entregas: Investigação da causa raiz de problemas com os ativos e a lacuna de desempenho. Métricas: Confiabilidade, Criação de Valor e Custo.
P26	Ordinal	A M&S beneficia o Desenvolvimento do Plano de Melhoria Contínua do Ativo. Entregas: Planejar Melhorias específicas para abordar qualquer lacuna de desempenho.
P27	Ordinal	A M&S beneficia a Definição e Gerenciamento de um Sistema de Informações sobre os Ativos. Entregas: Coletar/Processar/Analisar as informações relativas aos ativos. Métricas: Custos.

Quadro 11 - Questionário Estruturado para Survey

		conclusão
P28	Ordinal	A M&S beneficia a Definição & Gerenciamento de Competências relativas a Gestão e Operação do Ativo. Entregas: Fornecer orientação sobre as competências necessárias para funções de gerenciamento de ativos e treinamento suficiente para a equipes. Métricas: Incidentes e Confiabilidade.
P29	Ordinal	A sua Empresa utiliza a Norma de Gestão de Ativos GFMAM (PAS55)?
P30	Ordinal	A sua Empresa utiliza a Norma de Gestão de Ativos ISO 55000?
P31	Nominal	Deixe seu comentário ou evidencia sua experiência sobre o tema da pesquisa.

Fonte: “autoria própria (2023)”

As respostas em escala *Likert* variaram entre:

1. Discordo Totalmente
2. Discordo
3. Nem Concordo e Nem Discordo
4. Concordo
5. Concordo Totalmente

A respeito da **natureza estatística dos dados obtidos**, a distinção entre dados paramétricos e não paramétricos é importante na análise estatística, pois influencia a escolha dos métodos estatísticos adequados para analisar esses dados; dados paramétricos são aqueles que seguem uma distribuição específica (normal, exponencial, etc.) e possuem parâmetros fixos que definem a forma dessa distribuição; já os dados não paramétricos são aqueles para os quais não é feita nenhuma suposição específica sobre a distribuição subjacente, esses dados geralmente incluem medições ordinais ou nominais, e os testes estatísticos não paramétricos são projetados para lidar com essas situações (BELL *et al.*, 2022).

O **teste de normalidade de Shapiro-Wilk** é baseado em uma estatística de teste que compara a distribuição dos dados observados com a distribuição teórica esperada de uma distribuição normal; a hipótese nula (H_0) do teste afirma que a amostra segue uma distribuição normal, enquanto a hipótese alternativa (H_1) afirma que a amostra não segue uma distribuição normal (FERREIRA, 2022).

Esta pesquisa possui 27 dados variáveis ordinais (Vide Quadro 7) e o resultado do teste de normalidade Shapiro-Wilk indica que os dados não seguem uma distribuição normal; isso é sugerido pelo valor da estatística de teste W, que é igual a 0,84465, e pelo valor de p (p-value), que é menor do que 2.2e-16 (ou seja, menor do

que 0,00000000000000022). Portanto, pode-se afirmar que **os testes desta pesquisa são não paramétricos**.

No âmbito da pesquisa, são conduzidos diversos testes estatísticos com o intuito de aprofundar a análise dos dados coletados. Esses testes incluirão o cálculo do Alfa de Cronbach e a aplicação do Método Bootstrap para avaliar a consistência interna das respostas, bem como a estabilidade das estimativas. Além disso, são realizados o Teste de Wilcoxon Signed-Rank, o Teste de Kruskal-Wallis e o Teste de Friedman para examinar as possíveis diferenças e relações entre as variáveis de interesse. A escolha desses testes específicos vislumbra abranger diferentes aspectos da análise estatística, considerando tanto a consistência interna das respostas como as comparações entre grupos e as relações entre variáveis. Cada teste oferece informações valiosas e complementares, permitindo uma compreensão mais abrangente dos dados. Detalhes sobre a aplicação desses testes e suas interpretações são discutidos no próximo capítulo, "Análise dos Dados", para uma análise mais aprofundada e uma melhor contextualização dos resultados obtidos.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Esse capítulo ingressa em uma etapa crítica desta dissertação, na qual os resultados da pesquisa são submetidos a uma análise rigorosa. Nesta fase, destaca-se a aplicação de testes de confiabilidade, os quais fornecerão *insights* sobre a consistência interna das respostas coletadas, bem como a estabilidade das estimativas obtidas. Além disso, são realizadas análises que consideram cuidadosamente o contexto da pesquisa, à luz do referencial teórico apresentado no Capítulo 2. Os testes estatísticos escolhidos e as interpretações resultantes desempenham um papel fundamental na compreensão das percepções dos entrevistados sobre a modelagem e simulação na gestão do ciclo de vida de ativos industriais, especialmente dentro do cenário da Indústria 4.0. Este capítulo representa um passo em direção ao alcance dos objetivos desta dissertação, proporcionando uma visão aprofundada das relações e associações entre as variáveis investigadas e contribuindo para a construção de conclusões fundamentadas.

4.1 Confiabilidade dos Dados – Cronbach & Bootstrap

O **Alpha de Cronbach** avalia a homogeneidade dos itens, ou seja, se são todos igualmente relevantes para medir o construto; nisso, há o método **Bootstrap** o qual se destaca como uma abordagem estatística sofisticada, destinada a tratar a incerteza intrínseca no universo de dados coletados. Através dessa técnica, é possível calcular um panorama de confiabilidade que suplementa os cálculos de Alfa de Cronbach na sua totalidade (MAROCO *et al.*, 2006).

A **Figura 3** ilustra o resultado do cálculo realizado pelo *Software R*, o termo *Items* refere-se ao número de variáveis analisadas (Vide Quadro 7) e o termo *Sample Units* representa o número de observações. Enfatiza-se que embora tenham-se 61 respondentes, na aplicação dos testes não paramétricos foi necessário excluir as observações que continham NA (dados nulos, campos vazios), pois não é possível a realização do teste com esses registros.

Figura 3 - Alpha de Cronbach e Bootstrap

```

Cronbach's alpha for the 'dados_sna' data-set

Items: 35
Sample units: 54
alpha: 0.769

Bootstrap 95% CI based on 1000 samples
 2.5% 97.5%
0.598 0.845

```

Fonte: “autoria própria (2023)”

Calculou-se diversos índices de consistência interna usando a função `psych::alpha`, fórmula padronizada do Alpha de Cronbach no *Software R*; conforme ilustrado as **Figura 4**.

Figura 4 - Alpha de Cronbach - Software R

```

Call: psych::alpha(x = as.matrix(ds_sna))

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean sd median_r
 0.94      0.94    0.99    0.37  16 0.013  3.6 0.58  0.35

95% confidence boundaries
      lower alpha upper
Feldt  0.91 0.94 0.96
Duhachek 0.91 0.94 0.96

```

Fonte: “autoria própria (2023)”

De acordo com Maroco *et al.* (2006), a Fórmula padronizada do Alpha de Cronbach é utilizada quando se precisa padronizar as correlações entre os itens antes de calcular o Alpha, isso é útil quando os itens possuem escalas diferentes ou quando se deseja comparar o Alpha de diferentes conjuntos de itens; abaixo os resultados obtidos pelos cálculos Bootstrap e suas possíveis interpretações.

- **raw_alpha e std.alpha de 0,94:** Tanto o "raw_alpha" quanto o "std.alpha" são coeficientes de consistência interna empregados para avaliar a confiabilidade de testes, questionários ou escalas de medida. Ambos indicam o grau de correlação entre os itens presentes na medida, fornecendo insights sobre como esses itens capturam a mesma característica subjacente (constructo). Quanto à interpretação, a presença de um "raw_alpha" e "std.alpha" igual a 0,94 sugere, em linhas gerais, uma sólida coerência interna.
- **G6(smc) de 0,99:** O G6, também conhecido como *Squared Multiple Correlation* (SMC), é uma medida de validade convergente dos itens em relação ao constructo que está sendo medido, isso indica o quanto a variância dos itens é explicada pelo

constructo subjacente. Um valor de $G6$ de 0,99 é extremamente alto e positivo, isso indica que praticamente toda a variância dos itens é explicada pelo constructo que você está tentando medir, demonstra que os itens estão altamente correlacionados com o construto em questão, sugerindo que eles medem muito bem essa característica subjacente.

- **average_r de 0,37:** A "average_r" é uma medida que avalia a correlação média entre os itens de um teste, questionário ou escala de medida, essa estatística procura compreender quão fortemente os itens estão relacionados entre si. No contexto do valor de 0,37 para a "average_r", esse valor indica uma correlação moderada entre os itens, isso significa que os itens não estão altamente correlacionados, mas também não estão completamente independentes. A correlação moderada sugere que há alguma relação entre os itens, mas esses não se comportam de maneira idêntica ou altamente similar. Entretanto, dado contexto distinto de M&S e GCVA vivido pelos respondentes, essa situação é esperada e aceitável.
- **S/N de 16:** Um *Signal-to-Noise Ratio* (Sinal-Ruído) de 16 significa que a variância do sinal, ou seja, a variância dos valores que estão relacionados ao constructo que você está medindo, é 16 vezes maior do que a variância do ruído, que representa a variância devido a erros de medição ou outros fatores não relacionados ao constructo; isso é geralmente considerado um sinal forte em relação ao ruído, o que é positivo em termos de qualidade da medida, pois indica que a influência do construto que você está medindo é substancialmente maior do que a influência do ruído ou erros de medição.
- **Intervalo de Confiança de 95%:** A interpretação prática disso é que o coeficiente Alpha calculado a partir da amostra é de 0,94 e o intervalo de confiança sugere que o coeficiente Alpha para a população em geral tem uma probabilidade de 95% de estar entre 0,91 e 0,96, isso indica uma consistência interna sólida do seu teste ou questionário, com um nível razoavelmente alto de confiança de que essa consistência se aplica à população maior da qual a amostra foi retirada.

A seguir, o **Quadros 8** apresenta o banco de dados por variável analisada pela metodologia *Bootstrap*, os quais embasaram as citadas interpretações.

Quadro 12 - Resultados Intrínsecos na Metodologia Bootstrap

Análise de confiabilidade									
Call: psych::alpha(x = as.matrix(ds_sna))									
	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
	0.94	0.94	0.99	0.37	16	0.013	3.6	0.58	0.35
95% confidence boundaries									
	lower alpha		Upper						
Feldt	0.91	0.94	0.96						
Duhachek	0.91	0.94	0.96						
Reliability if an item is dropped:									
	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
P4	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.056	0.36	
P5	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.055	0.35	
P6	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.055	0.37	
P7	0.93	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.055	0.36	
P8	0.93	0.94	0.99	0.37	16	0.014	0.057	0.35	
P9	0.93	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.056	0.36	
P10	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.056	0.37	
P11	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.057	0.35	
P12	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.058	0.35	
P13	0.94	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.057	0.36	
P14	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.055	0.35	
P15	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.055	0.34	
P16	0.93	0.94	0.99	0.37	16	0.013	0.056	0.35	
P17	0.93	0.94	0.99	0.38	16	0.013	0.057	0.35	
P18	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.055	0.34	
P19	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.013	0.055	0.35	
P20	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.056	0.33	
P21	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.013	0.055	0.35	
P22	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.013	0.055	0.35	
P23	0.93	0.94	0.99	0.37	16	0.013	0.056	0.35	
P24	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.056	0.34	
P25	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.055	0.35	
P26	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.055	0.35	
P27	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.013	0.055	0.35	
P28	0.93	0.94	0.99	0.37	15	0.014	0.054	0.35	
P29	0.94	0.94	0.99	0.40	17	0.012	0.049	0.37	
P30	0.94	0.94	0.99	0.39	16	0.013	0.056	0.38	

Fonte: "autoria própria (2023)"

4.2 Distinção dos Dados

A análise dos dados coletados em uma pesquisa por meio de um questionário estruturado é fundamental para extrair *Insights* significativos e embasar conclusões robustas. Neste capítulo, explora-se a importância dos testes estatísticos como ferramentas essenciais na interpretação dos resultados obtidos, utilizando o Teste de

Wilcoxon Signed-Rank para avaliar diferenças entre pares de observações relacionadas, o Teste de Kruskal-Wallis para identificar diferenças significativas entre grupos independentes e o Teste de Friedman para analisar variações em dados pareados em múltiplas condições.

A aplicação destes testes estatísticos oferece uma base sólida para compreender a natureza das respostas dos participantes e permite-nos avançar para a apresentação dos resultados com uma perspectiva analítica rigorosa.

4.2.1 Teste de Wilcoxon Signed-Rank

De acordo com Woolson (2007), o Teste de Wilcoxon *Signed-Rank* é um método estatístico não paramétrico para comparar diferenças entre duas amostras relacionadas, como antes e depois de uma intervenção, é usado quando os dados não são normalmente distribuídos ou quando outras suposições não são atendidas; esse teste avalia se as diferenças têm um efeito significativo, considerando a ordem das diferenças em vez dos valores exatos; abaixo as hipóteses desse teste.

- **Hipótese nula (H₀):** Afirma que não há diferença significativa entre as duas distribuições populacionais.
- **Hipótese alternativa (H_a):** Afirma que há uma diferença significativa entre as duas distribuições populacionais.

A seguir, uma explicação geral dos cálculos realizados:

- **Estatística do Teste (V):** A estatística de Teste V é calculada ao classificar as diferenças entre os pares de observações em ordem absoluta e atribuindo a elas um rank. A estatística V é a soma dos ranks positivos ou negativos, dependendo de qual diferença é maior; a estatística V é usada para avaliar a magnitude da diferença entre as duas distribuições.
- **P-valor:** O p-valor é uma medida de probabilidade que indica a probabilidade de obter uma estatística de teste tão extrema quanto a observada, sob a hipótese nula ser verdadeira; um p-valor pequeno (geralmente menor que um nível de significância pré-definido, como 0,05 sugere que a diferença entre as duas distribuições é estatisticamente significativa, pois tem-se evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula em favor da hipótese alternativa.

O **Quadro 9** apresenta os resultados do teste Wilcoxon, com isso, foi possível verificar que a maioria (69%) das variáveis não possuem diferença significativa na distribuição dos dados. No entanto, é importante lembrar que a falta de diferença significativa no teste não garante que as duas amostras sejam iguais; pode ser que o tamanho da amostra ou a sensibilidade do teste não sejam suficientes para detectar diferenças sutis.

Quadro 13 - Resultados do Teste Wilcoxon Signed-Rank

Variáveis	Teste (V)	p-value	Resultado
P4 e P5	14,00	0,00	Há diferença
P5 e P6	599,00	0,01	Há diferença
P6 e P7	62,00	0.9296	Não há diferença
P7 e P8	62.5	0.5275	Não há diferença
P8 e P9	19.5	0.01569	Há diferença
P9 e P10	42,00	0.8366	Não há diferença
P10 e P11	238.5	0.007446	Há diferença
P11 e P12	42,00	0,00	Há diferença
P12 e P13	42,00	0.1373	Não há diferença
P13 e P14	64,00	0.8349	Não há diferença
P14 e P15	16,00	0.4537	Não há diferença
P15 e P16	71.5	0.2102	Não há diferença
P16 e P17	51,00	0.3625	Não há diferença
P17 e P18	68.5	1,00	Não há diferença
P18 e P19	53,00	0.6102	Não há diferença
P19 e P20	115,00	0.4041	Não há diferença
P20 e P21	53,00	0.1505	Não há diferença
P21 e P22	56,00	0.0363	Há diferença
P22 e P23	51,00	0.9476	Não há diferença
P23 e P24	72.5	0.8568	Não há diferença
P24 e P25	48,00	0.2634	Não há diferença
P25 e P26	27.5	1,00	Não há diferença
P26 e P27	18	0,178	Não há diferença
P27 e P28	105	0,005158	Há diferença
P28 e P29	726,5	0,000002057	Há diferença
P29 e P30	39	0,07391	Não há diferença

Fonte: “autoria própria (2023)”

Ao observar diferenças nas distribuições das respostas em escala *Likert* pelo teste de Wilcoxon *Signed-Rank*, é importante considerar que as disparidades encontradas podem ser influenciadas por diversos fatores, essas diferenças podem ser atribuídas a variações nas percepções, experiências e conhecimentos dos participantes, bem como às particularidades do contexto em que as perguntas foram apresentadas.

A natureza das respostas em escala *Likert* pode ser sensível a nuances de interpretação e preferências individuais, o que pode resultar em divergências nas

distribuições. Além disso, as perguntas podem ter sido compreendidas de maneiras diferentes por diferentes respondentes, levando a respostas variadas.

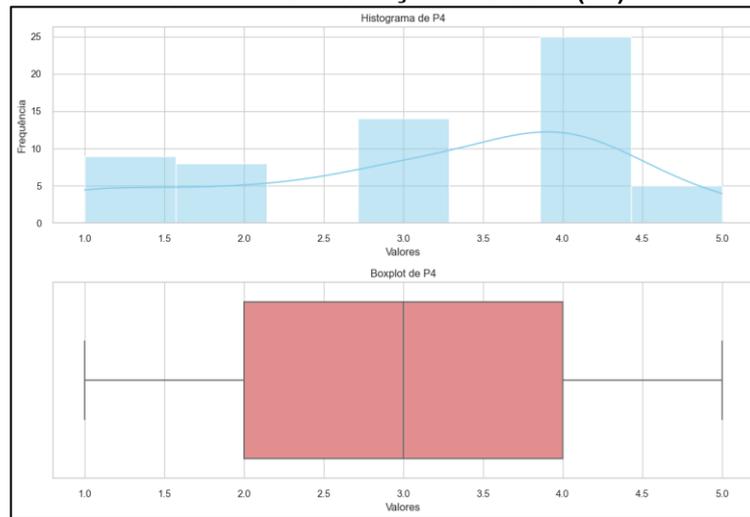
No contexto das atividades de Gestão de Ativos, a adoção da M&S pode ser afetada por vários fatores, como a maturidade da organização em relação à Indústria 4.0, a disponibilidade de recursos tecnológicos e financeiros, e a natureza dos ativos gerenciados. Portanto, as diferenças nas distribuições das respostas podem refletir as diferentes realidades operacionais e estratégias adotadas pelas empresas.

Além disso, o uso de tecnologias da Indústria 4.0 para coletar dados sobre ativos industriais pode ser percebido de maneira distinta por diferentes organizações; algumas empresas podem considerar essas tecnologias como essenciais para obter *Insights* e tomar decisões informadas, enquanto outras podem adotar uma abordagem mais tradicional.

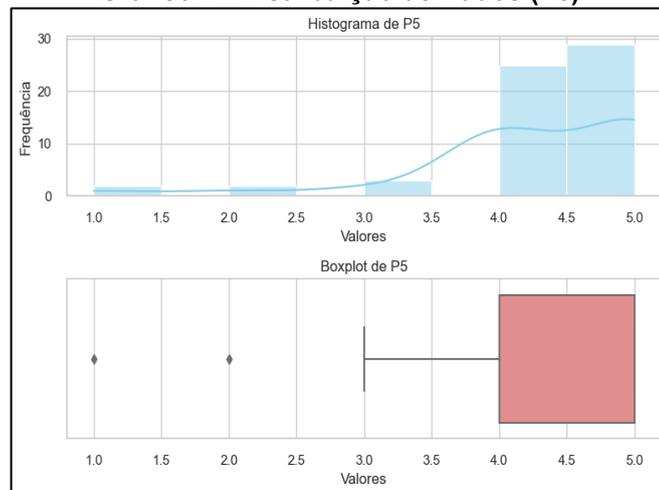
É fundamental lembrar que a adoção da M&S nas várias etapas do ciclo de vida de ativos industriais envolve uma combinação complexa de fatores, incluindo cultura organizacional, estratégias de negócios e infraestrutura tecnológica. Portanto, as diferenças nas distribuições das respostas podem refletir as diferentes prioridades, necessidades e capacidades das organizações pesquisadas.

A respeito da pergunta relacionada ao uso da M&S nas atividades de Gestão de Ativos em diferentes estágios do ciclo de vida, a resposta pode variar de acordo com a organização e sua situação específica; o uso eficaz da M&S nessas etapas pode depender da complexidade dos ativos, das metas de desempenho, das estratégias de manutenção e das abordagens de substituição ou desativação adotadas pela empresa.

Por fim, é possível criar hipóteses, até mesmo ilustrando oportunidades à futuras pesquisas; por exemplo: É possível supor que uma diferença na distribuição das respostas entre as perguntas 4 e 5 – (P4) "A sua empresa utiliza os dados obtidos pelas tecnologias da Indústria 4.0 na M&S?" e (P5) "As tecnologias da Indústria 4.0 são importantes para coletar dados sobre os ativos industriais?" - possa ser atribuída às percepções diferenciadas entre o uso real e a importância percebida das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão de ativos industriais. Os **Gráficos 1 e 2** ilustram as distribuições de dados das perguntas P4 e P5.

Gráfico 1 - Distribuição de Dados (P4)

Fonte: “autoria própria (2023)”

Gráfico 2 - Distribuição de Dados (P5)

Fonte: “autoria própria (2023)”

A diferença entre as distribuições também poderia estar na **hipótese** de que enquanto a primeira pergunta (P4) aborda diretamente o uso prático das tecnologias da Indústria 4.0 na modelagem e simulação (M&S), a segunda pergunta (P5) se concentra na percepção geral da importância dessas tecnologias para a coleta de dados sobre ativos industriais.

A diferença entre as respostas pode surgir devido a vários fatores, como:

- **Percepção versus Implementação:** As empresas podem reconhecer a importância das tecnologias da Indústria 4.0 para coletar dados, mas podem não ter implementado totalmente essas tecnologias em suas operações de M&S.
- **Falta de Conscientização:** Alguns participantes podem não estar cientes das tecnologias específicas que se enquadram na categoria da Indústria 4.0 ou de como elas se aplicam à coleta de dados.
- **Barreiras de Implementação:** Mesmo reconhecendo a importância, as empresas podem enfrentar barreiras técnicas, financeiras ou culturais que impedem a adoção completa das tecnologias da Indústria 4.0.
- **Variações Contextuais:** A percepção da importância das tecnologias da Indústria 4.0 pode variar com base no setor industrial, tamanho da empresa, nível de digitalização existente e outras circunstâncias específicas.
- **Crenças e Expectativas Individuais:** As respostas podem ser influenciadas pelas crenças pessoais dos respondentes em relação à eficácia das tecnologias da Indústria 4.0 ou à relevância da M&S em suas operações.

Portanto, essa **hipótese** sugere que a diferença nas distribuições das respostas entre as duas perguntas pode estar relacionada à intersecção entre a implementação prática das tecnologias da Indústria 4.0 na M&S e a percepção da importância dessas tecnologias para a coleta de dados sobre ativos industriais. A discrepância entre as respostas pode refletir a complexa interação entre realidade operacional, conscientização e avaliação subjetiva das tecnologias envolvidas.

4.2.2 Teste de Kruskal-Wallis

O Teste de Kruskal-Wallis é um método estatístico não paramétrico para comparar as medianas de três ou mais grupos independentes quando os dados não são normalmente distribuídos, esse teste determina se há diferenças significativas entre os grupos sem fazer suposições sobre a distribuição dos dados HECKE (2012). O **Quadro 10** apresenta as variáveis aplicadas neste teste, e limitou-se nessas visando verificar se esses grupos têm diferenças significantes em relação às variáveis medidas.

Quadro 14 - Variáveis aplicadas no Teste de Kruskal-Wallis

Variável	Categoria	Descrição
Setor	Nominal	Qual é o macro setor de atuação da empresa em que você trabalha?
Porte	Nominal	Qual o porte da sua empresa?
Cargo	Nominal	Qual seu papel profissional?
Escolaridade	Nominal	Qual seu maior nível acadêmico?
P1	Nominal	Qual seu Nível de Conhecimento sobre Gestão de Ativos Industriais?
P2	Nominal	Qual seu Nível de Conhecimento sobre M&S?
P3	Nominal	Quais tecnologias da Indústria 4.0 a sua empresa utiliza para coletar dados sobre os ativos industriais?

Fonte: “autoria própria (2023)”

O resultado do teste Kruskal-Wallis demonstra que há diferenças significativas entre os grupos, e o valor do teste estatístico é de 65,25 com 6 graus de liberdade e um p-valor extremamente baixo de $3,836e-12$.

O resultado obtido indica que, pelo menos, um dos grupos formados pelas variáveis mencionadas tem uma distribuição estatisticamente diferente dos outros grupos; o que sugere que existe uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas e isso pode indicar que essas variáveis estão relacionadas.

Portanto, ao identificar diferenças significativas entre os grupos, valida-se a hipótese de que as características dos diferentes grupos têm influência nas variáveis em estudo, e isso pode fornecer *insights* sobre como esses fatores estar relacionados aos benefícios da modelagem e simulação na gestão do ciclo de ativos industriais.

4.2.3 Teste de Friedman

O teste de Friedman é uma extensão do teste de Kruskal-Wallis, que é um teste não paramétrico e considera a ordem das observações dentro de cada grupo (Vide Quadro 10), é adequado quando os dados não seguem uma distribuição normal, para verificar se há diferenças significativas entre três ou mais grupos em uma variável medida em uma escala ordinal ou categórica, como a escala *Likert* (PONTES, 2000).

O resultado da estatística de teste é de 268,64, os graus de liberdade (df) indicam o número de grupos menos um. No presente caso, possui-se 27 grupos (variáveis categóricas) e, ao subtrair 1, obtém-se um total de 26 graus de liberdade. O valor-p corresponde à probabilidade associada à estatística de teste, isso reflete a medida de evidência contra a hipótese nula, que sugere ausência de diferenças significativas entre os grupos; na análise fornecida, o valor-p é menor que $2,2e-16$.

Dada a diminuta magnitude do valor-p, pode-se inferir a presença de diferenças significativas entre as variáveis; sendo assim, os grupos representados pelas variáveis apresentam médias pontuais divergentes na escala *Likert*; conseqüentemente, a hipótese nula de equivalência entre as variáveis é rejeitada, e podemos concluir que pelo menos um grupo detém uma pontuação média notavelmente distinta dos demais. Dessa forma, os resultados indicam que a pesquisa capturou variações substanciais entre os grupos na variável medida através da escala *Likert*, isso tem implicações significativas para a interpretação dos dados coletados e a possível influência dos grupos sobre as respostas dos participantes.

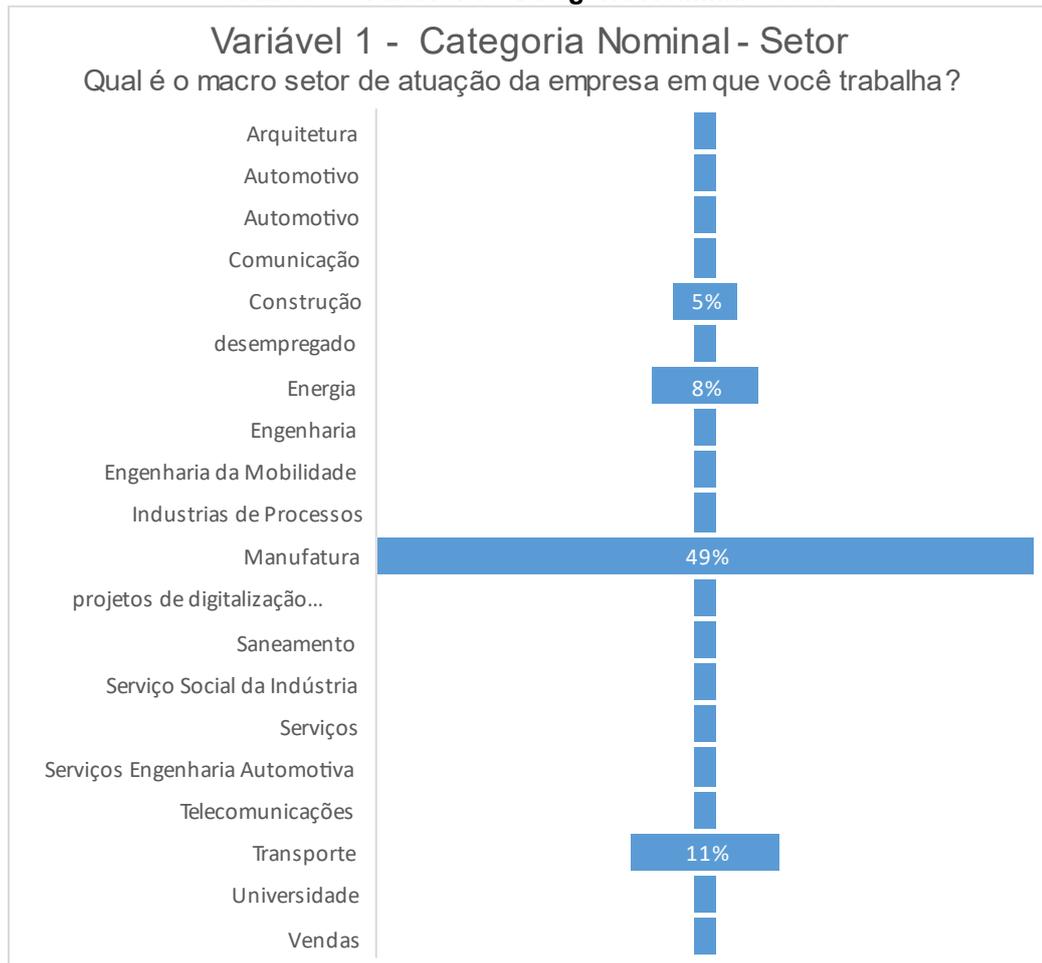
Portanto, as análises realizadas nesse capítulo desempenharam um papel fundamental na fortificação da validade e da robustez dos resultados. Por meio dos testes, confirmou-se uma base sólida de dados com uma veracidade estatística que não apenas eleva a credibilidade das conclusões, mas também contribui para a confiança nas implicações mais amplas deste estudo, possibilitando a sua aplicação em contextos práticos e enriquecendo o conhecimento acadêmico de forma significativa.

5 RESULTADOS DA PESQUISA

A partir deste ponto, esse estudo busca apresentar as evidências empíricas que respaldam as teorias e conceitos abordados no referencial teórico, contribuindo assim para a compreensão mais aprofundada das práticas de gestão de ciclo de vida de ativos no contexto da Indústria 4.0. Os resultados e dissertações a respeito serão apresentados seguindo a ordem do questionário estruturado, apresentado e comentado no capítulo 3.

A pergunta **“Qual é o macro setor de atuação da empresa em que você trabalha?”** desempenha um papel crucial na pesquisa que busca analisar a percepção de profissionais sobre os benefícios da Modelagem e Simulação na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais. Esta informação é fundamental para contextualizar e interpretar os resultados da pesquisa de maneira mais abrangente e precisa.

Gráfico 3 - Variável 1 - Categoria Nominal - Setor



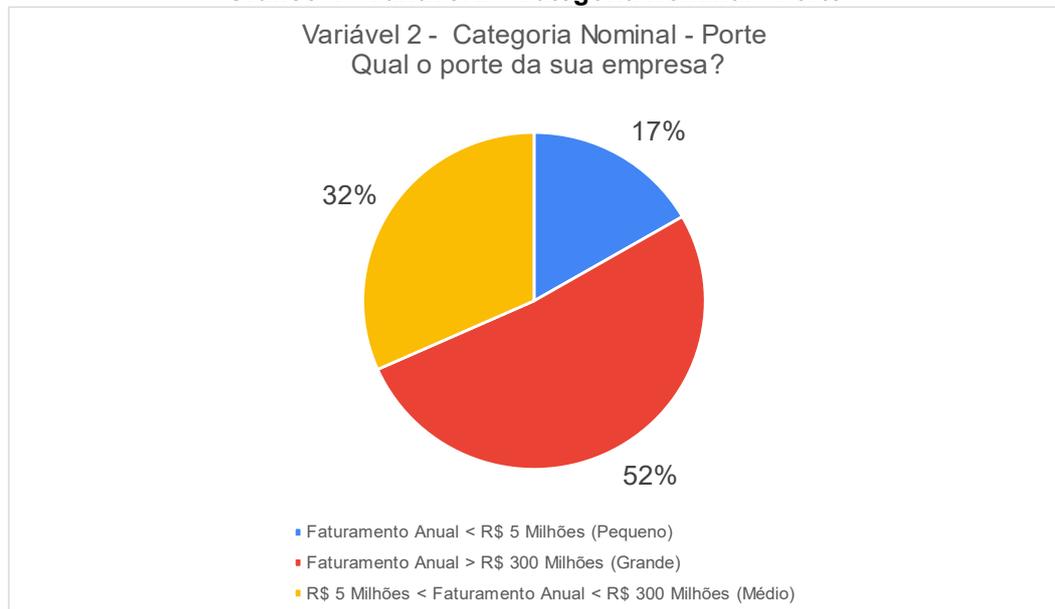
Fonte: “autoria própria (2023)”

O **Gráfico 3** demonstra o perfil diversificado dos 61 respondentes nesta pesquisa e reflete uma amostra representativa de várias características relacionadas ao setor industrial; do total de respondentes, 49% estão ligados ao setor de manufatura, demonstrando uma forte presença desse segmento na pesquisa.

A coleta de informações sobre o **“Porte da Empresa”** dos respondentes é igualmente crucial para a pesquisa sobre a percepção dos profissionais em relação à Modelagem e Simulação na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais.

O **Gráfico 4** demonstra que a maioria (52%) pertence à categoria grande, sugerindo uma participação significativa de organizações de maior porte. Ao obter dados sobre o porte da empresa, a pesquisa pode avaliar se a percepção dos benefícios da Modelagem e Simulação varia conforme o tamanho da organização. Isso é fundamental para a adaptação de abordagens e soluções que sejam adequadas às necessidades e recursos de empresas de diferentes portes.

Gráfico 4 - Variável 2 - Categoria Nominal - Porte

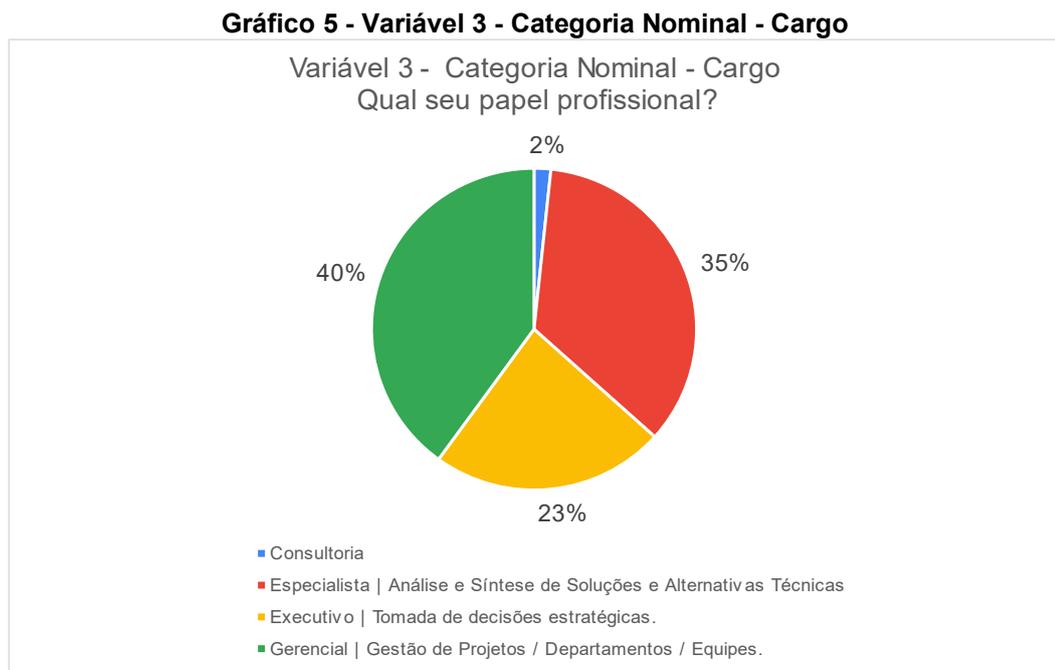


Fonte: “autoria própria (2023)”

A inclusão da pergunta sobre o **“Qual seu papel profissional?”** é igualmente essencial na pesquisa sobre a percepção de profissionais em relação à Modelagem e Simulação na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais.

O **cargo** que um profissional ocupa em uma organização desempenha um papel fundamental na influência e na tomada de decisões relacionadas à gestão de ativos; diferentes cargos têm diferentes perspectivas e responsabilidades, o que pode

afetar diretamente como eles percebem e valorizam as práticas de modelagem e simulação. Portanto, entender o cargo dos respondentes ajuda a contextualizar as respostas e a identificar como a percepção varia de acordo com as responsabilidades e o ponto de vista profissional. O **Gráfico 5** apresenta 40% dos respondentes ocupando cargos gerenciais, indicando a presença de profissionais com influência nas decisões sobre os processos; tanto quanto 35% de Especialistas, o que sugere uma boa compreensão sobre o valor e análise das informações na resolução de problemas.



Fonte: “autoria própria (2023)”

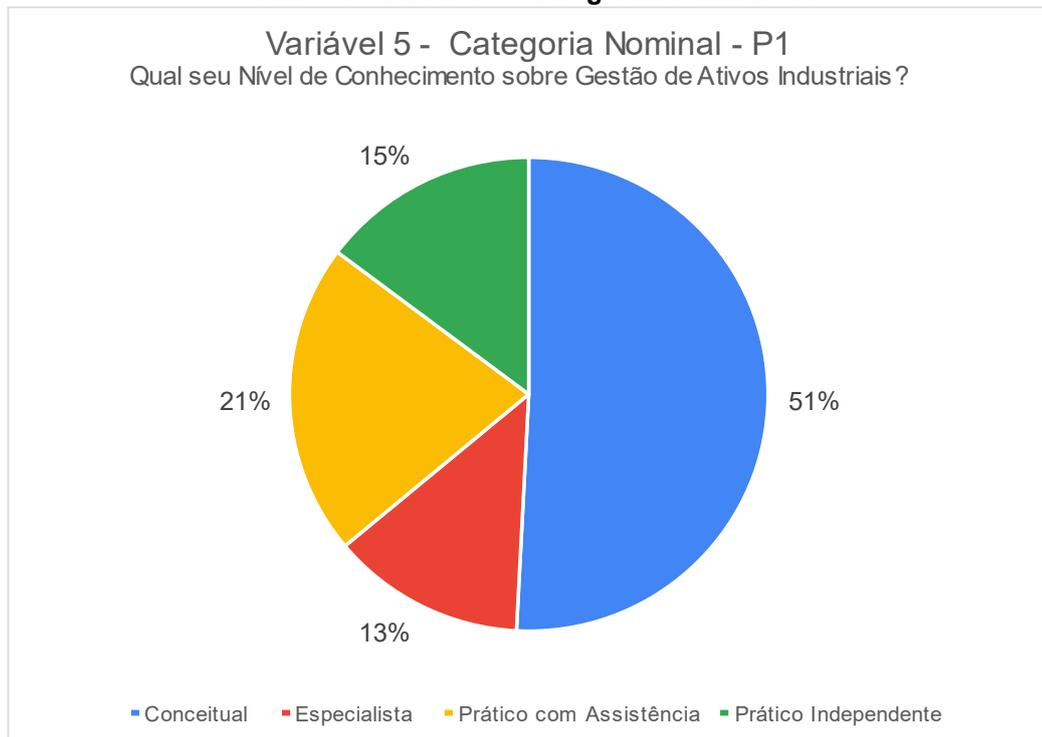
A escolaridade nessa pesquisa é obtida pela pergunta **“Qual seu maior nível acadêmico?”**, pois isso pode refletir a capacitação dos profissionais de compreensão de conceitos complexos e sua habilidade para tomar decisões críticas. O **Gráfico 6** apresenta que 49% possuem especialização e 31% mestrado. Essa maior formação educacional pode indicar uma compreensão aprofundada e uma maior habilidade para lidar com conceitos complexos e abstratos, o que é relevante para a análise e aplicação da modelagem e simulação em ambientes industriais.

Os resultados da pesquisa revelam pelos **Gráficos 7 e 8**, informações interessantes sobre a percepção e o nível de conhecimento das pessoas em relação à gestão de ativos industriais e às tecnologias de Modelagem e Simulação (M&S); é notável que a maioria dos participantes (51%) possui um nível de conhecimento

prático e autônomo em relação à gestão de ativos industriais, sugerindo uma familiaridade substancial com os princípios e práticas associados a essa área.

Entretanto, chama a atenção que 21% dos respondentes têm conhecimento prático, mas reconhecem a necessidade de suporte. A maioria dos respondentes (61%) possui conhecimento conceitual sobre tecnologias de modelagem e simulação (M&S); isso sugere que muitos têm uma compreensão teórica do que a M&S envolve, mesmo que possam não estar totalmente envolvidos na aplicação prática. Contudo, é interessante notar que 23% dos participantes possuem conhecimento prático sobre M&S, mas ainda precisam de assistência, e pode indicar que uma parcela significativa já experimentou a aplicação real de M&S, mas reconhece que há espaço para aprimoramento.

Gráfico 6 - Variável 5 - Categoria Nominal - P1



Fonte: "autoria própria (2023)"

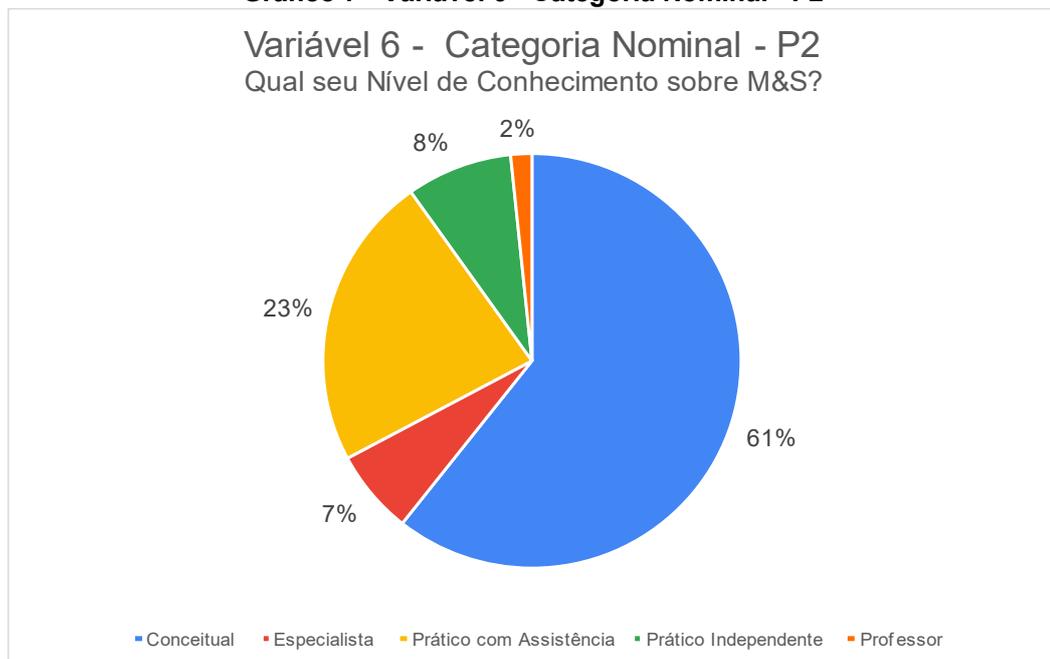
Os resultados da pesquisa podem apontar para uma possível correlação entre os níveis de conhecimento na gestão de ativos industriais e a familiaridade com M&S; aqueles que já possuem um nível prático de conhecimento em gestão de ativos podem estar mais inclinados a entender e aplicar efetivamente as tecnologias de M&S em suas operações; todavia, para os que reconhecem a necessidade de assistência em ambas as áreas, isso pode sugerir uma oportunidade para programas de capacitação

e treinamento que abordem tanto os aspectos da gestão de ativos industriais quanto as técnicas de M&S.

Dado que uma parcela significativa dos participantes reconhece a necessidade de assistência em ambas as áreas, há uma oportunidade para desenvolver recursos educacionais, *workshops* ou consultoria para preencher essas lacunas de conhecimento.

Uma abordagem abrangente que combine aspectos teóricos e práticos pode ser benéfica para permitir que os indivíduos adquiram conhecimentos sólidos e aplicáveis em gestão de ativos e M&S.

Gráfico 7 - Variável 6 - Categoria Nominal - P2



Fonte: "autoria própria (2023)"

Portanto, os resultados da pesquisa indicam tanto um interesse quanto uma necessidade em relação à gestão de ativos industriais e à aplicação de tecnologias de modelagem e simulação. Há potencial para desenvolver estratégias de capacitação e suporte que atendam às necessidades variadas dos respondentes e auxiliem na adoção efetiva dessas práticas e tecnologias na indústria.

Esta pesquisa também questiona sobre "**Quais tecnologias da Indústria 4.0 a sua empresa utiliza para coletar dados sobre os ativos industriais?**".

O **Gráfico 8** ilustra a distribuição e percentual de **Adoção de tecnologias i4.0 na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA)** em diferentes portes industriais; a

pergunta permite ao respondente escolher múltiplas opções, o valor atribuído a cada item exibe variações (Grande Porte: 99 respostas; Médio Porte: 41 respostas; Pequeno Porte: 27 respostas); com base nisto, os percentuais correspondentes a cada item foram calculados em relação ao total de respostas dentro de cada categoria.

Gráfico 8 - Variável 7 - Nominal - P7



Fonte: “autoria própria (2023)”

Esta pesquisa entre respondentes de empresas de diferentes portes sobre as tecnologias da Indústria 4.0 permiti obter *insights* sobre como essas empresas estão se adaptando às tendências tecnológicas contemporâneas; também poderia revelar quais tecnologias são mais acessíveis ou adequadas para diferentes escalas de negócios, bem como identificar desafios e oportunidades específicos enfrentados por cada porte de empresa na adoção dessas tecnologias; isso tudo poderia ser um escopo para pesquisas futuras.

As análises a seguir estão organizadas em 3 grupos, esses estão organizados por um tema comum entre as perguntas contidas no grupo. Os **Quadros 11, 12 e 13** contém as perguntas de cada grupo e estão acompanhados de Gráficos contendo a distribuição das respostas, comentários e considerações da pesquisa a respeito dos

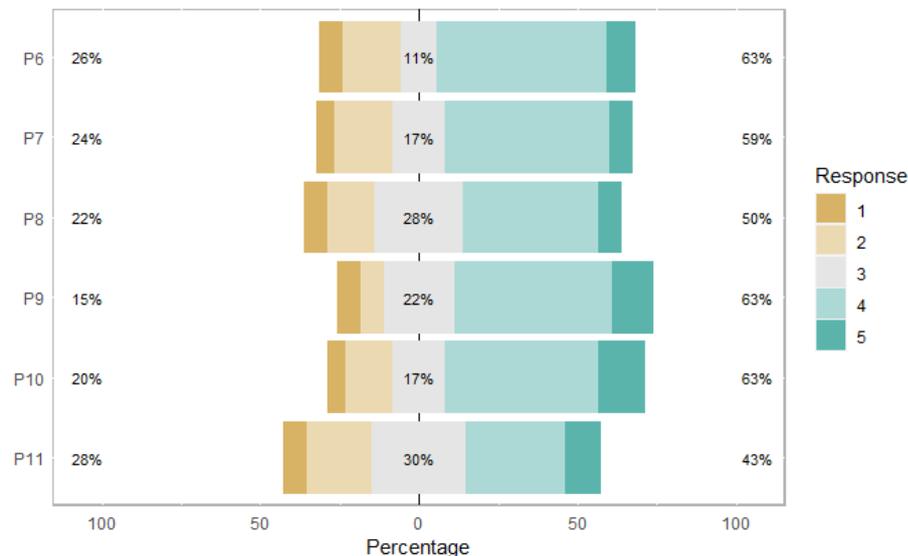
dados; isto é possível pela credibilidade conferida pelos prévios testes estatísticos, explicados no Capítulo 4.

Quadro 15 - Grupo 1 - Utilização de M&S na GCVA

Variável	Descrição
P6	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Planejamento: Neste estágio, é feita a análise de viabilidade do projeto, definição de requisitos, escolha de fornecedores e planejamento do orçamento.
P7	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Aquisição ou Fabricação: Neste estágio, o ativo é adquirido ou fabricado de acordo com o planejamento estabelecido.
P8	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Instalação: Neste estágio, o ativo é instalado e configurado em sua localização final.
P9	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Operação: Neste estágio, o ativo é utilizado para realizar sua função específica.
P10	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Manutenção: Neste estágio, o ativo é mantido para garantir sua performance e disponibilidade ao longo do tempo.
P11	A sua empresa utiliza M&S nas atividades de Gestão de Ativos relativas a: * Substituição ou Desativação: Neste estágio, o ativo é substituído ou desativado quando não é mais necessário ou se torna obsoleto.

Fonte: “autoria própria (2023)”

Gráfico 9 - Grupo 1 - % de Aplicação M&S por etapa GCVA (Quadro 11)



Fonte: “autoria própria (2023)”

Com base nas respostas fornecidas pelos participantes sobre o uso da Modelagem e Simulação (M&S) na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos (GCVA) ilustradas no **Gráfico 9** nas diferentes etapas da gestão de ativos, podem ser feitas as seguintes conclusões gerais:

- **Planejamento:** A etapa de planejamento é a mais favorecida no uso de M&S, com 63% dos respondentes concordando com sua utilização, isso sugere que a M&S é vista como uma ferramenta valiosa para analisar a viabilidade de projetos, definir requisitos, selecionar fornecedores e criar planos de orçamento.
- **Aquisição ou Fabricação:** A utilização de M&S na etapa de aquisição ou fabricação também é considerável, com 59% dos respondentes concordando com sua aplicação, isso indica que a M&S é reconhecida como benéfica para garantir que os ativos sejam adquiridos ou fabricados de acordo com o planejamento estabelecido.
- **Instalação:** A etapa de instalação tem um nível intermediário de concordância, com 50% dos respondentes indicando seu uso, isso sugere que a M&S é menos frequentemente empregada nessa etapa, talvez devido à natureza prática da instalação de ativos.
- **Operação e Manutenção:** As etapas de operação e manutenção são bem atendidas pelo uso de M&S, com 63% dos respondentes concordando com sua aplicação, isso indica que a M&S é reconhecida como uma ferramenta importante para otimizar o uso contínuo e a manutenção de ativos ao longo do tempo.
- **Substituição ou Desativação:** A etapa de substituição ou desativação é a menos atendida pelo uso de M&S, com apenas 43% dos respondentes concordando com sua utilização, isso pode indicar uma oportunidade para aumentar a aplicação da M&S nessa fase, possivelmente para melhorar o planejamento de substituição ou desativação de ativos.

A respeito dos Benefícios da M&S na GCVA, considerando as respostas fornecidas pelos participantes, fica evidente que a Modelagem e Simulação desempenham um papel fundamental na gestão do ciclo de vida de ativos industriais. A alta taxa de concordância em várias áreas-chave sugere que a M&S é uma ferramenta valiosa que oferece benefícios significativos em várias etapas do gerenciamento de ativos.

O **Quadro 12** apresenta o agrupamento das perguntas relacionadas aos benefícios da M&S na GCVA, e o **Gráfico 10** ilustra o percentual (%) desses benefícios percebidos entre os respondentes.

Quadro 16 - Grupo 2 – Benefícios da M&S na GCVA

continua

Variável	Descrição
P12	A M&S beneficia o Planejamento Estratégico de Ativos. Entregas: Escopo de ativos, estratégia de planejamento de ativos, política de metas de gerenciamento e regulamentos das atividades. Métricas: Custo, Confiabilidade, Criação de Valor e Satisfação do Cliente.
P13	A M&S beneficia a Análise de Demandas Técnicas de Processos e Volumes de Trabalho ao Ativo. Entregas: Projeto da capacidade do ativo e sua instalação física. Métricas: Custo, Confiabilidade, Capacidade e Criação de Valor.
P14	A M&S beneficia o Desenvolvimento do Plano Estratégico de Ativos. Entregas: Integração de sistemas e alocação de ativos, planejar atribuição de trabalho e metas específicas. Métricas: OEE, Custo, Confiabilidade e Criação de Valor Total.
P15	A M&S beneficia a Análise de Criticidades sobre os Ativos. Entregas: Priorização dos ativos de acordo com as necessidades da gestão. Métricas: Custo e Confiabilidade.
P16	A M&S beneficia as Justificativas de Decisões de Capital sobre Ativos. Entregas: Otimização do Custo de Capital. Métricas: Custo.
P17	A M&S beneficia o Planejamento de Contingências. Entregas: Preparar contingências alternativas e soluções de reserva, garantir a prontidão para os riscos inesperados. Métricas: Custo, Confiabilidade, Pontualidade na Entrega, Relacionamento com o Cliente.
P18	A M&S beneficia a Avaliação a Aquisição de Ativos. Entregas: Base de ativos eficaz que atende aos requisitos. Métricas: Custo e Tempo.
P19	A M&S beneficia a Análise de Respostas a Incidentes. Entregas: Recuperação da Criação de Valor. Métricas: Custo, Confiabilidade e Relação com o Cliente.
P20	A M&S beneficia a Avaliação da Operação do Ativo. Entregas: Utilização dos Ativos para Criação de Valor. Métricas: Vendas e Retorno sobre o Investimento.

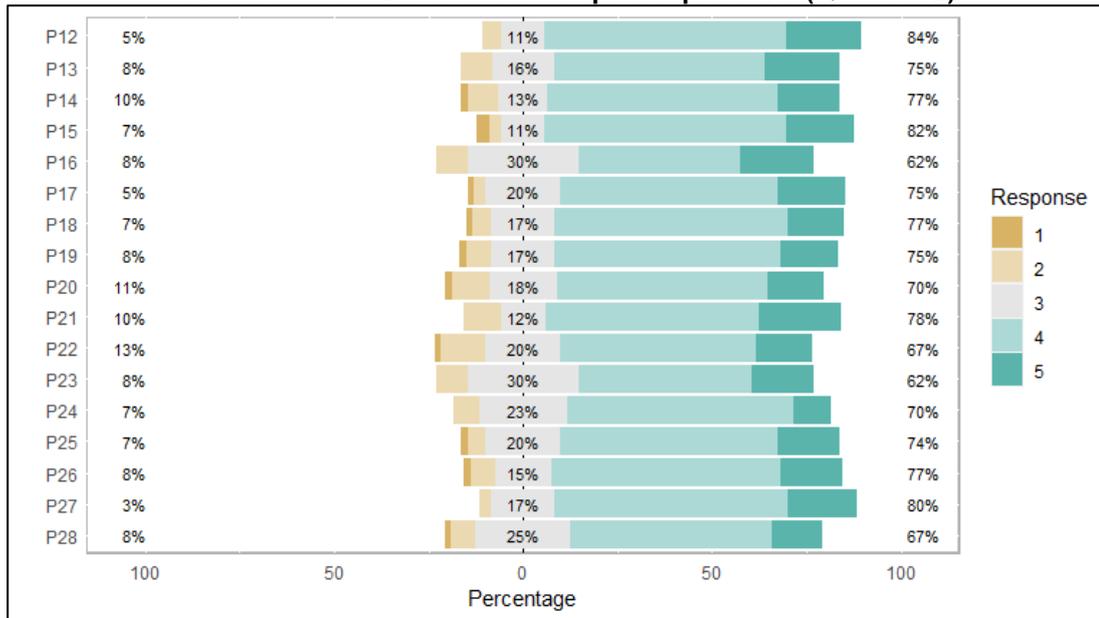
Quadro 17 - Grupo 2 – Benefícios da M&S na GCVA

	conclusão
P21	A M&S beneficia a Definição do Plano de Manutenção do Ativo. Entregas: Estratégia de Manutenção para Confiabilidade dos Ativos. Métricas: Confiabilidade, OEE e Custo.
P22	A M&S beneficia a Avaliação de "Disposa" do Ativo. Entregas: Regenerar/vender/substituir ativos após o envelhecimento ou incapacidade técnica. Métricas: Confiabilidade, OEE e Custo.
P23	A M&S beneficia a Avaliação do Valor Financeiro Residual do Ativo. Entregas: Registrar e auditar dados financeiros das atividades.
P24	A M&S beneficia a Avaliação da Condição do Ativo. Entregas: Registrar e inspecionar a integridade e o status de operação dos ativos. Métricas: Confiabilidade e Custo.
P25	A M&S beneficia as Análises de Causas Raízes de Problemas com os Ativos. Entregas: Investigação da causa raiz de problemas com os ativos e a lacuna de desempenho. Métricas: Confiabilidade, Criação de Valor e Custo.
P26	A M&S beneficia o Desenvolvimento do Plano de Melhoria Contínua do Ativo. Entregas: Planejar Melhorias específicas para abordar qualquer lacuna de desempenho.
P27	A M&S beneficia a Definição e Gerenciamento de um Sistema de Informações sobre os Ativos. Entregas: Coletar/Processar/Analisar as informações relativas aos ativos. Métricas: Custos.
P28	A M&S beneficia a Definição & Gerenciamento de Competências relativas a Gestão e Operação do Ativo. Entregas: Fornecer orientação sobre as competências necessárias para funções de gerenciamento de ativos e treinamento suficiente para a equipes. Métricas: Incidentes e Confiabilidade.

Fonte: "autoria própria (2023)"

A pesquisa revelou que a M&S tem um impacto positivo no **planejamento estratégico de ativos**, visto que 84% dos participantes concordam com isso, essa abordagem permite uma previsão mais precisa e informada das necessidades futuras dos ativos, contribuindo para decisões estratégicas mais sólidas.

Gráfico 10 - % de Benefícios M&S por etapa GCVA (Quadro 12)



Fonte: “autoria própria (2023)”

No caso da **Análise de Demandas Técnicas de Processos e Volumes** de Trabalho ao Ativo, 75% dos respondentes concordam que a M&S é vantajosa. Isso resulta na melhoria do projeto da capacidade do ativo e de sua instalação física, com métricas como custo, confiabilidade, capacidade e criação de valor sendo cuidadosamente monitoradas.

Para o **Desenvolvimento do Plano Estratégico de Ativos**, 77% dos respondentes acreditam que a M&S é uma ferramenta valiosa. A M&S facilita a integração de sistemas e a alocação eficaz de ativos, permitindo o planejamento de atribuições de trabalho e metas específicas. Métricas como OEE, custo, confiabilidade e criação de valor total são usadas para avaliar o sucesso.

A **Análise de Críticas sobre os Ativos** é beneficiada por M&S de acordo com 82% dos respondentes. Isso ajuda na priorização dos ativos com base nas necessidades da gestão, acompanhada por métricas de custo e confiabilidade para garantir a eficácia da análise.

A M&S beneficia as **Justificativas de Decisões de Capital sobre Ativos** em 62% das respostas. Isso se traduz em otimização do custo de capital por meio de uma análise aprofundada. A métrica principal avaliada é o custo, destacando sua importância no contexto das decisões de capital.

No âmbito do **Planejamento de Contingências**, 75% dos respondentes reconhecem a utilidade da M&S. Isso envolve a preparação de contingências

alternativas e soluções de reserva para garantir a prontidão para os riscos inesperados. Métricas como custo, confiabilidade, pontualidade na entrega e relacionamento com o cliente são consideradas nesse processo.

A M&S também é vista como benéfica na **Avaliação da Aquisição de Ativos** por 77% dos respondentes. Ela contribui para a construção de uma base de ativos eficaz que atende aos requisitos específicos. As métricas de custo e tempo são fundamentais para avaliar a eficácia dessa aquisição.

Quando se trata da **Análise de Respostas a Incidentes**, 75% dos respondentes veem a M&S como uma ferramenta útil. Isso resulta na recuperação da criação de valor após incidentes, com métricas como custo, confiabilidade e relação com o cliente sendo monitoradas de perto.

A M&S beneficia a **Avaliação da Operação do Ativo** de acordo com 70% das respostas. Ela ajuda a utilizar os ativos de maneira eficaz para criar valor, com métricas como vendas e retorno sobre o investimento sendo indicadores-chave de desempenho.

No contexto da **Definição do Plano de Manutenção do Ativo**, 78% dos respondentes reconhecem a utilidade da M&S. Isso inclui a elaboração de uma estratégia de manutenção que visa garantir a confiabilidade dos ativos. Métricas como confiabilidade, OEE e custo são monitoradas para avaliar o sucesso.

Em relação à **Avaliação de "Disposal" do Ativo**, 67% dos respondentes veem a M&S como benéfica. Isso envolve a decisão de regenerar, vender ou substituir ativos que envelheceram ou apresentam incapacidade técnica. As métricas de confiabilidade, OEE e custo desempenham um papel crítico nesse processo.

A M&S beneficia a **Avaliação do Valor Financeiro Residual do Ativo** em 62% das respostas. Isso envolve o registro e auditoria de dados financeiros relacionados às atividades, com métricas de custo sendo essenciais nesse contexto.

A **Avaliação da Condição do Ativo** também é aprimorada pela M&S de acordo com 70% dos respondentes. Isso inclui o registro e a inspeção da integridade e do status de operação dos ativos, com métricas de confiabilidade e custo sendo fundamentais para a análise.

Quando se trata de **Análises de Causas Raízes de Problemas com os Ativos**, 74% dos respondentes acreditam que a M&S é benéfica. Isso envolve a investigação da causa raiz de problemas com os ativos e a identificação de lacunas

de desempenho. As métricas de confiabilidade, criação de valor e custo são usadas para avaliar o impacto dessas análises.

A M&S é vista como uma ferramenta valiosa no **Desenvolvimento do Plano de Melhoria Contínua do Ativo** por 77% dos respondentes. Isso inclui o planejamento de melhorias específicas para abordar qualquer lacuna de desempenho identificada.

Por fim, a **Definição e Gerenciamento de Competências relativas à Gestão e Operação do Ativo** são beneficiados pela M&S, de acordo com 67% das respostas. Isso envolve fornecer orientação sobre as competências necessárias para funções de gerenciamento de ativos e garantir treinamento adequado para as equipes. As métricas de incidentes e confiabilidade são monitoradas para avaliar o sucesso desse processo.

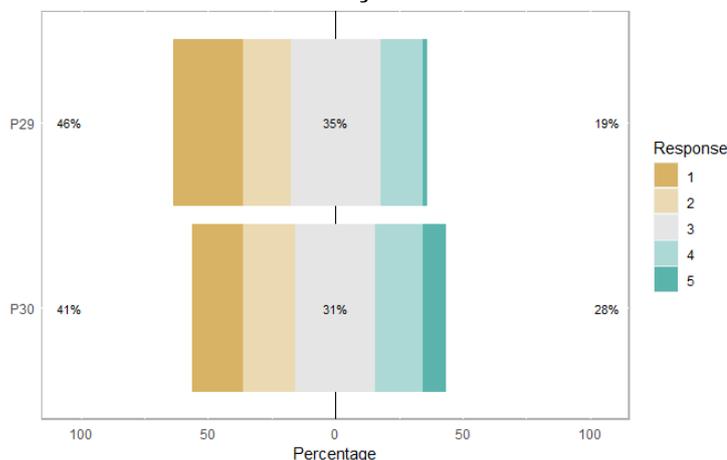
A respeito da adoção das normas de gestão de ativos, GFMAM (PAS55) e ISO 55000, o **Quadro 13** agrupa as perguntas relacionadas a isso, e o **Gráfico 11** ilustra o percentual de aplicação.

Quadro 18 - Utilização de Normas na GCVA

Variável	Descrição
P29	A sua Empresa utiliza a Norma de Gestão de Ativos GFMAM (PAS55)?
P30	A sua Empresa utiliza a Norma de Gestão de Ativos ISO 55000?

Fonte: “autoria própria (2023)”

Gráfico 11 - % de Utilização de Normas na GCVA



Fonte: “autoria própria (2023)”

Diante das notáveis discrepâncias evidenciadas pelo **Gráfico 11**, onde 46% dos participantes não aderem à Norma GFMAM e 41% não seguem a ISO 55000, é

importante ponderar sobre alguns aspectos a serem abordados em futuras pesquisas, a fim de alcançar uma compreensão mais abrangente do cenário em questão.

- **Consciência e Conhecimento:** A discordância pode indicar que parte das empresas pesquisadas não possui total consciência ou conhecimento sobre essas normas de gestão de ativos. Isso pode sugerir a necessidade de conscientização e educação sobre os benefícios e implicações da implementação dessas normas.
- **Barreiras à Implementação:** As taxas de discordância podem indicar possíveis barreiras à implementação das normas. Isso poderia estar relacionado a fatores como complexidade, custos associados, falta de recursos especializados ou resistência à mudança. Investigar essas barreiras específicas pode fornecer insights valiosos sobre os desafios enfrentados pelas empresas.
- **Contexto Organizacional:** Nem todas as empresas podem considerar necessário ou apropriado adotar normas de gestão de ativos. O contexto específico de cada organização, seu setor, tamanho, tipo de ativos e outras variáveis podem influenciar a decisão de adotar ou não essas normas.
- **Maturidade da Gestão de Ativos:** As empresas que discordam podem estar indicando que já possuem sistemas de gestão de ativos internos estabelecidos ou outras abordagens que consideram mais adequadas à sua situação. Isso pode ser um reflexo de uma maturidade mais alta na gestão de ativos ou de uma abordagem personalizada adaptada às suas necessidades.
- **Percepção dos Benefícios:** Algumas empresas podem não ter adotado as normas porque não percebem claramente os benefícios potenciais. Nesse caso, explorar os benefícios específicos que essas normas podem trazer em relação às práticas atuais poderia esclarecer essa percepção.
- **Diversidade na Indústria:** A adoção de normas pode variar amplamente entre diferentes setores industriais. Algumas indústrias podem ver mais vantagens na

adoção de normas do que outras devido às suas características operacionais e regulatórias específicas.

5.1 Considerações Finais

No encerramento deste capítulo, os resultados obtidos na pesquisa de mestrado destacam a significativa aceitação e valorização da modelagem e simulação (M&S) na gestão do ciclo de vida de ativos. A consistente concordância dos respondentes quanto aos benefícios da M&S em diversas fases do ciclo de vida, como análise de demandas técnicas, desenvolvimento estratégico, avaliação de criticidades e planos de contingência, reforça a relevância dessa abordagem para otimizar a eficiência operacional e a tomada de decisões estratégicas. As métricas utilizadas, incluindo custo, confiabilidade e criação de valor, emergem como indicadores-chave que sustentam a eficácia da M&S em diferentes contextos de gestão de ativos.

Ao analisar as discrepâncias na adoção das normas de gestão de ativos, GFMAM (PAS55) e ISO 55000, observamos que uma parcela significativa das empresas participantes não adere a essas normas. Este aspecto, destacado no **Gráfico 11**, instiga reflexões cruciais para futuras pesquisas. A consciência e o conhecimento sobre essas normas, possíveis barreiras à sua implementação, o contexto organizacional específico de cada empresa, a maturidade da gestão de ativos, a percepção dos benefícios e a diversidade na indústria emergem como pontos de exploração. Esses elementos fornecerão insights valiosos para compreender as razões por trás das divergências e contribuirão para a elaboração de estratégias mais informadas para a gestão eficaz de ativos.

Em última análise, este capítulo destaca não apenas a eficácia comprovada da modelagem e simulação nas diversas fases do ciclo de vida de ativos, mas também lança luz sobre as nuances da adoção de normas de gestão. Ao explorar as razões subjacentes à discordância em relação a essas normas, a pesquisa visa contribuir para a formação de práticas mais sólidas e personalizadas no cenário complexo da gestão de ativos, abrindo portas para futuras investigações e desenvolvimentos no campo.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada sobre as percepções e benefícios da Modelagem e Simulação (M&S) para a Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais no âmbito da Indústria 4.0 no Brasil revela uma visão abrangente e complexa das práticas adotadas por organizações no país. A sensibilidade das respostas em escala *Likert* evidencia nuances de interpretação e preferências individuais, particularmente no contexto da adoção da M&S, onde a maturidade organizacional e a natureza dos ativos desempenham papéis determinantes.

As divergências nas distribuições refletem as distintas realidades operacionais, estratégias e prioridades das organizações pesquisadas, demonstrando a complexidade envolvida na gestão de ativos ao longo de seu ciclo de vida. A percepção variada da importância das tecnologias da Indústria 4.0 ressalta a necessidade de compreender as diferentes abordagens adotadas pelas empresas, desde aquelas que as consideram essenciais para obter insights até aquelas que seguem abordagens mais tradicionais.

A análise demográfica dos respondentes enfatiza a diversidade da amostra, fornecendo *insights* valiosos sobre as percepções em diferentes contextos, incluindo setor de atuação, porte da empresa, papel profissional e nível acadêmico. Essa diversidade destaca a necessidade de estratégias de capacitação abrangentes que abordem tanto os aspectos teóricos quanto práticos da gestão de ativos e M&S.

Ao explorar os benefícios percebidos da M&S em várias etapas do ciclo de vida de ativos, desde o planejamento até a avaliação contínua, os resultados apontam para a importância crucial dessa abordagem. O impacto positivo na otimização de operações, tomada de decisões estratégicas e identificação de melhorias sugere que a M&S é uma ferramenta valiosa para as organizações que buscam aprimorar a eficiência e eficácia na gestão de ativos.

A análise da adoção das normas GFMAM (PAS55) e ISO 55000 revela uma divergência significativa entre os participantes, indicando oportunidades para conscientização, identificação de barreiras à implementação e avaliação cuidadosa do contexto organizacional ao considerar a relevância dessas normas.

Em síntese, esta dissertação proporciona uma visão abrangente das percepções dos profissionais sobre a M&S na Gestão do Ciclo de Vida de Ativos Industriais na era da Indústria 4.0 no Brasil. Os resultados não apenas enriquecem o

entendimento das práticas adotadas, mas também apontam para áreas de alinhamento e divergência, oferecendo insights valiosos para pesquisas futuras e estratégias de capacitação no campo da gestão de ativos industriais no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABAR, Sameera et al. Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. **Computer Science Review**, v. 24, p. 13-33, 2017.
- AKPAN, Joseph; OLANREWAJU, Oludolapo Akanni. Asset management models brief review and framework development for energy sustainability & sustainable development. In: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Istanbul, Turkey**. 2022. p. 7-10.
- AL-DHAHERI, Noura; JEBALI, Aida; DIABAT, Ali. A simulation-based Genetic Algorithm approach for the quay crane scheduling under uncertainty. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 66, p. 122-138, 2016.
- ATTWATER, A. et al. Measuring the performance of asset management systems. In: **Asset Management Conference 2014**. IET, 2014. p. 1-6.
- BELL, Emma; BRYMAN, Alan; HARLEY, Bill. **Business research methods**. Oxford university press, 2022.
- CAMPBELL, John D.; JARDINE, Andrew KS; MCGLYNN, Joel (Ed.). **Asset management excellence: optimizing equipment life-cycle decisions**. CRC Press, 2016.
- CAMPOS, MA López; MÁRQUEZ, A. Crespo. Modelling a maintenance management framework based on PAS 55 standard. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 27, n. 6, p. 805-820, 2011.
- CHOI, SangSu; JUNG, Kiwook; NOH, Sang Do. Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. **Concurrent Engineering**, v. 23, n. 1, p. 40-63, 2015.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. Rio de Janeiro: Campus, 2012.
- D'AMICO, Rosario Davide et al. Cognitive digital twin: An approach to improve the maintenance management. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 38, p. 613-630, 2022.
- DE PAULA FERREIRA, William; ARMELLINI, Fabiano; DE SANTA-EULALIA, Luis Antonio. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 149, p. 106868, 2020.
- DELGADO, Juan Manuel Davila; OYEDELE, Lukumon. Digital Twins for the built environment: learning from conceptual and process models in manufacturing. **Advanced Engineering Informatics**, v. 49, p. 101332, 2021.

DÉR, Antal et al. A review of frameworks, methods and models for the evaluation and engineering of factory life cycles. **Advances in Industrial and Manufacturing Engineering**, p. 100083, 2022.

DINÇER, Hasan; YÜKSEL, Serhat (Ed.). **Handbook of research on managerial thinking in global business economics**. IGI Global, 2018.

EL-AKRUTI, Khaled; DWIGHT, Richard; ZHANG, Tieling. The strategic role of engineering asset management. **International Journal of Production Economics**, v. 146, n. 1, p. 227-239, 2013.

FAROOQ, Muhammad Umar; SHAKOOR, Aamna; SIDDIQUE, Abu Bakar. Agent-based modeling and simulation in the analysis of e-commerce market. In: **2021 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)**. IEEE, 2021. p. 287-292.

FERREIRA, Amanda Ramalho. **Testes de normalidade: Um estudo comparativo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Matemática e Estatística, Niterói, 2022.

GARDENER, Mark. **Beginning R: the statistical programming language**. John Wiley & Sons, 2012.

GAVRIKOVA, Elizaveta; VOLKOVA, Irina; BURDA, Yegor. Strategic aspects of asset management: An overview of current research. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 5955, 2020.

GFMAM (Global Forum on Maintenance and Asset Management). February 2021. **The asset management landscape**. 2nd edition. English Version. ISBN: 978-1-7774676-0-9. Disponível em <https://gfmam.org/publications/maintenance-framework-second-edition-english>. Acesso em: 31 de outubro de 2022.

HAUSCHILD, Michael Z.; KARA, Sami; RØPKE, Inge. Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering. **CIRP annals**, v. 69, n. 2, p. 533-553, 2020.

HECKE, T. Van. Power study of anova versus Kruskal-Wallis test. **Journal of Statistics and Management Systems**, v. 15, n. 2-3, p. 241-247, 2012.

HIEN, Nguyen Ngoc et al. An overview of Industry 4.0 applications for advanced maintenance services. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 803-810, 2022.

HODKIEWICZ, M. R. The development of ISO 55000 series standards. In: **Engineering Asset Management-Systems, Professional Practices and Certification: Proceedings of the 8th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2013) & the 3rd International Conference on Utility Management & Safety (ICUMAS)**. Springer International Publishing, 2015. p. 427-438.

KAMBLE, Sachin S. et al. Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework.

Technological Forecasting and Social Change, v. 176, p. 121448, 2022.

KOMONEN, Kari; KORTELAINEN, Helena; RÄIKKONEN, Minna. An asset management framework to improve longer term returns on investments in the capital intensive industries. In: **Engineering Asset Management: Proceedings of the 1st World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM) 11–14 July 2006**. Springer London, 2006. p. 418-432.

KUNC, Martin. System dynamics: A soft and hard approach to modelling. In: **2017 Winter Simulation Conference (WSC)**. IEEE, 2017. p. 597-606.

LEE, Hae Young; KIM, Hyung-Jong. Size measurement of DEVS models for SBA effectiveness evaluation. In: **Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World**. 2013. p. 4000-4001.

LENG, Jiewu et al. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. **Journal of manufacturing systems**, v. 60, p. 119-137, 2021.

LI, Shancang; XU, Li Da; ZHAO, Shanshan. The internet of things: a survey. **Information systems frontiers**, v. 17, n. 2, p. 243-259, 2015.

LOLLI, Francesco et al. Machine learning for multi-criteria inventory classification applied to intermittent demand. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 1, p. 76-89, 2019.

MA, Yucheng; XIAO, Jianbo; ZHANG, Qiaobin. Modeling and Simulation of mechanical equipment virtual maintenance training collaborative operation. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2022. p. 012012.

MACCHI, Marco et al. Exploring the role of digital twin for asset lifecycle management. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 790-795, 2018.

MAROCO, João; GARCIA-MARQUES, Teresa. Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas?. **Laboratório de psicologia**, v. 4, n. 1, p. 65-90, 2006.

MARTIN, Elizabeth. Survey questionnaire construction. **Survey methodology**, v. 13, p. 1-13, 2006.

MOLLENTZE, Frederik Jacobus et al. **Asset Management Auditing—The roadmap to asset management excellence**. 2007. Tese de Doutorado. University of Pretoria.

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

NIELSEN, Lars et al. Towards quantitative factory life cycle evaluation. **Procedia CIRP**, v. 55, p. 266-271, 2016.

ORMARSSON, Sigurdur; JOHANSSON, Marie. Finite element simulation of global structural behaviour of multifamily timber buildings using prefabricated volume modules. In: **WCTE 2018, World Conference on Timber Engineering, August 20-23, 2018, Seoul, South Korea**. World Conference on Timber Engineering (WCTE), 2018.

PAN, Indranil; MASON, Lachlan R.; MATAR, Omar K. Data-centric Engineering: integrating simulation, machine learning and statistics. Challenges and opportunities. **Chemical Engineering Science**, v. 249, p. 117271, 2022.

PÉREZ, Luis et al. **Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces**. *Computers in Industry*, v. 109, p. 114-120, 2019.

PISCHING, Marcos A. et al. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products. **Computers & Industrial Engineering**, v. 125, p. 574-591, 2018.

PONTES, Antonio Carlos Fonseca. **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

QAMSANE, Yassine et al. Open Process Automation-and Digital Twin-Based Performance Monitoring of a Process Manufacturing System. **IEEE Access**, v. 10, p. 60823-60835, 2022.

RODA, Irene; MACCHI, Marco. Studying the funding principles for integrating Asset Management in Operations: an empirical research in production companies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 28, p. 1-6, 2016.

SINHA, Utkal; SHEKHAR, Mayank. Comparison of various cloud simulation tools available in cloud computing. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, v. 4, n. 3, p. 171-176, 2015.

SCHEIDEGGER, Anna Paula Galvão et al. An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. **Computers & Industrial Engineering**, v. 124, p. 474-492, 2018.

SCHUMAN, Charles A.; BRENT, Alan C. Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 6, p. 566-579, 2005.

TAO, Fei et al. Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. **Engineering**, v. 5, n. 4, p. 653-661, 2019.

TARANDACH, Izar; COLES, Matthew J. **Threat Modeling**. " O'Reilly Media, Inc.", 2020.

VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0—a glimpse. **Procedia manufacturing**, v. 20, p. 233-238, 2018.

WEERASEKARA, Sachini et al. Trends in Adopting Industry 4.0 for Asset Life Cycle Management for Sustainability: A Keyword Co-Occurrence Network Review and Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12233, 2022.

WIESE, Mathias et al. Dynamic modeling of additive manufacturing process chains for end-use part manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 104, p. 500-505, 2021.

WIENDAHL, Hans-Peter; REICHARDT, Jürgen; NYHUIS, Peter. **Handbook factory planning and design**. Springer, 2015.

WOOLSON, Robert F. Wilcoxon signed-rank test. **Wiley encyclopedia of clinical trials**, p. 1-3, 2007.

XU, Jie et al. Simulation optimization: A review and exploration in the new era of cloud computing and big data. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 32, n. 03, p. 1550019, 2015.

YAN, Shenhao; ZHOU, Zhiyin; DINAHAHI, Venkata. Large-scale nonlinear device-level power electronic circuit simulation on massively parallel graphics processing architectures. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 33, n. 6, p. 4660-4678, 2017.

ZACHAREWICZ, Gregory. Model-based Approaches for Interoperability of Next Generation Organization Information Systems: State of the Art and Future Challenges. **SIMULTECH**, p. 7, 2019.

ZAHEDI-HOSSEINI, Farhad. Modeling and simulation for the joint maintenance-inventory optimization of production systems. In: **2018 Winter Simulation Conference (WSC)**. IEEE, 2018. p. 3264-3274.

ZHANG, Lin et al. Modeling and simulation in intelligent manufacturing. **Computers in Industry**, v. 112, p. 103123, 2019.

ZHOU, Ji et al. Toward new-generation intelligent manufacturing. **Engineering**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 2018.

ZHOU, Longfei et al. Diverse task scheduling for individualized requirements in cloud manufacturing. **Enterprise Information Systems**, v. 12, n. 3, p. 300-318, 2018.