


METODOLOGIA PARA AVALIAR NÍVEL DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DO METAVERSO INDUSTRIAL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-172>

Data de submissão: 21/12/2024

Data de publicação: 21/01/2025

Patricia Nunes de Souza
Bal.

Bacharel em Engenharia de Produção; Acadêmica do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: patyproducpa@gmail.com

Gil Eduardo Guimarães
D. Sc.

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais; Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: gil.guimaraes@itegam.org.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2800-4620>

Milton Vieira Junior
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica; Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: buda.milton@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8333-289X>

Fernando Tobal Berssanetti
D. Sc.

Doutor em Engenharia de Produção; Professor do Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP – BRASIL
E-mail: Fernando.berssanetti@usp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1887>

Nelson Marinelli Filho
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica; Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: nelson.marinelli@itegam.org.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4362-0132>

RESUMO

Desde que o Facebook alterou seu nome para Meta um termo vem crescendo e sendo bastante difundido nos ramos Industriais: Metaverso Industrial. Entender este termo e como se pode utilizar as ferramentas propostas por estas novas tecnologias para aumentar as vendas, otimizar os recursos e

aumentar produtividade pode ser um fator chave para determinar a sobrevivência ou falência de um determinado negócio. Neste sentido, estabelecer uma metodologia (fácil e acessível para todos os níveis de empresa desde pequeno, até médio e grande porte) que pudesse ajudar as companhias a identificarem os atuais níveis de maturidade para cada uma das ferramentas da Indústria 4.0 que são relevantes para desenvolver, no futuro, aplicações no metaverso é o principal objetivo deste estudo. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica para estabelecer e definir quais seriam estas principais ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 e em cima destas informações e da definição dos atributos do Metaverso de Weinberg e Gross (2023) elaborou-se uma tabela de correlação para servir de norteadora na preparação das bases nessas empresas para suportar o desenvolvimento de aplicações no metaverso, caso elas desejem. Utilizando esta metodologia proposta foi feita a avaliação de uma empresa com uma de suas filiais localizada na cidade Manaus. Por meio de revisão documental interna desta empresa conseguiu-se avaliar o nível de maturidade destas ferramentas da Indústria 4.0 e por meio da correlação com os atributos do metaverso definiu-se quais pontos deveriam ser os focos das ações para melhorar e estabelecer as bases necessárias para suportar iniciativas de aplicações no metaverso futuramente.

Palavras-chave: Metaverso. Atributos. Indústria 4.0. Maturidade.

1 INTRODUÇÃO

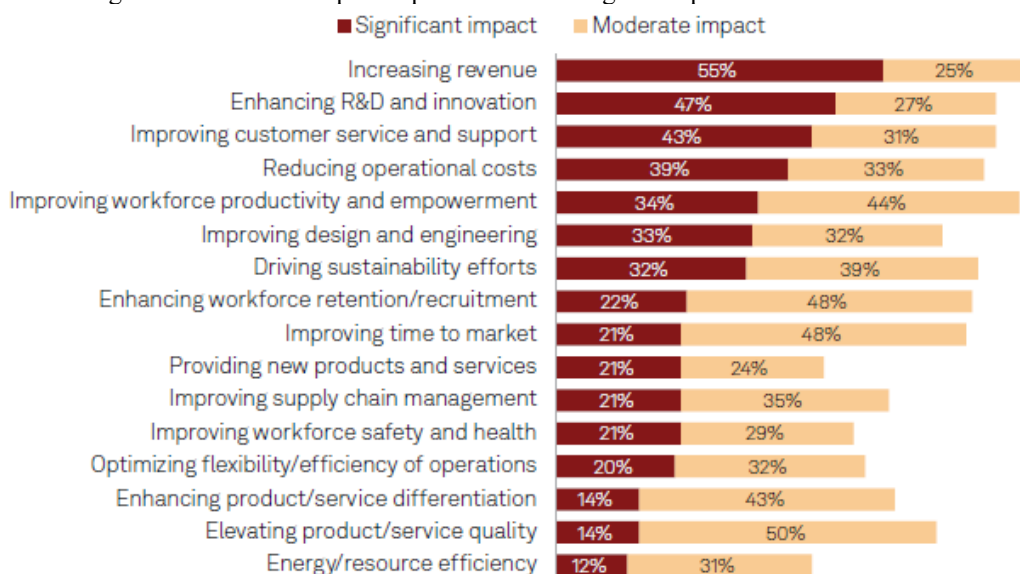
O conceito de metaverso está emergindo como uma das tecnologias mais revolucionárias da era digital, proporcionando experiências imersivas e interativas que transcendem o mundo físico. O metaverso refere-se a um espaço virtual compartilhado, criado pela convergência de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR), onde os usuários podem interagir uns com os outros e com ambientes digitais de maneira altamente envolvente (). No contexto da Indústria 4.0, o metaverso tem o potencial de transformar radicalmente a gestão de projetos e a tomada de decisões, integrando ambientes virtuais e físicos para melhorar a eficiência e a colaboração.

A Indústria 4.0 é caracterizada pela automação avançada, troca de dados e tecnologias emergentes, como inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT) e computação em nuvem. O metaverso adiciona uma nova dimensão a essa revolução, permitindo a criação de ambientes virtuais onde equipes podem colaborar em tempo real, simular processos de produção e tomar decisões baseadas em dados integrados. Este avanço é crucial para empresas que buscam manter competitividade e inovação contínua. O metaverso possibilita a visualização e manipulação de dados complexos em um ambiente imersivo, facilitando a identificação de problemas e a tomada de decisões rápidas e precisas (Cali et al., 2022).

O conceito de metaverso ganhou destaque com o desenvolvimento de plataformas de realidade virtual e aumentada, como o Second Life e, mais recentemente, o Facebook Horizon. Essas plataformas abriram caminho para a exploração de ambientes virtuais interativos, onde os usuários podem criar e compartilhar experiências digitais. Na Indústria 4.0, a integração do metaverso começou a ser explorada como uma maneira de simular fábricas inteligentes, treinar funcionários em ambientes virtuais e melhorar a colaboração global. Pesquisas indicam que o metaverso pode melhorar significativamente a comunicação e a coordenação entre equipes dispersas geograficamente, além de oferecer um ambiente seguro para testar e validar novas soluções (Sousa et al., 2015).

Apesar do crescente interesse pelo metaverso, ainda há poucas pesquisas focadas em sua aplicação específica na Indústria 4.0, particularmente na definição de uma metodologia que auxilie empresas a iniciarem o uso dessa tecnologia. Este estudo busca preencher essa lacuna, propondo uma metodologia simples e acessível para empresas de diferentes portes avaliarem seus níveis de maturidade em relação às ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0. Com base nessa avaliação, espera-se proporcionar um direcionamento claro sobre onde investir recursos para desenvolver aplicações no metaverso e usufruir de seus potenciais benefícios.

Figura 1 - Nível dos impactos percebidos nos negócios após uso do Metaverso



Fonte: S&P Global Market Intelligence 451 Research custom metaverse survey, 2024.

Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente para identificar as principais ferramentas da Indústria 4.0 e correlacioná-las com os atributos do metaverso definidos por Weinberg e Gross (2023). A metodologia proposta foi aplicada em uma empresa com filial em Manaus, possibilitando uma avaliação detalhada do nível de maturidade dessas ferramentas. Os resultados obtidos indicaram pontos críticos para foco de investimento e desenvolveram as bases para futuras iniciativas no metaverso industrial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, introduzida oficialmente em 2011 na Feira de Hannover, representa a quarta revolução industrial e é marcada pela convergência de tecnologias digitais e operações industriais (Drath & Horch, 2014). Este conceito busca aumentar a produtividade e a eficiência por meio da aplicação de soluções tecnológicas como IoT, computação em nuvem, big data e inteligência artificial (Frank et al., 2019a).

O foco da Indústria 4.0 é a transformação digital de processos produtivos, conectando o mundo virtual ao real. Isso possibilita que fábricas automatizadas evoluam para fábricas inteligentes e conectadas, caracterizadas pela utilização de sistemas ciberfísicos (Benitez et al., 2020). Tais sistemas permitem a integração de sensores, dispositivos inteligentes e plataformas de análise em tempo real, promovendo maior flexibilidade e eficiência na produção.

Além disso, a Indústria 4.0 emprega tecnologias como realidade aumentada, simulação e robótica avançada, que ampliam suas capacidades operacionais (Dalenogare et al., 2019a). A

inteligência artificial também desempenha um papel vital, otimizando processos, prevendo falhas e personalizando produtos (Artero, 2023). Este ecossistema tecnológico não apenas aumenta a produtividade, mas também abre caminho para inovações significativas.

Em resumo, a Indústria 4.0 está redefinindo o cenário industrial global ao integrar tecnologias avançadas, criando fábricas mais inteligentes e conectadas. Com isso, torna-se possível explorar novos modelos de negócios e oportunidades de crescimento, essenciais para a competitividade em mercados cada vez mais exigentes.

Figura 2 – Tecnologias base da Indústria 4.0



Fonte: Chesini, 2023

2.2 CONVERGÊNCIA DO METAVERSO COM A INDÚSTRIA 4.0

O conceito de metaverso, que remonta ao romance "Snow Crash" de Neal Stephenson (1992), evoluiu de mundos virtuais simples para um ecossistema mais complexo, abrangendo educação, saúde e indústria (Mystakidis, 2022). Essa evolução foi possível graças à convergência de tecnologias como IoT, big data e redes 5G, que proporcionaram a infraestrutura necessária para ambientes virtuais altamente interativos (Lee et al., 2024).

Na Indústria 4.0, essa convergência permite que empresas criem representações virtuais detalhadas de seus processos produtivos. Por exemplo, a Volkswagen utiliza o metaverso para simular cenários de produção e treinar funcionários, enquanto a Siemens emprega tecnologias similares para manutenção preditiva, integrando sensores IoT em seus equipamentos (Volkswagen, 2022; Siemens, 2021). Esses casos destacam como o metaverso e a Indústria 4.0 se complementam, melhorando a eficiência operacional e promovendo inovações.

A integração do metaverso também se estende à colaboração global, como demonstrado pela General Electric (GE), que implementou ambientes virtuais para suas equipes de engenharia trabalharem em projetos complexos, independentemente da localização geográfica (General Electric, 2020). Esses exemplos ilustram o potencial revolucionário do metaverso na indústria, apontando para um futuro em que as tecnologias virtuais e físicas estarão completamente integradas, facilitando processos, aumentando a produtividade e melhorando a colaboração.

2.3 FERRAMENTAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

As ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 desempenham um papel crucial na integração e automação de processos produtivos. Entre essas tecnologias, destacam-se o IoT, que conecta dispositivos e sistemas, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real (Zhou et al., 2015), e o big data, que facilita a análise de grandes volumes de informações para tomada de decisões mais informadas (Manyika et al., 2011).

Outra tecnologia fundamental é a inteligência artificial (IA), que permite a automação de tarefas complexas e a personalização de produtos com base em dados (Kaplan & Haenlein, 2019). A robótica avançada, por sua vez, melhora a precisão e a eficiência na produção, enquanto a manufatura aditiva, como a impressão 3D, possibilita a criação de protótipos rápidos e a produção sob demanda (Gibson et al., 2015).

Adicionalmente, a computação em nuvem permite o acesso remoto a dados e aplicações, promovendo a colaboração e a eficiência operacional (Armbrust et al., 2010). Essas tecnologias, quando integradas, criam um ecossistema digital que transforma as operações industriais, permitindo uma maior flexibilidade e capacidade de resposta às demandas do mercado.

Em conjunto, essas ferramentas habilitadoras estabelecem as bases para a implementação do metaverso na indústria, proporcionando um ambiente virtual integrado onde simulações, análises e colaborações podem ocorrer em tempo real, otimizando a produtividade e promovendo inovações disruptivas.

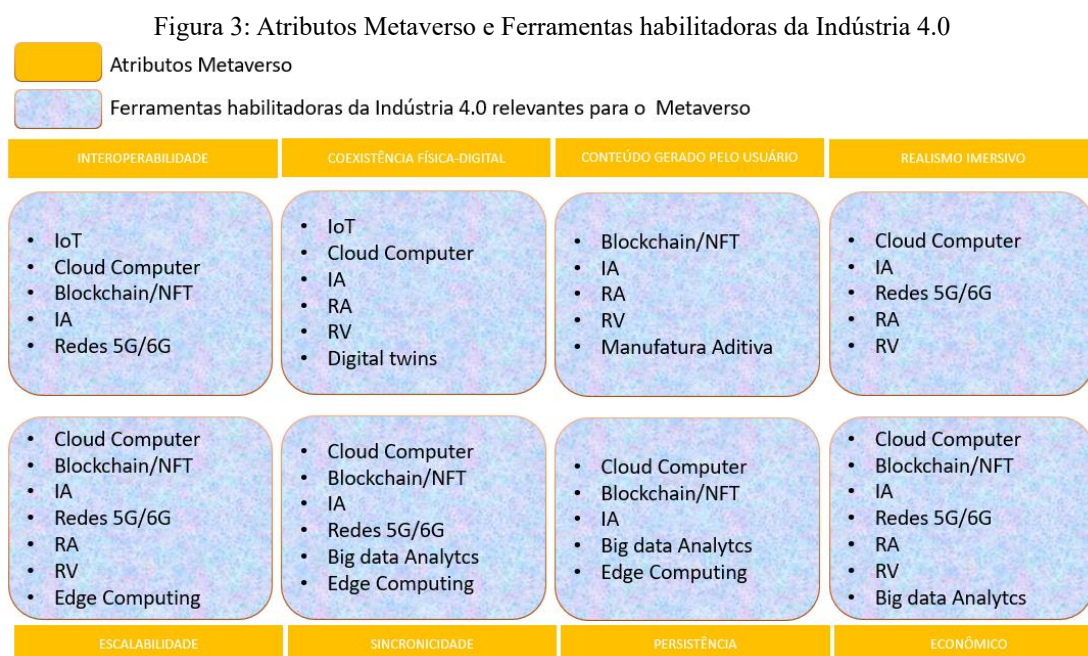
2.4 ATRIBUTOS DO METAVERSO E SUA RELAÇÃO COM A INDÚSTRIA 4.0

O metaverso é composto por uma série de atributos que o diferenciam de outras tecnologias imersivas. Entre esses atributos, destacam-se a imersão, a interatividade e a persistência (Weinberg & Gross, 2023). A imersão refere-se à capacidade de criar uma sensação realista de presença em um ambiente virtual, enquanto a interatividade envolve a possibilidade de interação em tempo real entre

usuários e objetos digitais. A persistência garante que o ambiente virtual continue a existir e evoluir independentemente da presença dos usuários.

Na Indústria 4.0, esses atributos têm aplicações significativas. Por exemplo, a imersão pode ser utilizada para criar simulações realistas de linhas de produção, permitindo o treinamento de funcionários sem riscos ao ambiente real. A interatividade facilita a colaboração em tempo real entre equipes localizadas em diferentes partes do mundo, enquanto a persistência permite o monitoramento contínuo de processos e a coleta de dados para análises futuras (Cali et al., 2022).

Esses atributos também contribuem para a criação de gêmeos digitais, que são representações virtuais de ativos, processos ou sistemas físicos. Gêmeos digitais permitem que empresas monitorem e otimizem suas operações em tempo real, utilizando dados coletados de sensores IoT para simular diferentes cenários e prever falhas potenciais (Benitez et al., 2020). Essa combinação de atributos do metaverso com tecnologias da Indústria 4.0 está transformando a forma como as empresas planejam e executam suas estratégias operacionais, aumentando a eficiência e promovendo a inovação. A figura 3 abaixo mostra esta interação entre as ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 e os atributos do metaverso



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

2.5 GÊMEOS DIGITAIS COMO BASE PARA O METAVERSO INDUSTRIAL

Os gêmeos digitais surgem como um dos principais pilares do metaverso industrial, proporcionando representações virtuais detalhadas de ativos e processos físicos. Esses modelos digitais permitem que empresas monitorem, analisem e otimizem operações em tempo real, utilizando

dados coletados por sensores IoT (Grieves & Vickers, 2017). Além disso, os gêmeos digitais oferecem uma plataforma segura para simulações e testes, reduzindo custos e riscos associados a mudanças nos processos de produção (Tao et al., 2019).

Na prática, empresas como a General Electric (GE) têm adotado gêmeos digitais para prever falhas em equipamentos, melhorar a eficiência energética e otimizar a manutenção preditiva (General Electric, 2020). Esses avanços estão revolucionando a forma como as organizações gerenciam seus ativos, permitindo uma maior precisão na tomada de decisões e promovendo a sustentabilidade.

Além disso, os gêmeos digitais facilitam a criação de ambientes colaborativos, onde equipes podem trabalhar juntas em projetos complexos, mesmo estando geograficamente dispersas. Isso é particularmente relevante no contexto do metaverso industrial, onde a integração entre o mundo virtual e o físico é essencial para o sucesso de iniciativas inovadoras (Cali et al., 2022).

2.6 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O METAVERSO NA INDÚSTRIA 4.0

Apesar do grande potencial do metaverso na Indústria 4.0, sua implementação enfrenta diversos desafios. Um dos principais entraves é a alta dependência de infraestrutura tecnológica robusta, como redes 5G e sistemas de computação em nuvem de alta capacidade. Além disso, a integração entre sistemas legados e novas tecnologias representa um desafio significativo para muitas organizações (Tao et al., 2021).

Outro ponto crítico é a segurança da informação. A troca constante de dados sensíveis em ambientes virtuais aumenta os riscos de ciberataques, exigindo que empresas invistam em soluções de cibersegurança avançadas. Além disso, há a necessidade de treinamento e qualificação dos colaboradores para que possam operar em ambientes imersivos e interativos, o que requer mudanças culturais e investimentos em educação corporativa (Weinberg & Gross, 2023).

No entanto, as perspectivas para o metaverso na Indústria 4.0 são promissoras. A contínua evolução das tecnologias habilitadoras, como inteligência artificial e internet das coisas, promete resolver muitos dos desafios atuais. Adicionalmente, a criação de padrões e regulamentações internacionais pode facilitar a interoperabilidade entre sistemas e garantir a segurança e privacidade dos dados.

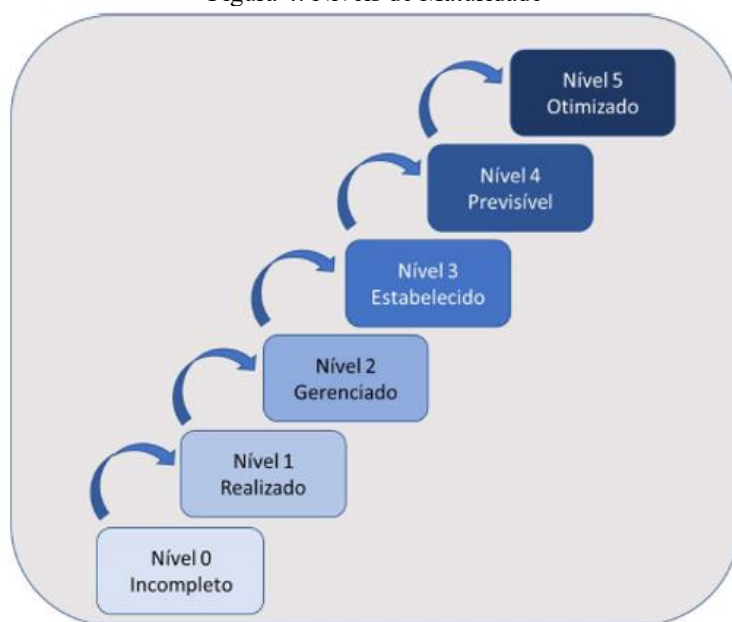
O médio e longo prazo, espera-se que o metaverso industrial promova a colaboração global em níveis sem precedentes, permitindo que empresas desenvolvam novos modelos de negócios e explorem mercados ainda inexplorados. Dessa forma, o metaverso pode se tornar uma ferramenta essencial para a inovação e competitividade no cenário industrial global.

2.7 MODELO DE MATURIDADE DAS FERRAMENTAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

Para definição do nível de maturidade utilizamos como referência o trabalho realizado por Schneider (2018) que foi baseado no estudo de o modelo de Gokalp (2017), pois identificamos que esta abordagem mais simples consegue viabilizar a implementação deste modelo inclusive em empresas de pequeno e médio porte devido a sua simplicidade

Este estudo define a atribuição de uma nota de acordo com o estágio de aplicação de cada ferramenta. Esta nota pode variar de 0 a 5, onde zero significa que a empresa não utiliza em suas atividades e operações nada daquela ferramenta e 5 seria o grau mais elevado indicando que a ferramenta pode possuir grau de autoaprendizado, monitoramento e gestão das informações das mesmas. A Figura 4 abaixo mostra o modelo de Níveis de Maturidade apresentado no Trabalho de Scheiner (2018)

Figura 4: Níveis de Maturidade



Fonte: Schneider, 2018.

Entrando um pouco mais a fundo neste modelo explicamos abaixo um pouco mais sobre a lógica de classificação de cada nível:

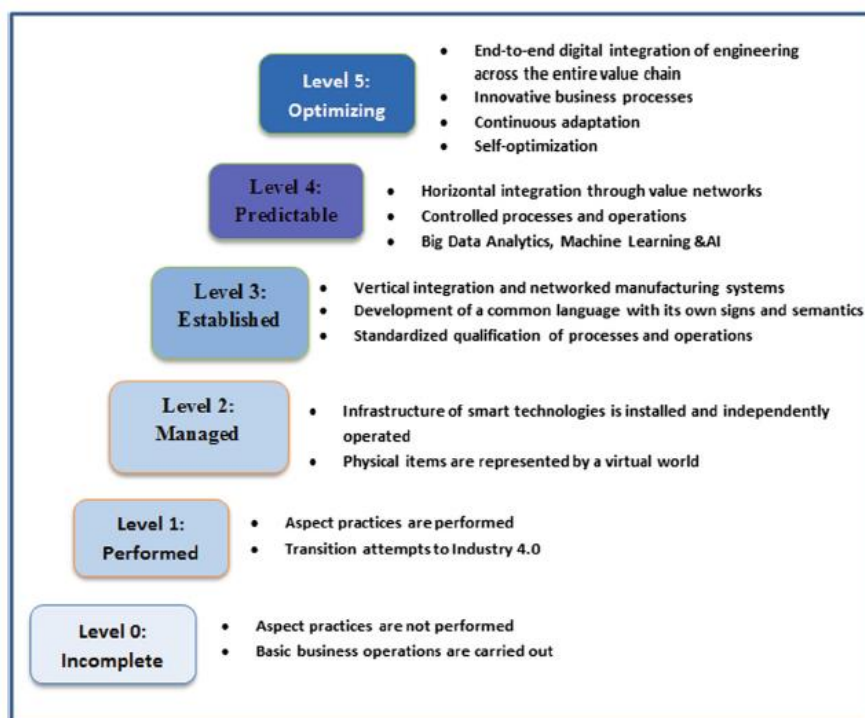
- Nível 0: Incompleto. Ainda não há implementação. A organização apenas se concentra nas operações fundamentais, tais como análise de requisitos, aquisição, produção e vendas.
- Nível 1: Realizado. A transformação foi iniciada. A infraestrutura tecnológica para a transição para a Indústria 4.0 é adquirida e a organização tende a empregar tecnologias

inteligentes como a IoT (Internet das Coisas). A visão da Indústria 4.0 existe e também um roteiro para a estratégia de transição, mas não está totalmente implementada.

- c) Nível 2: Gerenciado. O conjunto de dados relacionado a cada operação é definido e começou a ser coletado, mas não está integrado nas diferentes funcionalidades das operações. Os itens físicos estão começando a ser representados por um mundo virtual.
- d) Nível 3: Estabelecido. As principais atividades do negócio, as operações de valor agregado são bem definidas e as qualificações de processos e operações são consistentes com a padronização correspondente. O conjunto de dados é claramente identificado para cada operação da organização e coletado e armazenado sistematicamente em um banco de dados bem gerenciado. A integração vertical, incluindo a integração interna de fábrica de sensores e atuadores dentro das máquinas até os sistemas de planejamento de recursos empresariais foi alcançada.
- e) Nível 4: Previsível. A integração horizontal, incluindo a integração das redes de produção ao nível dos negócios, é conseguida pela integração da cadeia de suprimentos, mas pode incluir mais no futuro, quando informações em tempo real e em produtos ou processos específicos forem trocadas para aumentar o nível de detalhe e qualidade na otimização de fabricação distribuída. Ferramentas de análise de dados são empregadas para melhorar a produtividade da fabricação.
- f) Nível 5: Otimização. Foi alcançada a integração para a engenharia e a vida útil do produto / produção para permitir o compartilhamento de conhecimento de baixo esforço e a sincronização entre o desenvolvimento de produtos e serviços e os ambientes de fabricação. A organização começa a aprender com os dados coletados e tenta melhorar seus negócios continuamente. O modelo de negócios está evoluindo para uma estrutura inovadora (GÖKALP et al., 2017).

A figura 5 abaixo mostra um resumo dos critérios que podemos ser utilizado para classificar os níveis de implementação das ferramentas habilitadoras de acordo com o trabalho de Gokalp et al (2017)

Figura 5: Detalhes de cada nível de maturidade



Fonte: Gokalp et al (2017)

3 METODOLOGIA

3.1 MODELO DE MATURIDADE PROPOSTO DO METAVERSO BASEADO NAS FERRAMENTAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

De acordo com as inter-relações descritas acima entre as ferramentas da Indústria 4.0 e os atributos básicos do metaverso consegue-se definir quais as ferramentas da Indústria 4.0 mais impactam em cada uma das características essenciais do metaverso. Na tabela 2 descreveu-se as intercorrelações entre as ferramentas da Indústria 4.0 e os atributos do Metaverso para ficar mais fácil a identificação entre a interdependência do Metaverso com a ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0.

Tabela 2: Matrix de correlação entre as características do metaverso e as ferramentas da indústria 4.0

METAVERSO / INDÚSTRIA 4.0	IoT	Cloud Computer	Block chain / NFT	IA	Redes 5G	RA	R V	Digital Twins	Manufatura Aditiva	Big data Analytics	Edge Computing
Interoperabilidade	X	X	X	X	X						
Coexistencia Física/Digital	X	X		X		X	X	X			
Conteúdo Gerado Para Usuário			X	X		X	X		X		
Realismo Imersivo		X		X	X	X	X				

Escalabilidade		X	X	X	X	X	X				X
Sincronicidade		X	X	X	X					X	X
Persistência		X	X	X						X	X
Econômico		X	X	X	X	X	X			X	

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

3.2 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS 4.0

Na tabela 3, de pontuação do nível de implementação, aparecem as principais ferramentas da indústria 4.0 que são extremamente relevantes para implementação de aplicações no metaverso de acordo com a revisão bibliográfica deste trabalho.

Após fazermos o levantamento dos níveis de maturidade de cada uma destas ferramentas iremos transportar esta informação para dentro da tabela de correlação entre as ferramentas habilitadoras da indústria 4.0 e a tabela de principais atributos que compõem o chamado metaverso.

Tabela 3: Pontuação do nível de implementação das ferramentas da indústria 4.0

	Pontuação	0	1	2	3	4	5
Ferramentas Indústria 4.0 básicas do metaverso	IoT	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Cloud Computer	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Blockchain/ NFT	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	IA	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Redes 5G	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	RA	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	RV	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Coexistência Física Digital	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Manufatura Aditiva	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Big Data Analytics	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Edge Computing	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado

Fonte: Adaptado SCHNEIDER (2018).

3.3 NÍVEL DE MATURIDADE METAVERSO

Por meio do levantamento dos estágios de implementação das ferramentas da indústria 4.0 vamos conseguir visualizar quais os atributos do metaverso que tem melhores e maiores chances de serem aproveitados e, portanto, desenvolvidos dentro da organização.

Para isso vamos utilizar a tabela de correlação levantada no capítulo anterior e incluir nela todas as pontuações que cada uma das ferramentas habilitadoras da indústria 4.0 foram classificadas, conforme é mostrado na tabela 4 preenchida com todas as pontuações abaixo:

Tabela 4 – Exemplo da pontuação do nível de implementação das ferramentas da indústria 4.0 obtida

METAVERSO / INDÚSTRIA 4.0	IoT	Cloud Computing	Blockchain/ NFT	IA	Redes 5G	RA	RV	Digital Twins	Manufatura Aditiva	Big data Analytics	Edge Computing
Interoperabilidade	X1	X2	X3	X4	X5						
Coexistência Física/Digital	X1	X2		X4		X6	X7	X8			
Conteúdo Gerado Para Usuário			X3	X4		X6	X7		X9		
Realismo Imersivo		X2		X4	X5	X6	X7				
Escalabilidade		X2	X3	X4	X5	X6	X7				X11
Sincronicidade		X2	X3	X4	X5					X10	X11
Persistência		X2	X3	X4						X10	X11
Econômico		X2	X3	X4	X5	X6	X7			X10	

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Após incluirmos todas as informações do nível de maturidade das ferramentas da Indústria 4.0 vamos adicionar uma coluna no final que irá fazer a soma absoluta de todos os valores que pontuamos cada ferramenta da indústria 4.0. Isso irá nos mostrar o total de pontos que teremos para cada atributo do metaverso que está sendo avaliado. Conforme exemplo demonstrados na tabela 5 de subtotais obtidos para cada atributo do metaverso:

Tabela 5 – Subtotais obtidos para os atributos do metaverso

METAVERSO / INDÚSTRIA 4.0	TOTAL
Interoperabilidade	=X1+X2+X3+X4+X5
Coexistência Física/Digital	=X1+X2+X4+X6+X7+X8
Conteúdo Gerado Para Usuário	=X3+X4+X6+X7+X9
Realismo Imersivo	=X2+X4+X5+X6+X7
Escalabilidade	=X2+X3+X4+X5+X6+X7+X11
Sincronicidade	=X2+X3+X4+X5+X10+X11
Persistência	=X2+X3+X4+X10+X11
Econômico	=X2+X3+X4+X5+X6+X7+X10

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Em seguida, vamos dividir cada um dos resultados destas somas que obtivemos, por atributo, pelo número de vezes que o “X” aparece na tabela de correlação. Esse número nada mais será que a quantidade de ferramentas da indústria 4.0 que são relevantes para aquele determinado atributo do metaverso que está sendo analisado, conforme pode-se visualizar na tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Total obtido das médias para classificação do nível de maturidade da empresa para o metaverso

METAVERSO / INDÚSTRIA 4.0	TOTAL	Nº Ferramentas 4.0 relevantes	Nível de Maturidade dos atributos do metaverso
Interoperabilidade	$=X1+X2+X3+X4+X5$	5	$=(X1+X2+X3+X4+X5)/5$
Coexistência Física/Digital	$=X1+X2+X4+X6+X7+X8$	6	$=(X1+X2+X4+X6+X7+X8)/6$
Conteúdo Gerado Para Usuário	$=X3+X4+X6+X7+X9$	5	$=(X3+X4+X6+X7+X9)/5$
Realismo Imersivo	$=X2+X4+X5+X6+X7$	5	$=(X2+X4+X5+X6+X7)/5$
Escalabilidade	$=X2+X3+X4+X5+X6+X7+X11$ 1	7	$=(X2+X3+X4+X5+X6+X7+X11)/7$
Sincronicidade	$=X2+X3+X4+X5+X10+X11$	6	$=(X2+X3+X4+X5+X10+X11)/6$
Persistência	$=X2+X3+X4+X10+X11$	5	$=(X2+X3+X4+X10+X11)/5$
Econômico	$=X2+X3+X4+X5+X6+X7+X11$ 0	7	$=(X2+X3+X4+X5+X6+X7+X11)/7$

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Com isso vamos conseguir visualizar quais atributos, importantes para iniciarmos o desenvolvimento de aplicações no metaverso, precisam ser fortalecidos e com isso podemos começar a ter um “norte” de onde a empresa poderia começar a direcionar mais investimentos para ter uma base sólida de ferramentas para iniciar o desenvolvimento de aplicações no metaverso.

3.4 DEFINIÇÃO DE ESCOPO E LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

O metaverso representa um ambiente virtual imersivo, onde o físico e o digital se integram em experiências contínuas. No contexto da criação e desenvolvimento de projetos no metaverso, a definição de escopo é uma etapa crucial. Assim como em projetos tradicionais, o escopo envolve o delineamento claro dos objetivos, entregáveis, tarefas e restrições. No entanto, as características únicas do metaverso demandam um cuidado especial, visto que ele incorpora elementos de realidade aumentada, realidade virtual, blockchain, e outras tecnologias emergentes.

Um escopo bem definido no metaverso é essencial para garantir que os objetivos do projeto sejam alcançados de maneira eficaz, sem desperdício de recursos. A natureza inovadora e em rápida evolução do metaverso torna fundamental a necessidade de constantes revisões e ajustes no escopo, a fim de acompanhar as mudanças tecnológicas e expectativas dos usuários. Projetos no metaverso exigem uma abordagem ágil, onde o escopo é tratado como um documento vivo, adaptável às demandas emergentes.

O desenvolvimento de projetos no metaverso traz novos desafios e oportunidades em termos de definição de escopo. A complexidade das tecnologias envolvidas, o potencial para novos modelos econômicos e as questões de privacidade e segurança tornam esse processo mais dinâmico e crítico. Definir um escopo claro e flexível é vital para garantir o sucesso de iniciativas dentro do metaverso.

Dentro do levantamento de escopo vamos utilizar uma metodologia para identificar qual seria o atual nível de maturidade dentro da organização da implementação das tecnologias da indústria 4.0, consideradas como tecnologias habilitadoras, para implementação de ferramentas e uso do metaverso dentro destas atividades desta organização

A realização de uma análise dos pontos fracos e fortes será utilizada para identificar quais seriam os pontos forte e fracos atuais, o que servirá de suporte para definirmos e priorizarmos em quais tecnologias e quais investimentos poderiam ser feitos para definirmos em que áreas e atividades poderíamos aplicar o uso do metaverso dentro da organização, sempre levando em consideração as expectativas e interesses da companhia e também por meio do levantamento do nível de maturidade de metaverso que a empresa gostaria de atingir.

Para definir este nível de maturidade do metaverso utilizamos como referência o trabalho de Weinberger e Gross (2023) que define os atributos principais do metaverso e algumas métricas para definição do seu nível de maturidade

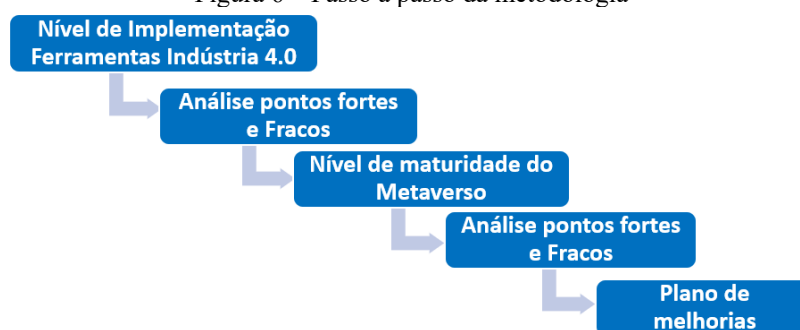
No capítulo abaixo vamos detalhar um pouco mais sobre as relações existentes entre as ferramentas habilitadoras da indústria 4.0 e os principais atributos que formam o metaverso, pois isso será a base para a etapa de análise final dos pontos fracos e fortes existentes na empresa.

3.5 DIRETRIZES DE IMPLEMENTAÇÃO

Em resumo poderíamos definir as etapas abaixo como uma espécie de roteiro, que as organizações que desejem utilizar aplicações do metaverso, poderiam seguir para definir melhor que tipos de aplicações do metaverso poderiam ser empregadas/desenvolvidas dentro de suas operações de forma a otimizar seus recursos e investimentos conforme mostrado na figura 6:

1. Levantamento do nível de implementação das ferramentas da Indústria 4.0 já utilizadas pela empresa
2. Análise dos pontos fortes e fracos das ferramentas da Indústria 4.0
3. Levantamento do nível de maturidade dos atributos que compõem o metaverso
4. Análise dos pontos fortes e fracos dos atributos do metaverso para identificar os pontos que a organização precisa melhorar para ter uma base mais sólida de ferramentas para iniciar o desenvolvimento de aplicações no metaverso
5. Definição do plano de implementação (onde vai investir) para fortalecer as bases necessárias para desenvolvimento de aplicações no metaverso para melhorar suas operações aproveitando ao máximo seus pontos fortes já disponíveis e, se necessário, melhorando alguns de seus pontos fracos com sugestão de alguns KPIs

Figura 6 – Passo a passo da metodologia



Fonte: Elaborada pela autora, 2024

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA NO ESTUDO DE CASO

A empresa analisada no estudo de caso está localizada no Polo Industrial de Manaus e atua no setor de áudio sonoro. Trata-se de uma multinacional de capital fechado, com operações em várias regiões do mundo, desenvolvendo sistemas de áudio, vídeo e soluções conectadas, como carros conectados e serviços de IoT. A organização emprega aproximadamente 30.000 pessoas e oferece produtos que variam de fones de ouvido a sistemas de som para estádios e cinemas. A empresa investe em conectividade móvel, tecnologias OTA (over-the-air), e soluções como navegação 3D e suporte a aplicativos inteligentes. Sua estratégia está alinhada à sustentabilidade e à responsabilidade social.

4.2 ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0

O primeiro passo desta metodologia refere-se justamente ao levantamento do nível de maturidade de cada uma destas ferramentas habilitadoras da indústria 4.0 dentro das organizações.

Foi feito um levantamento documental que evidenciou o nível de cada uma das ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 relevantes sob o ponto de vista dos atributos do metaverso. A tabela abaixo demonstra a pontuação obtida por cada uma destas ferramentas na empresa onde realizou-se este estudo:

Tabela 7 – Nível de implementação ferramentas indústria 4.0 na empresa do estudo de caso

Ferramentas Indústria 4.0 relevantes para o	IoT	4
	Cloud Computer	5
	Blockchain/ NFT	2
	IA	5
	Redes 5G	4
	RA	2
	RV	2

		Coexistencia Física Digital	2
		Manufatura Aditiva	1
		Big Data Analytics	5
		Edge Computing	4

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

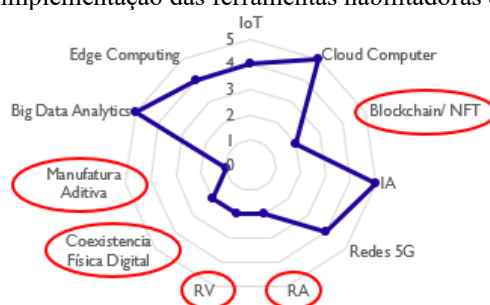
4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DAS FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0

A avaliação de maturidade das ferramentas da Indústria 4.0 realizada com base neste modelo específico considerou indicadores como conectividade, automação e integração de dados. Os resultados mostraram que a empresa possui maturidade intermediária em ferramentas como IoT e big data, mas apresenta lacunas em áreas como realidade virtual e gêmeos digitais.

Pelo gráfico de radar consegue-se visualizar que existem alguns pontos fracos que precisam ser desenvolvidos para melhorar a capacidade da empresa de, no futuro, ter mais base tecnológica para desenvolver aplicações baseadas no metaverso dentro da empresa estudada. Entre os pontos mais fracos destacam-se:

- Block chain / NFT;
- Manufatura Aditiva;
- Realidade Virtual;
- Realidade Aumentada

Figura 7: Nível implementação das ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Essas lacunas foram identificadas como pontos críticos para o desenvolvimento futuro, especialmente na implementação de tecnologias imersivas. A análise destacou que, embora a empresa já tenha processos bem estabelecidos, há necessidade de maior integração de dados em tempo real e de investimentos em infraestrutura tecnológica para suportar o uso do metaverso.

4.4 ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0 CORRELACIONADA COM OS ATRIBUTOS DO METAVERSO

Seguindo a metodologia e colocando-se as pontuações na tabela 8 de correlação das ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 com os atributos do metaverso, chega-se a seguinte tabela de pontuação:

Tabela 1: Correlação entre as características do metaverso e as ferramentas habilitadoras da indústria 4.0

	IoT	Cloud Computing	Blockchain/ NFT	IA	Redes 5G	RA	RV	Digital Twins	Manufatura Aditiva	Big data Analytics	Edge Computing	Média
Interoperabilidade	4	5	2	5	4							4,00
Coexistência Física/Digital	4	5		5		2	2	2				3,33
Conteúdo Gerado Para Usuário			2	5		2	2		1			2,40
Realismo Imersivo		5		5	4	2	2					3,60
Escalabilidade		5	2	5	4	2	2				4	3,43
Sincronicidade		5	2	5	4					5	4	4,17
Persistência		5	2	5						5	4	4,20
Econômico		5	2	5	4	2	2			5		3,57

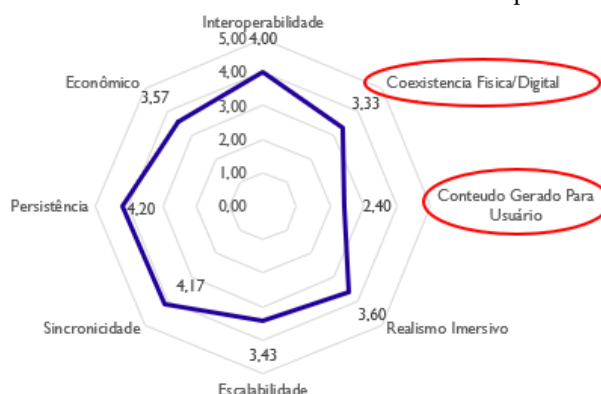
Fonte: Elaborada pela autora, 2024

4.5 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DOS ATRIBUTOS DO METAVERSO

Pela análise do gráfico de radar mostrado na figura 8 pode-se destacar os 2 atributos do metaverso como os menos presentes dentro das aplicações que hoje já estão sendo implementadas e utilizadas na empresa deste referido estudo de caso:

- Conteúdo gerado para usuário
- Coexistência Física e Digital

Figura 8: Nível de maturidade dos atributos do metaverso na empresa do estudo de caso



Fonte: Elaborada pela autora, 2024

4.6 PLANO DE RECOMENDAÇÕES

Baseado nas informações dos gráficos coletados acima temos as seguintes informações:

- a) 4 ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0 que se mostraram como pontos fracos da organização:
 - o Block chain / NFT;
 - o Manufatura Aditiva;
 - o Realidade Virtual;
 - o Realidade Aumentada
- b) 2 atributos do Metaverso que também foram apontados como pontos fracos da organização:
 - o Conteúdo gerado para usuário
 - o Coexistência Física e Digital

Fazendo uma correlação entre os 2 menores valores do nível de implementação das ferramentas habilitadoras da indústria 4.0 e os 2 menores valores obtidos na análise dos atributos do metaverso temos como principal saída a tabela 9 abaixo:

Tabela 2: Correlação entre as características fracas do metaverso e as ferramentas habilitadoras menos desenvolvidas da indústria 4.0

	Blockchain/ NFT	RA	RV	Digital Twins	Manufatura Aditiva	Average
Coexistencia Fisica/Digital		2	2	2		3,33
Conteudo Gerado Para Usuário	2	2	2		1	2,40

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Por meio desta tabela conseguimos perceber que a empresa em estudo, caso tenha a intenção de começar a desenvolver aplicações envolvendo o metaverso, poderia começar a investir recursos para desenvolver mais tecnologias/processos/produtos que envolvam o desenvolvimento de aplicações utilizando realidade aumentada e realidade virtual, uma vez que as 2 ferramentas possuem bastante significância em relação aos 2 atributos menos percebido na organização em que este estudo de caso foi realizado.

Baseado nos resultados finais obtidos, demonstrados acima, foi gerado um plano de recomendações em diversas áreas onde investimentos poderiam ser realizados para aumentar o grau de utilização e aplicação tanto de realidade aumentada, quanto de realidade virtual dentro desta organização conforme mostrado nas figuras 10 e 11 abaixo:

Tabela 10: plano Recomendações para RA

Área de Investimentos	Ações de Investimentos
1. Infraestrutura e Equipamentos	Dispositivos de Exibição: Invista em smartphones, tablets, óculos RA (como HoloLens ou Magic Leap), ou dispositivos especializados que suportem a tecnologia.
	Sensores e Câmeras: Adquirir equipamentos que aumentem a precisão da RA, como câmeras 3D ou sensores de movimento.
2. Desenvolvimento de Software	Plataformas de RA: Use ferramentas como Unity, Unreal Engine ou Vuforia para desenvolver aplicações personalizadas.
	Desenvolvimento Interno: Monte uma equipe de desenvolvedores para criar soluções específicas para as necessidades do seu negócio.
	Aplicativos de Terceiros: Contrate empresas especializadas em RA para criar aplicativos sob medida.
3. Treinamento de Equipe	Capacitação: Treine sua equipe para entender e operar ferramentas de RA.
	Workshops: Ofereça workshops internos para que os funcionários explorem o potencial da tecnologia.
4. Conteúdo Interativo	Design de Experiências: Crie conteúdos envolventes, como simulações interativas, tutoriais em RA ou demonstrações de produtos.
	Integração com Dados: Combine RA com análise de dados para fornecer insights em tempo real.
5. Experiência do Cliente	Demonstração de Produtos: Use RA para mostrar como os produtos funcionam ou ficariam no espaço do cliente.
	Prova Virtual: Permita que clientes experimentem virtualmente roupas, móveis ou outros produtos.
6. Marketing e Divulgação	Campanhas Criativas: Utilize RA em campanhas de marketing para criar experiências imersivas.
	Gamificação: Crie jogos ou desafios em RA para atrair novos clientes.
7. Colaboração com Parceiros	Parcerias Tecnológicas: Trabalhe com startups ou empresas de tecnologia para implementar soluções inovadoras.
	Ecossistema de Inovação: Participe de eventos ou comunidades de RA para trocar conhecimentos e explorar tendências.

Tabela 11: plano Recomendações para RV

Área de Investimentos	Ações de Investimentos
1. Infraestrutura e Equipamentos	Headsets de Realidade Virtual: Invista em dispositivos como Oculus Quest, HTC Vive, Pico, ou outros compatíveis com suas necessidades.
	Hardware de Suporte: Garanta computadores e servidores com capacidade gráfica suficiente para rodar aplicativos de RV de alta qualidade.
	Acessórios Complementares: Compre controladores, sensores, esteiras para simulações (como Omni One) e câmeras 360°.
2. Desenvolvimento de Aplicações	Softwares Personalizados: Desenvolva aplicativos de RV voltados para suas necessidades, como simulações, treinamentos, visualização de projetos ou marketing imersivo.
	Plataformas de Desenvolvimento: Utilize ferramentas como Unity, Unreal Engine ou Blender para criar ambientes e experiências.
	Parcerias com Especialistas: Contrate desenvolvedores ou agências especializadas para criar soluções personalizadas.
3. Capacitação e Treinamento da Equipe	Treinamento Interno: Ensine os funcionários a operar os dispositivos e aplicativos de RV.
	Workshops: Promova sessões práticas para explorar o potencial da RV em diferentes áreas do negócio.
	Contratação de Especialistas: Contrate ou terceirize profissionais especializados em design e programação para RV.

4. Experiências Imersivas	Demonstração de Produtos: Crie experiências em RV que permitam aos clientes explorar seus produtos de maneira interativa.
	Treinamentos e Simulações: Use RV para treinamento em cenários controlados, como segurança no trabalho, operações complexas ou atendimento ao cliente.
	Prototipagem Virtual: Implemente RV para visualizar protótipos e designs antes de avançar na produção.
5. Aplicações Empresariais	Engenharia e Construção: Utilize RV para criar e revisar modelos 3D de projetos antes da execução.
	Saúde: Implante RV para treinar equipes médicas ou realizar simulações de cirurgia.
	Educação e Treinamento: Desenvolva programas de aprendizado imersivo para capacitação de funcionários.
6. Marketing e Experiência do Cliente	Campanhas Interativas: Desenvolva ações de marketing em RV para atrair clientes com experiências inovadoras.
	Lojas Virtuais: Ofereça tours em RV para mostrar produtos, serviços ou ambientes de forma imersiva.
	Eventos e Feiras: Use RV para criar stands interativos ou apresentações impactantes.
7. Colaboração e Trabalho Remoto	Reuniões Virtuais: Implante plataformas de RV como Spatial ou Horizon Workrooms para reuniões e colaborações imersivas.
	Simulações de Cenários: Realize simulações de operações ou tomadas de decisão em ambientes virtuais.
8. Pesquisa e Desenvolvimento	Experimentação: Crie laboratórios internos para testar o uso de RV em diferentes áreas da empresa.
	Prototipagem Rápida: Use RV para criar e testar ideias de forma rápida e econômica.
9. Integração com Outras Tecnologias	Big Data e IA: Combine RV com inteligência artificial e análise de dados para criar experiências personalizadas.
	Internet das Coisas (IoT): Integre dispositivos conectados para enriquecer as interações no ambiente virtual.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou detalhadamente a aplicação do metaverso na Indústria 4.0, evidenciando um cenário multifacetado onde tecnologias emergentes convergem com práticas industriais tradicionais. Exemplos reais demonstraram os benefícios e as melhorias obtidas pela adoção do metaverso em diferentes negócios.

A partir de uma extensa revisão bibliográfica, foram definidas as principais ferramentas habilitadoras da Indústria 4.0, utilizando os atributos do metaverso propostos por Weinberg e Gross (2023). A tabela de correlação desenvolvida permitiu uma análise simples do nível de maturidade dessas ferramentas, com base em metodologias como a de Schneider (2018) e Gokalp (2017). Aplicando essa metodologia em uma empresa real, foi possível identificar pontos críticos e propor um plano de melhorias abrangente, evidenciado por um gráfico de radar. Esses resultados fornecem as bases para o desenvolvimento de futuras aplicações no Metaverso Industrial.

5.2 TENDÊNCIAS DE APLICAÇÕES EMERGENTES NO METAVERSO INDUSTRIAL

As possibilidades do metaverso incluem a visualização tridimensional de projetos, com integração de dados em tempo real capturados por sensores IoT. Empresas como Airbus e Procter &

Gamble demonstram como a simulação e o ajuste em ambientes virtuais resultam em economia de tempo e recursos (AIRBUS, 2021; PROCTER & GAMBLE, 2020).

Outro destaque é a colaboração distribuída, permitindo que equipes em diferentes locais se reúnam em espaços virtuais, reduzindo custos de deslocamento e facilitando interações mais ricas do que as proporcionadas por videoconferências tradicionais. Empresas como Volkswagen utilizam o metaverso para workshops virtuais, aumentando a produtividade e acelerando o desenvolvimento de soluções inovadoras (VOLKSWAGEN, 2022).

5.3 DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

A implementação de metaverso ainda apresenta desafios significativos. Entre os principais estão os altos custos iniciais de investimento em infraestrutura tecnológica, a necessidade de qualificação dos colaboradores para operar em ambientes virtuais e a integração dos sistemas legados com as novas ferramentas tecnológicas.

Além disso, a resistência à mudança cultural pode ser um obstáculo que necessita ser superado por meio de campanhas de conscientização e treinamento contínuo. Questões relacionadas à segurança de dados também emergem como um ponto crítico, exigindo o desenvolvimento de soluções robustas de cibersegurança para proteger informações sensíveis em ambientes virtuais.

Por isso, podemos dizer que a implementação do metaverso enfrenta desafios tecnológicos e éticos. A infraestrutura de TI robusta necessária, incluindo servidores de alta capacidade e redes eficientes, é um obstáculo significativo (Lee et al., 2024). A interoperabilidade entre sistemas e a ausência de padrões universais também complicam a integração de dados, resultando em silos e ineficiências operacionais (Yang et al., 2024).

No âmbito da segurança, o metaverso amplia a superfície de ataque, exigindo medidas como criptografia de dados, autenticação multifatorial e monitoramento contínuo. Além disso, é crucial garantir a privacidade e transparência na coleta e uso de dados, em conformidade com regulamentos como o GDPR e a LGPD (Kaspersky, 2022).

A superação desses desafios requer investimentos em infraestrutura, padronização e treinamento de equipes. Iniciativas colaborativas entre empresas e organizações podem estabelecer um ambiente mais seguro e confiável, essencial para a consolidação do metaverso na Indústria 4.0.

5.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

Com base nos resultados obtidos, as perspectivas para o uso do metaverso na Indústria 4.0 são promissoras. Espera-se que o avanço das tecnologias imersivas, aliado às melhorias em conectividade

e processamento de dados, permita a expansão das aplicações do metaverso em diversas áreas industriais.

Ademais, a integração do metaverso com ferramentas de inteligência artificial e análise preditiva tem o potencial de otimizar ainda mais os processos, reduzir custos e aumentar a competitividade. A implementação de gêmeos digitais e simulações em tempo real será um diferencial competitivo, possibilitando que as empresas se antecipem a desafios e inovem continuamente em um mercado em constante evolução.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. Using 3D Visualization for Aircraft Design. 2021. Disponível em: <https://www.airbus.com>. Acesso em: 25 jul. 2024.

DELOITTE. The Future of Work in the Metaverse: Strategies for Workforce Training and Development. 2023. Disponível em: <https://www.deloitte.com>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GÖKALP, Ebru; SENER, Umut; EREN, Erhan. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. Informatics Institute, Middle East Technical University, pp. 128–142, 2017.

KASPERSKY. Cybersecurity in the Era of the Metaverse: Protecting Data and Networks. 2022. Disponível em: <https://www.kaspersky.com>. Acesso em: 25 jul. 2024.

LEE, Lik-Hang et al. All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, v. 18, n. 2–3, p. 100-337, 2024.

PROCTER & GAMBLE. Virtual Simulations for Production Lines. 2020.

SCHNEIDER, Jaime. Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em um ambiente da indústria 4.0. 2018.

VOLKSWAGEN. Virtual Training and Production Optimization. 2022. Disponível em: <https://www.volkswagen.com>. Acesso em: 25 jul. 2024.

WEINBERGER, Markus; GROSS, Daniel. A metaverse maturity model. *Global Journal of Computer Science and Technology*, v. 22, p. 39-45, 2023.

YANG, L.; NI, S. T.; WANG, Y.; YU, A.; LEE, J. A.; HUI, P. Interoperability of the Metaverse: A Digital Ecosystem Perspective Review. *arXiv preprint arXiv:2403.05205*, 2024.