

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

VICENTE KNIHS ERBS

INTEGRAÇÃO DO METAVERSO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS

Joinville
2022

VICENTE KNIHS ERBS

INTEGRAÇÃO DO METAVERSO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira

Coorientadora: Dra. Ingrid Winkler

Joinville
2022

RESUMO

O metaverso é um conceito em crescente interesse, principalmente pelas diversas oportunidades que o mesmo oferece. Entretanto, dada a novidade do tema, ainda não há um consenso no que condiz ao conceito e especificações do metaverso. Já o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é objeto de estudo há certo tempo, com metodologias tais quais o V-Model sendo adotadas por uma variedade de empresas, em especial do setor automotivo. Pela atualidade do tema *metaverso*, são encontradas poucas pesquisas relacionadas ao seu uso nas diferentes etapas do PDP. O presente trabalho tem como objetivo apresentar as potencialidades de integração do metaverso ao processo de desenvolvimento de produto, tomando como base o V-Model. Para isto, por meio de uma revisão sistemática da literatura seguindo as diretrizes da Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA), construiu-se os conceitos que fundamentam a discussão sobre metaverso e PDP. Em seguida, foi realizado um levantamento de empregos do metaverso no PDP na indústria, mediante a verificação do estado da prática. Ao final, as informações obtidas foram sintetizadas em relação ao emprego do metaverso em cada fase do V-Model. Percebeu-se que existem diferentes casos de uso nos quais o metaverso é capaz de auxiliar o PDP. Em especial, os gêmeos digitais são capazes de proporcionar simulações fidedignas que auxiliam o PDP em diversos cenários. Ademais, a existência de ambientes virtuais imersivos garante uma interatividade entre pessoas que auxilia tanto a comunicação interna das organizações quanto a externa, alcançando clientes em uma nova forma de divulgação. Assim, foi possível mostrar o potencial de utilização do metaverso ao longo do processo de desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: Metaverso. Desenvolvimento de Produto. V-Model. Realidade Estendida.

ABSTRACT

Metaverse is a concept of growing interest, mostly because of the several opportunities that it can leverage. However, due to the novelty of the subject, there is still no consensus around the concept and the specifications for metaverse. On the other hand, the Product Development Process (PDP) has been a subject of study for a certain time, with methodologies such as the V-Model being adopted by a variety of companies, specially from the automotive industry. Because of the topicality of the metaverse, there are just a few researches linking it to the phases of PDP. The present work aims to present the potentialities of integrating metaverse into PDP, based on V-Model. In order to do that, by means of a systematic literature review following the guidelines of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta- Analyses (PRISMA), the conceptual foundation to discuss the metaverse and PDP was built. Then, examples of metaverse application in PDP were gathered from industry, through the verification of the state of practice. Finally, the information were synthetized in relation to the employment of metaverse in each of the V-Model's steps. We noticed the existence of different use cases in which the metaverse is able to support PDP. Specially, digital twins are capable of create trustworthy simulations to help PDP in several scenarios. Furthermore, immersive virtual environments guarantee an interactivity between people that help organizations in both internal and external communication, reaching client in a new way of divulgation. Therefore, we could demonstrate the potential of using the metaverse throughout the product development process.

Keywords: Metaverse. Product Development. V-Model. Extended Reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do V-Model	19
Figura 2 – Entendimento de VR, AR e MR conforme Milgram et al. (1994) . . .	22
Figura 3 – Ilustração de VR	23
Figura 4 – Ilustração de AR	23
Figura 5 – Ilustração de MR	24
Figura 6 – Ilustração de XR	25
Figura 7 – Camadas da estrutura do metaverso segundo Wang et al. (2021) . .	32
Figura 8 – Arquitetura de sistema padrão para o metaverso	33
Figura 9 – Digital Twin feito com o NVIDIA Omniverse para armazém da Amazon	42
Figura 10 – Comparativo de imagem entre Omniverse e centro de distribuição PepsiCo	43
Figura 11 – Conceito de <i>fábrica do futuro</i> pela BMW apresentado no Omniverse	44
Figura 12 – Modelo virtual de veículo Volvo construído com a ferramenta Unity .	45
Figura 13 – Uso de MR para apresentação de veículo Daimler	46
Figura 14 – Avatares no Samsung 837X	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pesquisas selecionadas a partir da PRISMA.	14
Quadro 2 – Definições de metaverso segundo a literatura.	26
Quadro 3 – Visão de multinacionais sobre o metaverso.	30
Quadro 4 – Síntese das potenciais aplicações do metaverso no PDP.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Realidade Aumentada
MR	Realidade Mista
VR	Realidade Virtual
XR	Realidade Estendida
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
HMD	Head-Mounted Display
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
ML	Machine Learning
XAI	Explainable Artificial Intelligence
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
IIoT	Internet Industrial das Coisas
ERP	Enterprise Resource Planning
DES	Simulação de Eventos Discretos
SVR	Symposium on Virtual and Augmented Reality
UTAUT	Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia
PDM	Product Data Management
NFT	Non-Fungible Token

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Contexto	8
1.2	Objetivo	9
1.3	Estrutura do Documento	10
2	METODOLOGIA	11
2.1	PRISMA	11
2.1.1	Planejamento	11
2.1.2	Escopo	12
2.1.3	Pesquisa	12
2.1.4	Avaliação	13
2.1.5	Síntese e Análise	14
3	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO DE ACORDO COM O V-MODEL	18
4	METAVERSO	22
4.1	Realidade Virtual, Aumentada, Mista e Estendida	22
4.2	Conceitos de Metaverso	25
4.3	Arquitetura do Metaverso	32
5	METAVERSO E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	38
5.1	Casos de Uso da Aplicação do Metaverso ao Processo de Desenvolvimento de Produto	42
5.2	Síntese das Potenciais Aplicações do Metaverso no PDP	47
6	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O conceito de metaverso tem ganhado especial atenção nos últimos anos, principalmente com os investimentos feitos pelas maiores empresas de tecnologia (ABURBEIAN; OWDA; OWDA, 2022). Estima-se que essa ferramenta seja mais um marco na era da internet, cujo uso possa criar novos meios de relacionamento social, abra novos mercados, proporcione novos métodos de trabalho e revolucione a estrutura social em aspectos econômicos, políticos e sociais (TEIXEIRA; PERES, 2020; MOZUMDER et al., 2022; WANG; YAN; ZHOU, 2021).

Todavia, seu desenvolvimento ainda está em fase embrionária, faltando consenso tanto em questões conceituais e teóricas, quanto em padrões que garantam a interoperabilidade de software e hardware (WANG et al., 2021). Além disso, inúmeros desafios associados com a gênese de um novo ecossistema precisam ser solucionados, uma vez que nem toda regulamentação se aplica da mesma forma nesse cenário (ZHOU; LEENDERS; CONG, 2018).

Nesse sentido, discussões acerca do tema são necessárias para diferentes aplicações. Vários estudos buscaram expor suas perspectivas em tópicos econômicos (ZHOU et al., 2018), industriais (BUROVA et al., 2022; TURNER; GARN, 2022), comerciais (XI; HAMARI, 2021), sociais (LEE; KIM, 2022) e educacionais (XING et al., 2021a). Além desses, vários outros estudos foram feitos, com especial crescente no número de trabalhos a partir de 2021 (ABURBEIAN et al., 2022; WANG et al., 2021).

Ademais, houve um estímulo à adoção de ferramentas que possibilitem o trabalho remoto durante a pandemia da COVID-19, sendo o metaverso uma dessas (CHOI, 2022; WANG et al., 2021; HWANG; LEE, 2022). Outros caso de uso são os jogos, que vêm utilizando essa imersividade para aprimorar a experiência dos jogadores há certo tempo (ABURBEIAN et al., 2022; FAST-BERGLUND; GONG; LI, 2018; MOZUMDER et al., 2022). Não à toa, muito do que foi desenvolvido até o momento se fundamenta no progresso feito para tais finalidades.

Tudo isso criou um movimento de pesquisa e desenvolvimento relacionado ao metaverso com uma crescente exponencial, inclusive no Brasil (TEIXEIRA; PERES, 2020). De fato, existe uma significativa quantidade de empresas que almejam o pioneirismo na área em busca de competitividade no cenário global (LEE; KIM, 2022; LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2022). Por outro lado, pesquisas nessa área ainda são escassas e, como se trata de uma tecnologia em fase absolutamente inicial, aquelas elaboradas há poucos anos já se tornaram obsoletas (TEIXEIRA; PERES, 2020).

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é visto sob uma perspectiva

de metodologia para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos, seguindo uma série de etapas sequenciais de um processo amplo, que vai da gestão do portfólio de uma organização até a descontinuidade de um produto e a retirada desse do mercado (ROZENFELD et al., 2006). À vista disso, tal metodologia pode ser aplicada a diferentes indústrias e organizações que busquem estruturar esse processo de concepção de produtos.

Dentre os diversos modelos propostos para implementação do PDP, está o V-Model, o qual organiza o processo em uma série particular de etapas e é comumente utilizado na indústria automotiva (BHISE, 2017; WEBER, 2009). O modelo recebe esse nome por ser representado visualmente em V, com uma fase na qual se aprofunda até o planejamento de cada componente individual (parte esquerda do V) e outra fase de ascensão até a concretização de um modelo funcional (parte direita do V). Esse modelo é apresentado em maiores detalhes mais adiante.

Uma pesquisa na literatura mostrou que trabalhos relacionando metaverso e o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em diferentes fases são praticamente inexistentes na literatura. Observa-se que existem estudos de caso específicos, como em Burova et al. (2022), Longo et al. (2022) e Turner e Garn (2022), que focam em aplicações pontuais de ferramentas como o metaverso, mas que não cobrem as diferentes etapas do PDP.

Ainda, os estudos recentes não demonstram um conceito consistente e universalmente aceito para metaverso (LEE; KIM, 2022; NING et al., 2021; WANG et al., 2021), além de alertarem para a falta de padrões e de certos desafios que devem surgir disso (WANG et al., 2021). Sob essa perspectiva, o presente trabalho busca uma síntese de informações de caráter inédito.

Nesse contexto, a partir de uma revisão sistemática da literatura sobre o metaverso e suas aplicações no PDP, adotando as diretrizes da Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (PAGE et al., 2021), busca-se compreender como vem sendo aplicada a imersão no metaverso nas diferentes fases de desenvolvimento de produto. Finalmente, propõe-se mostrar as potencialidades dessa integração, tendo em vista as possibilidades de uso.

1.2 OBJETIVO

A fim de estimar as implicações da integração do metaverso à realidade das corporações e seus processos, constitui objetivo geral deste trabalho apresentar as potencialidades de integração do metaverso ao processo de desenvolvimento de produto, tomando como base o V-Model.

Neste cenário, são objetivos específicos deste trabalho:

- Descrever um conjunto de conceitos acerca do metaverso;

- Apresentar o modelo de desenvolvimento de produto, na visão do V-Model;
- Identificar casos de uso do metaverso no PDP;
- Sintetizar as potenciais aplicações do metaverso nas etapas do PDP.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

As seções subsequentes deste documento se estruturam em capítulos. No Capítulo 2, apresenta-se a metodologia adotada para a revisão da literatura – no caso, a PRISMA. O Capítulo 3 elucida os conceitos básicos relacionados PDP e ao V-Model. O Capítulo 4 expõe os resultados da revisão da literatura para o metaverso. No Capítulo 5, tem-se casos de uso reais do metaverso ao PDP, bem como uma síntese das aplicações do metaverso no PDP. O Capítulo 6 conclui o documento e são evidenciadas as referências para o trabalho.

2 METODOLOGIA

Para analisar as implicações da integração do metaverso à realidade das corporações e seus processos, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre o metaverso e suas aplicações às fases do PDP. Para isto, adotou-se as diretrizes da PRISMA, baseada em Page et al. (2021).

2.1 PRISMA

Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) é um conjunto de diretrizes desenvolvido em 2009, estruturado com a intenção de dar transparência às revisões sistemáticas da literatura, justificando tanto o propósito da pesquisa quanto as escolhas feitas em relação às referências adotadas (PAGE et al., 2021). Page et al. (2021) propuseram uma atualização da PRISMA, nomeando-a PRISMA 2020, tendo em vista os avanços feitos na literatura acerca dos métodos de revisão.

Esta pesquisa baseou-se, na maioria, na sistemática adotada por Henriques e Winkler (2021), onde uma revisão sistemática da literatura foi feita a fim de identificar os avanços e as oportunidades de aplicação da Realidade Virtual (VR) ao setor automotivo. Todavia, diferentemente da pesquisa de Henriques e Winkler (2021), não foram consultadas patentes acerca do tema, apenas pesquisas científicas estão inclusas na revisão.

A PRISMA é dividida em cinco etapas: planejamento, escopo, pesquisa, avaliação e síntese e análise. A forma como etapa foi realizada nesta pesquisa é apresentada nos tópicos subsequentes em conjunto com os resultados, fundamentadas em Henriques e Winkler (2021) e Page et al. (2021).

2.1.1 Planejamento

Na primeira etapa, denominada planejamento, definiu-se as bases de dados adotadas para a pesquisa por referências, permitindo selecionar as publicações de maior impacto na área do metaverso aplicado ao PDP. Nesse sentido, selecionou-se cinco bases online, de acesso gratuito:

- IEEEExplore;
- Springer;
- ScienceDirect;
- MDPI;
- Repositório Institucional UFSC.

Os quatro primeiros foram escolhidos por estarem entre as bases de dados mais reconhecidas mundialmente, especialmente na área de tecnologia, engenharia e inovação (HENRIQUES; WINKLER, 2021). O Repositório Institucional UFSC foi selecionado no intuito de identificar estudos e perspectivas que venham se desenvolvendo dentro da instituição de ensino, proporcionando, também, concepções nacionais e locais sobre o tema em questão.

2.1.2 Escopo

A segunda etapa teve o objetivo de determinar o escopo da pesquisa por meio da formulação de perguntas que serviram de base para a busca e análise dos resultados. Com isso, elucidaram-se os objetivos, o que permitiu nortear as buscas por publicações e filtrar apenas aquelas de maior interesse. Sob essa perspectiva, partindo dos objetivos apresentados na Seção 1, propôs-se os seguintes questionamentos:

Q1: Qual ou quais os conceitos de metaverso apresentados hoje e quais as perspectivas para o futuro da tecnologia?

Q2: Quais aplicações já foram feitas utilizando o metaverso e Realidade Estendida (XR) que seriam compatíveis com as fases da Metodologia de Projeto de Produto?

Com isso, especificou-se que os objetivos desta revisão sistemática da literatura incluem conceituar o metaverso, compreender as percepções correntes sobre o mesmo e observar como é possível integrar essa nova ferramenta à Metodologia de Projeto de Produto. Vale ressaltar que o termo XR também foi adotado por ser, por vezes, tratado como um sinônimo de metaverso, uma vez que ambos refletem aplicações tecnológicas praticamente idênticas.

2.1.3 Pesquisa

De posse dos objetivos em forma de perguntas, partiu-se para uma etapa de consulta às bases de dados elencadas utilizando uma frase de consulta específica, baseada nas questões estruturadas na etapa anterior.

À vista disso, respaldando-se no método feito por Henriques e Winkler (2021), utilizou-se a seguinte frase: (“metaverse” OR “extended reality” OR “XR” OR “augmented reality” OR “AR” OR “virtual reality” OR “VR” OR “immersive”) AND (“product development” OR “product design” OR “market research” OR “user research” OR “people research”) AND document title with (“metaverse” OR “extended reality” OR “XR”). Note-se que a sintaxe utiliza operadores condicionais booleanos usuais, como OR e AND.

Além disso, uma versão em português foi caracterizada para pesquisa no Repositório Institucional UFSC, assumindo a seguinte forma: (“metaverso” OR

“realidade estendida” OR “XR” OR “realidade aumentada” OR “AR” OR “realidade virtual” OR “VR” OR “imersivo” OR “imersiva”) AND (“desenvolvimento de produto” OR “design de produto” OR “pesquisa de mercado” OR “pesquisa de usuário”) AND document title with (“metaverso” OR “realidade estendida” OR “XR”). Percebe-se que as siglas seguem na versão em inglês, uma vez que são utilizadas da mesma maneira em trabalhos escritos em português.

Desse modo, com um levantamento feito em 14 de maio de 2022, obteve-se os seguintes resultados, separados por base de dados:

- IEEEXplore: 9 resultados;
- SpringerLink: 606 resultados;
- ScienceDirect: 20 resultados;
- MDPI: 10 resultados;
- Repositório Institucional UFSC: nenhum resultado.

Total: 635 resultados

É importante ressaltar que houve fatores limitantes relacionados às ferramentas de consulta associadas a cada base de dados. No caso da ScienceDirect, há um limite de oito operadores condicionais ao campo de busca genérico, um obstáculo que foi superado realizando procuras com filtros distintos e obtendo um conjunto de resultados que satisfaça a todos os critérios.

Outra situação foi com o MDPI, que não fornece a possibilidade de agrupar critérios com parêntesis como a frase de consulta elaborada. Entretanto, verificou-se que, apenas aplicando os filtros para o título e delimitando que o termo “metaverse” deveria estar presente no texto, a busca se resumia em dez resultados. Como esse número já tem proporções praticáveis, seguiu-se com os mesmos.

Para o caso do Repositório Institucional UFSC, percebeu-se que nenhum resultado atendia às especificações adotadas. De fato, apenas uma busca pelo termo “metaverso” já resultava em apenas oito publicações, mas nenhuma adequada à proposta de pesquisa. Logo, essa base não é apresentada nos resultados das etapas subsequentes, uma vez que não houveram documentos qualificados.

2.1.4 Avaliação

Nesse ponto, refinou-se a pesquisa, incluindo ou removendo critérios para diminuir o número de resultados. Esse critérios foram selecionados tendo em vista a qualidade esperada das publicações filtradas, isso em termos de relevância para o tema – neste caso, o metaverso aplicado ao PDP. Posto isso, adotou-se os seguintes critérios para cada uma das bases de dados:

- C1: apenas trabalhos em inglês ou português;

- C2: apenas trabalhos publicados a partir de 2018;
- C3: apenas artigos acadêmicos, papers, teses e dissertações;

Assim, obteve-se os seguintes resultados:

- IEEEExplore: 8 resultados;
- SpringerLink: 13 resultados;
- ScienceDirect: 13 resultados;
- MDPI: 8 resultados;

Total: 42 resultados

2.1.5 Síntese e Análise

Na última etapa, revisou-se os resultados obtidos a fim de selecionar quais foram incluídos no trabalho. Vale ressaltar que essa revisão se deu apenas em elementos-chave dos textos. Então, o título e o resumo dos 42 trabalhos foram avaliados sob a perspectiva do escopo estipulado pelas perguntas Q1 e Q2, almejando identificar quais desses estavam em conformidade com os objetivos deste trabalho. Com isso, selecionou-se 18 trabalhos, apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 – Pesquisas selecionadas a partir da PRISMA.

(continua)

<i>Autor(es)</i>	<i>Título</i>	<i>Síntese</i>
Aburbeian et al. (2022)	A technology acceptance model survey of the metaverse prospects.	O metaverso é examinado sob a perspectiva de um modelo de aceitação por parte de usuários, onde diferentes hipóteses são avaliadas por meio de testes.
Burova et al. (2022)	Asynchronous industrial collaboration: how virtual reality and virtual tools aid the process of maintenance method development and documentation creation.	Um ambiente de XR é utilizado durante o processo de criação da documentação para manutenção. Reflexões são feitas acerca do uso dessas tecnologias em trabalhos remotos assíncronos.

Quadro 1 – Pesquisas selecionadas a partir da PRISMA.

(continuação)

<i>Autor(es)</i>	<i>Título</i>	<i>Síntese</i>
Choi (2022)	Working in the metaverse: does telework in a metaverse office have the potential to reduce population pressure in megacities? Evidence from young adults in Seoul, South Korea.	Estuda a possibilidade de utilizar o trabalho remoto como uma forma de diminuir a concentração populacional em metrópoles. Além disso, faz uma distinção entre escritórios com e sem o uso do metaverso.
Dozio et al. (2022)	A design methodology for affective virtual reality.	Propõe uma metodologia para o desenvolvimento de experiências imersivas em ambientes virtuais que estimulem emoções estipuladas nos usuários.
Fast-Berglund et al. (2018)	Testing and validating extended reality (xR) technologies in manufacturing.	Investiga o uso de realidade aumentada (AR), realidade mista (MR) e de VR para etapas operacionais e de treinamento em fábricas. Também demonstra como a VR pode auxiliar no planejamento de estações de trabalho e plantas fabris.
Gomes et al. (2020)	Extended by design: a toolkit for creation of XR experiences.	Apresenta um guia para o desenvolvimento e design de aplicações e produtos em ambientes virtuais, seja VR, MR ou AR.
Hwang e Lee (2022)	The influence of music content marketing on user satisfaction and intention to use in the metaverse: a focus on the spice model.	Explora o impacto proporcionado pela utilização do metaverso como uma ferramenta de marketing em um mercado específico – isto é, o mercado musical – em um cenário pós-pandemia.
Kunnen et al. (2020)	System-based concept for a mixed reality supported maintenance phase of an industrial plant.	Analisa a integração do metaverso com sistemas Product Data Management (PDM) por meio dos gêmeos digitais – mais conhecidos por digital twins.

Quadro 1 – Pesquisas selecionadas a partir da PRISMA.

(continuação)

<i>Autor(es)</i>	<i>Título</i>	<i>Síntese</i>
Lee e Kim (2022)	UTAUT in metaverse: an “ifland” case.	Verifica a aceitação do metaverso pelos usuários utilizando a teoria unificada de aceitação e uso de tecnologia (UTAUT).
Longo et al. (2022)	New perspectives and results for smart operators in industry 4.0: a human-centered approach.	Buscam validar uma plataforma desenvolvida pelos próprios autores, focada em gestão de conhecimento e que integra XR para o setor da manufatura.
Mozumder et al. (2022)	Overview: technology roadmap of the future trend of metaverse based on IoT, blockchain, AI technique, and medical domain metaverse activity.	Explicita as principais tecnologias que compõem as funcionalidades centrais do metaverso e traz exemplos de aplicação na área médica.
Teixeira e Peres (2020)	Analysis of XR research in Brazil from 21 years of SVR publications.	Faz um levantamento das principais linhas de pesquisas relacionadas à XR no Brasil, tendo como base o Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR) – uma das principais conferências relacionadas ao tema no âmbito nacional.
Turner e Garn (2022)	Next generation des simulation: a research agenda for human centric manufacturing systems.	Propõe uma visão para a próxima geração de simulação de eventos discretos (DES), incorporando XR, inteligência artificial explicável (XAI) e digital twins por meio de um framework. A intenção é integrar esse novo DES em empresas de manufatura do Enterprise Resource Planning (ERP) à robótica e à internet industrial das coisas (IIoT).

Quadro 1 – Pesquisas selecionadas a partir da PRISMA.

(conclusão)

<i>Autor(es)</i>	<i>Título</i>	<i>Síntese</i>
Wang et al. (2021)	Research on metaverse: concept, development and standard system.	Relata as tecnologias centrais do metaverso e evidencia a necessidade por definições, conceitos e arquiteturas padronizados para o mesmo, a fim de garantir a interoperabilidade entre sistemas distintos.
Xi e Hamari (2021)	Shopping in virtual reality: a literature review and future agenda.	Analisa os impactos do uso de XR para a criação de lojas virtuais sob a perspectiva do usuário final. Além disso, propõe uma agenda de pesquisa para o tópico, elencando os desafios e questões mais relevantes.
Xing et al. (2021a)	Historical data trend analysis in extended reality education field.	Por meio de uma revisão sistemática da literatura acerca de VR, AR e MR, cria uma linha do tempo com diferentes períodos, cada um com seu enfoque. Em especial, faz conclusões com relação ao uso dessas tecnologias na educação.
Xing et al. (2021b)	User interface research in web extended reality.	Discute as possibilidades de interface de usuário (UI) em VR, AR e MR.
Zhou et al. (2018)	Ownership in the virtual world and the implications for long-term user innovation success.	Discorre sobre os direitos de propriedade nos mundos virtuais, onde os próprios usuários são capazes de criar produtos dentro das plataformas. O debate se faz acerca dos provedores das plataformas e dos usuários.

Fonte: Autor (2022).

Portanto, seguindo as cinco etapas da PRISMA – planejamento, escopo, pesquisa, avaliação e síntese e análise – foi possível obter uma lista com 18 publicações acerca do tema e que serviram de base para a revisão da literatura. O intuito é que esses trabalhos fossem os mais relevantes para o caso do metaverso aplicado ao PDP, uma vez que apenas bases de dados de renome foram consultadas e uma série de filtros se responsabilizou por refinar os resultados.

3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO DE ACORDO COM O V-MODEL

O PDP é tido como o processo que permite a gerência do portfólio de uma organização, zelando por cada produto desde a concepção até sua descontinuidade (ROZENFELD et al., 2006). Normalmente tratado como uma sequência de etapas, esse sumariza as atividades a transcorrer do design à manufatura de um bem, seus componentes e subsistemas, incluindo também tarefas de teste e prototipagem (WEBER, 2009).

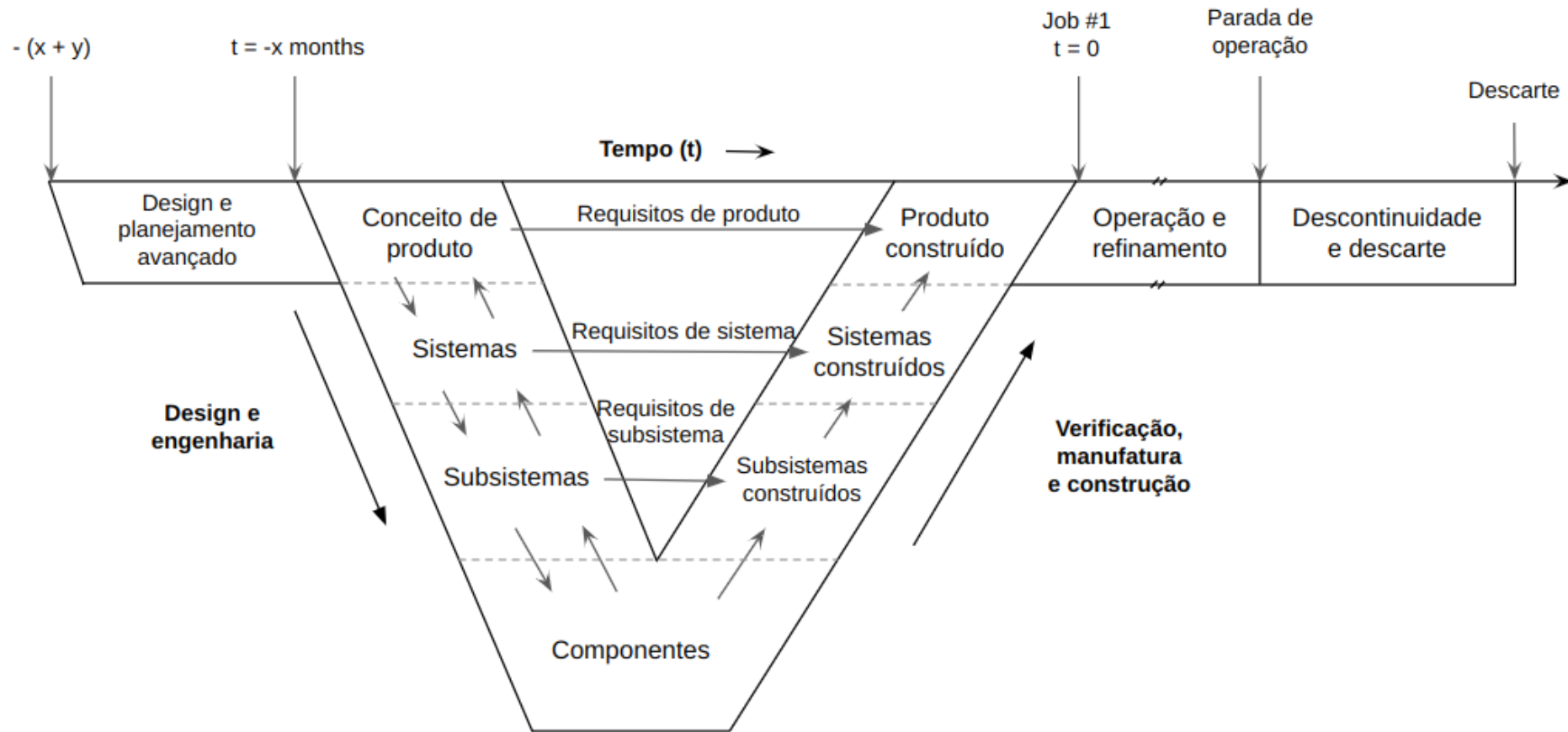
Assim sendo, o PDP reflete diretamente a visão estratégica e o plano de negócios de uma empresa ou organização, uma vez que traz como finalidade o produto ou toda a linha de produtos oferecida pela mesma (ROZENFELD et al., 2006). Do mesmo modo, cabe aos gestores a definição de um PDP com etapas que condigam com os objetivos e as capacidades da companhia, alinhando seu posicionamento de mercado com os bens e serviços oferecidos.

À vista disso, inúmeros modelos foram propostos para tais etapas, estando entre eles o *V-Model*, mais costumeiramente adotado por empresas do ramo automotivo (BHISE, 2017; WEBER, 2009). O V-Model recebe esse nome pela forma com a qual é representado graficamente, com as etapas primeiramente partindo do sistema como um todo até os componentes em particular e depois fazendo o movimento reverso, construindo o produto final a partir de cada uma das partes. Essa percepção esta apresentada na Figura 1, proposta por Bhise (2017).

A primeira etapa, à esquerda do V, é denominada Advanced Design and Planning e consiste na definição das características preliminares do produto, incluindo não só questões relacionadas à arquitetura e composição do mesmo, mas também envolvendo aspectos de mercado, como potenciais competidores, público-alvo, detalhamento do plano de negócio e ciclo de vida (BHISE, 2017). Esse planejamento deve ser aprovado pela gestão ou gerência da organização para que se dê início ao projeto concretamente dito, o que implica em um alinhamento do projeto em questão com a visão geral da empresa. Assim, essa etapa se assemelha da macrofase de pré-projeto proposta por Rozenfeld et al. (2006) em seu modelo de PDP.

Na sequência, após a aprovação do plano, há a organização do time responsável pelo desenvolvimento do produto em si, englobando membros tanto de perfil técnico quanto de gestão. A partir desse ponto, segue-se com a etapa de criação de um *conceito de produto* – uma idealização de como será o produto efetivamente. No cenário automotivo, isso se reflete na estética do veículo, que é apresentada e validada por pessoas que tenham o perfil do cliente final (BHISE, 2017).

Figura 1 – Representação do V-Model



Fonte: Bhise (2017, p. 36, tradução nossa).

Com isso, pode-se instituir quais os sistemas que irão compor o produto final, de modo que o conceito e os requisitos estipulados sejam atendidos corretamente. Vale ressaltar que ainda não há a construção de nenhum bem material, mas sim a caracterização de cada sistema. Esse detalhamento vai se aprofundando no projeto e estruturando o V, que identifica a metodologia.

Analogamente, para cada sistema é necessário definir quais subsistemas irão compô-lo para atender os requisitos. Do mesmo modo, para cada subsistema é preciso elencar e analisar como serão os componentes que o irão compor a fim de atender aos seus encargos. Nesse ponto, alcança-se o ponto mais profundo do modelo, algo semelhante ao fim da fase de projeto conceitual no modelo de Rozenfeld et al. (2006).

Agora, em um movimento ascendente, cada componente é fisicamente construído e testado, tendo como parâmetros os mesmos requisitos levantados na etapa anterior. Os componentes são, então, associados e dispostos de modo a formar os subsistemas. Esses subsistemas passam pelo mesmo cenário de testes e verificação dos requisitos, depois unidos para formar os sistemas. Outra vez, os sistemas são validados e constituem um produto final que, após ser devidamente analisado, está pronto para o início de sua comercialização. Esse primeiro produto é conhecido na indústria automotiva como *Job #1* (BHISE, 2017).

Ao atingir novamente a parte mais alta do modelo, já existe uma versão comercializável do produto e, além disso, os processos de manufatura envolvidos na fabricação do mesmo. É comum que as produções logo após o *Job #1* também sirvam para avaliações e testagem (BHISE, 2017). Essa necessidade de atestar cada e toda parte que compõe o produto final é fortemente assegurada pelo V-Model, o que a faz tão adequada para aplicações onde a segurança dos usuários está envolvida, como é o caso da indústria automotiva, aeroespacial e farmacêutica.

A próxima etapa é caracterizada por um longo período de comercialização e acompanhamento da produção e do produto. Em especial, há uma supervisão do desempenho do produto em termos de mercado, seus resultados financeiros e alcance de público (BHISE, 2017; ROZENFELD et al., 2006). Ademais, é durante esse período que se cumpre com o suporte e atendimento ao cliente, fornecendo as manutenções e orientações necessárias. É a partir desse acompanhamento que se gera um relatório acerca dos aprendizados com o desenvolvimento desse produto, permitindo o aprimoramento da aplicação do PDP realizada pela organização.

Por fim, chega o término do ciclo de vida do produto, descontinuando-o do mercado e interrompendo a produção de peças e componentes. Nesse sentido, cabe à empresa garantir o suporte por certo tempo e o descarte – ou a orientação para tal – dos produtos inutilizados (BHISE, 2017; ROZENFELD et al., 2006). Os equipamentos utilizados no processo de fabricação são reciclados ou reutilizados para os próximos produtos, os quais já devem ter iniciado seu projeto antes mesmo da descontinuidade

do produto em questão.

Como exemplo, o V-Model aplicado ao desenvolvimento de um carro teria início com as definições de mercado (público-alvo, nicho, categoria do veículo, preço estimado, entre outros) na fase de Design e Planejamento Avançado; depois, um conceito do produto é proposto e seus requisitos são traçados; o mesmo processo se repete para os sistemas, subsistemas e componentes (como exemplo: mecânicos, elétricos, eletrônicos, ergonômicos e software); gradualmente, cada parte é efetivamente projetada até o Job #1. A partir desse ponto, o carro passa a ser comercializado até a sua descontinuação e descarte. Um próximo carro a ser desenvolvido poderia adotar abordagens diferentes no seu processo de desenvolvimento tendo em vista o desempenho do processo anterior.

Assim, seguindo o V-Model, uma organização tem a possibilidade de estruturar o seu PDP e aprimorá-lo conforme executa projetos, partindo desde as primeiras abstrações até o fim da vida e descontinuidade do produto. Destaca-se que existem diversas propostas e metodologias com a mesma finalidade do V-Model, sendo a proposição de Rozenfeld et al. (2006) uma dessas. Cabe a cada instituição ponderar acerca de qual o método mais adequado para o seu caso em particular – tomando em conta que essa abordagem tende a ser adotada pela indústria automotiva à vista da necessidade de realizar testes e validar cada subsistema que compõe o veículo final.

4 METAVERSO

O metaverso é uma tecnologia ainda em fase inicial, tanto tecnicamente quanto conceitualmente, de tal forma que o seu potencial como ferramenta no PDP foi raramente explorado na literatura. Assim, elaborou-se uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de elucidar o metaverso e a relação estabelecida com o PDP até então.

4.1 REALIDADE VIRTUAL, AUMENTADA, MISTA E ESTENDIDA

Os elementos mais notórios para o usuário do metaverso são a Realidade Virtual ou Virtual Reality (VR), Realidade Aumentada ou Augmented Reality (AR), Realidade Mista ou Mixed Reality (MR) e Realidade Estendida ou Extended Reality (XR), porém o entendimento na diferença entre essas tecnologias costuma não ser claro. Todos eles se utilizam de uma visualização de elementos tridimensionais virtuais que podem, ou não, se misturar a elementos reais dentro da perspectiva do usuário. A Figura 2, obtida de Stark (2022), traz uma representação do entendimento dessas três tecnologias conforme estipulado por Milgram et al. (1994).

Figura 2 – Entendimento de VR, AR e MR conforme Milgram et al. (1994)



Fonte: Stark (2022, p. 306, tradução nossa).

Nesse sentido, um ambiente completamente virtual, sem a existência de elementos reais, configura uma VR. Nesse caso, o usuário é imerso em um mundo criado virtualmente (STARK, 2022). Já na outra extremidade, com um ambiente completamente real, a adição de qualquer elemento virtual ao cenário se encaixa

na classificação de MR. Essa, por sua vez, pode ser subdividida em AR – onde são adicionados componentes virtuais à realidade – e virtualidade aumentada (AV) – com objetos reais adicionados a um mundo virtual (STARK, 2022).

Com o objetivo de deixar mais claro esse entendimento, as figuras a seguir são imagens que ilustram a distinção entre cada uma das tecnologias. A Figura 3 traz a VR sob a ótica dos Head-Mounted Displays (HMDs); a Figura 4 já traz a AR promovida por um tablet; já a Figura 5 demonstra a MR com câmeras e um monitor comum; por fim, a Figura 6 ilustra a XR em um ambiente imersivo com a presença simultânea de diversos usuários.

Figura 3 – Ilustração de VR



Fonte: Longo et al. (2022, p. 12).

Na Figura 3, têm-se um exemplo de VR extraído de Longo et al. (2022), onde se criou um ambiente completamente virtual de uma planta fabril. Esse ambiente é acessado com o auxílio de um HMD, o qual se resume a uma tela posicionada de forma a cobrir todo o campo de visão do usuário. Assim, a VR caracteriza-se por um ambiente totalmente digital, sem a presença de elementos reais na percepção dos usuários.

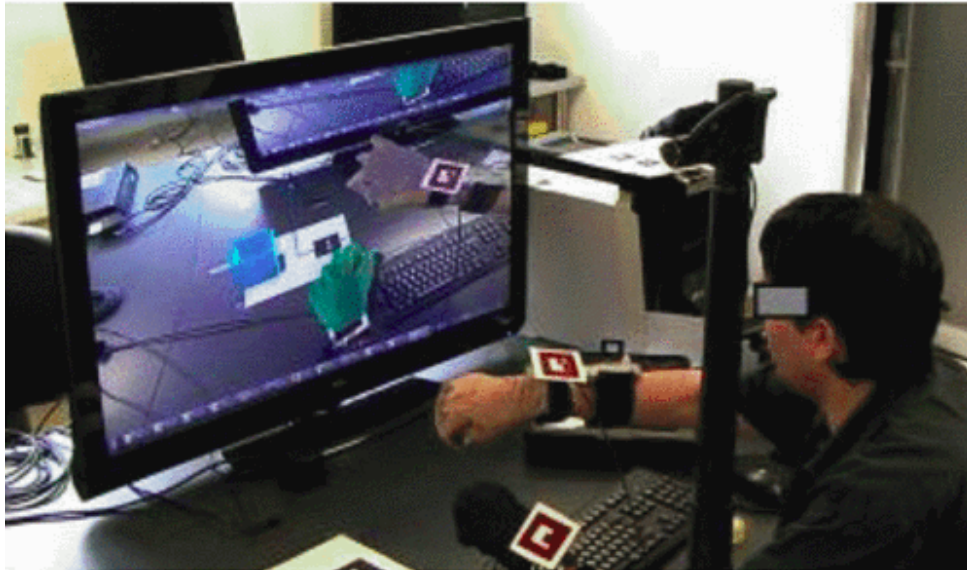
Figura 4 – Ilustração de AR



Fonte: Apple (2022).

Já a Figura 4 apresenta um caso de AR aplicado para a decoração de interiores. Na AR, alguns elementos digitais são incluídos a um cenário real, como é o caso das almofadas (virtuais) sobre o sofá (físico) na imagem em questão. Logo, a AR possui uma proximidade maior com a realidade física dos usuários, que não existe na VR.

Figura 5 – Ilustração de MR



Fonte: Zaldívar-Colado et al. (2017, p. 743).

A Figura 5, obtida de Zaldívar-Colado et al. (2017), traz um exemplo de MR com o uso de câmeras, marcadores ArUco e um monitor comum. De fato, a AR se enquadra dentro da MR e os termos se sobrepõem; entretanto, a MR abrange desde aplicações com a inclusão de poucos elementos virtuais à realidade até casos onde a maior parte dos componentes são virtuais e poucos são reais. Nesse sentido, a MR inclui tudo o que está entre uma visualização inteiramente virtual até a completa realidade.

Por fim, a Figura 6, extraída de Choi (2022), ilustra uma aplicação de XR para a criação de um local de trabalho remoto que traz uma experiência mais imersiva aos usuários. Apesar de se enquadrar, discutivelmente, dentro da MR, esse caso inclui outros elementos sensoriais ao ambiente, especialmente no que se refere à presença de outros usuários. É justamente essa imersividade e essa integração que distinguem a XR, por vezes utilizada como sinônimo de *metaverso*.

Também vale ressaltar que alguns autores se utilizam do termo XR para se referir ao conjunto de tecnologias VR, AR e MR. Isso acontece em Fast-Berglund et al. (2018), Gomes et al. (2020), Xing et al. (2021a) e em uma multiplicidade de publicações. Todavia, como mencionado, o presente trabalho trata XR como um termo análogo a metaverso, assim como acontece em Xi et al. (2022), onde estão inclusas também a imersão sensorial e a interação social com outros usuários que compartilham um mesmo ambiente virtual.

Figura 6 – Ilustração de XR



Fonte: Choi (2022, p. 5).

Desse modo, é possível ter uma compreensão mais clara sobre a distinção entre VR, AR, MR e XR, termos que compõem as discussões acerca do metaverso. A seguinte seção aborda esse debate sobre o conceito do metaverso e traz a visão de autores a respeito do tema.

4.2 CONCEITOS DE METAVERSO

Conceituar o metaverso é um desafio que envolve lidar com diferentes visões acerca de uma tecnologia, por hora, incerta. Efetivamente, não há um consenso absoluto ou uma definição unificada, uma vez que o movimento acentuado de pesquisas utilizando tal termo é recente e o número de publicações em revistas qualificadas é baixo (LEE; KIM, 2022).

Fato é que a palavra *metaverso* deriva do prefixo *meta* – significando *em seguida, transcendente, abstrato* ou *virtual* – e a palavra universo (ABURBEIAN et al., 2022; CUNNINGHAM, 2010; LEE; KIM, 2022). Foi cunhada por Neal Stephenson no romance *Snow Crash* de 1992, onde atividades rotineiras e serviços podiam ser realizados com o uso de avatares em um mundo virtual (STEPHENSON, 1992). Logo, está intimamente relacionado com a criação de um novo universo ou de uma nova realidade virtual habitável.

Na pesquisa de Lee e Kim (2022), encontra-se as definições adotadas por 64 publicações para *metaverso*. Naturalmente, existem consonâncias e divergências, por

vezes diametralmente opostas. A fim de apresentar algumas dessas visões, o Quadro 2 traz uma parte desse levantamento feito por Lee e Kim (2022) e complementa com outras encontradas entre as 18 publicações levantadas no Capítulo 2. Vale ressaltar que todas são traduções nossas.

Quadro 2 – Definições de metaverso segundo a literatura.

(continua)

<i>Autor(es)</i>	<i>Definição</i>
Stephenson (1992)	Um mundo onde humanos, como avatares, interagem uns com os outros e com agentes de software em um espaço tridimensional que reflete o mundo real.
Cunningham (2010)	Uma combinação da palavra meta e universo, significando além, um aspecto espaço-temporal onde o mundo real e o mundo virtual se misturam.
Jaynes et al. (2003)	Um ambiente imersivo utilizando uma rede de comunicação universal e compartilhada que remove as barreiras do tempo e do espaço ao enganar os sentidos visuais do usuário.
Messinger et al. (2009)	Um mundo virtual onde milhares de pessoas podem interagir simultaneamente dentro de um mesmo espaço 3D simulado.
Kim et al. (2013)	Um espaço coletivo online criado pela combinação de alguma realidade física melhorada por um mundo virtual 3D e um espaço virtual fisicamente permanente.
Kye et al. (2021)	Uma realidade virtual existindo para além da realidade.
Huggett (2020)	Um mundo onde mundos virtuais combinam VR imersiva com atores, objetos, interfaces e redes físicas em uma forma futura da internet. Um mundo virtual social paralelo e que substitui o mundo real.
Shen et al. (2021)	A próxima geração da internet e onde espaços 3D virtuais interconectados, compartilhados e persistentes coexistem.
Coreia do Sul (2022)	Um mundo onde pessoas e pessoas e pessoas e coisas interagem em um espaço virtual, onde mundo virtual e mundo real se convergem, e onde se criam valores sociais, culturais e econômicos.
Aburbeian et al. (2022)	Um mundo 3D baseado em simulações de VR para expressar a vida real. Pode ser considerado a próxima geração de uso da internet.

Quadro 2 – Definições de metaverso segundo a literatura.

(conclusão)

<i>Autor(es)</i>	<i>Definição</i>
Choi (2022)	Um mundo virtual tridimensional (3D) onde usuários, como avatares, são capazes de interagir uns com os outros e com objetos em tempo real.
Hwang e Lee (2022)	Pode ser considerado uma tecnologia otimizada para o ambiente mercadológico criado pela comercialização do 5G, ostentando serviços ultra-rápidos, ultra-conectados, e de ultra-baixa latência, impulsionados pela pandemia do COVID-19 no início de 2020.
Lee e Kim (2022)	Refere-se ao mundo permanente, imersivo e de realidade mista onde pessoas e pessoas e pessoas e objetos podem, de maneira síncrona, interagir, colaborar e viver para além da limitação de tempo e espaço, utilizando avatares e dispositivos, plataformas e infraestruturas que suportam a imersão.
Wang et al. (2021)	Um espaço virtual coletivo, incluindo a coleção de mundos virtuais, realidade expansível e a Internet.
Mozumder et al. (2022)	Um espaço virtual compartilhado ao qual todos têm acesso. É um termo genérico que se refere à totalidade do mundo digital e virtual. É a convergência da realidade física, aumentada e virtual em um espaço online compartilhado.
Ryskeldiev et al. (2018)	Um mundo constantemente atualizado de espaços de realidade mista mapeados para diferentes localizações geoespaciais.
Papagiannidis e Bourlakis (2010)	Um mundo contínuo desenhado para dar aos usuários controle sobre praticamente todo aspecto do mundo criando o objeto que estes desejam.
Forte et al. (2010)	Um lugar virtual onde uma ciber-comunidade de certo indivíduo pode compartilhar interações sociais sem as restrições do mundo físico.
Teixeira e Peres (2020)	Utilizam o termo XR para definir um conjunto de tecnologias capaz de criar um ambiente virtual onde tanto pessoas quanto objetos físicos conseguem interagir diretamente

Fonte: Autor (2022).

A partir desses pontos de vista, pode-se perceber algumas sinergias e

dissonâncias. Por exemplo, alguns conceitos adotam uma visão que abarca a AR e a MR, onde a realidade é aprimorada ou complementada por essas tecnologias (KIM et al., 2013; LEE; KIM, 2022; RYSKELDIEV et al., 2018). De outro modo, há aqueles que se restringem a ambientes completamente virtuais, tal como propõem Aburbeian et al. (2022), Choi (2022) e Shen et al. (2021), com um cenário completamente à parte e independente do espaço físico existente.

Pode-se perceber certa discordância entre os autores no fato de que alguns adotam termos distintos para o mesmo conceito. Por exemplo, Teixeira e Peres (2020) trazem uma visão muito semelhante ao que propõe Choi (2022) para metaverso: um ambiente virtual tridimensional onde usuários podem interagir com outros ou com objetos sob a forma de avatares.

Em especial, o termo XR costuma servir como um genérico para o conjunto de tecnologias capazes de criar ambientes virtuais, isto é, VR, AR e MR, como acontece em Fast-Berglund et al. (2018), Gomes et al. (2020), Longo et al. (2022), Turner e Garn (2022) e Xi et al. (2022). Por outro lado, Xi et al. (2022) utilizam XR como um sinônimo de metaverso, tratando-os como concepções intercambiáveis. Algo semelhante acontece com a ideia de *Web 3.0* em Lee e Kim (2022).

Além disso, pode-se perceber que alguns trabalhos se utilizam da expressão *VR* para aplicações que mais bem se encaixariam com os conceitos de metaverso, posto que integram outras ferramentas para além dos cenários virtuais. Na realidade, ao princípio os termos *metaverso* e *VR* eram utilizados de maneira indistinta (HWANG; LEE, 2022). É o caso de Burova et al. (2022), que atribuem à VR a capacidade de interação entre pessoas, mesmo que de maneira assíncrona, em um ambiente virtual tridimensional para facilitar o processo de criação de documentação para manutenção de produtos.

Também existe uma distinção entre visões mais abstratas e mais concretas de metaverso. Notadamente, referências mais antigas como Stephenson (1992), Cunningham (2010) e Jaynes et al. (2003) trazem um entendimento, de certo modo, especulativo. De fato, a tecnologia disponível então era limitada em comparação ao que existe no momento presente. Nessas três exemplificações, a ideia central é de um ambiente virtual imersivo onde as pessoas são capazes de interagir.

Um número considerável de autores defendem que o metaverso será uma nova geração da internet, transformando o modo como nos comunicamos e interagimos rotineiramente. São exemplos as perspectivas de Aburbeian et al. (2022), Huggett (2020) e Shen et al. (2021). De fato, a coexistência de uma realidade paralela e virtual já se dá no formato atual da internet, sendo um ambiente com implicações tangíveis na realidade física; da mesma forma, o metaverso e as propriedades virtuais desse mundo paralelo têm impacto econômico real e perceptível (ZHOU et al., 2018).

Alguns autores defendem que o metaverso deve imitar ou se aproximar ao

máximo do mundo real existente (ABURBEIAN et al., 2022; STEPHENSON, 1992). Outros, assim como Papagiannidis e Bourlakis (2010) e Wang et al. (2021), acreditam na formulação de uma nova realidade a partir das contribuições dos usuários, refletindo suas necessidades e interesses. Isso gera discussões acerca da forma ideal para se construir essa realidade paralela, quais questões morais, legais, éticas, culturais, sociais e econômicas precisam ser elaboradas para essa adequação (LEE; KIM, 2022; WANG et al., 2021; ZHOU et al., 2018).

Os pontos de convergência mais encontrados podem se resumir a um mundo 3D compartilhado e virtual – seja em parte, seja em sua completude – onde pessoas são capazes de interagir sob a forma de avatares umas com as outras e com objetos físicos por meio de uma rede de conexão sem restrições de espaço. Nesse sentido, a interatividade em tempo real se demonstra a principal característica que distingue o metaverso da VR, além da possibilidade de construir esse ambiente coletivamente de maneira contínua ao longo do tempo.

Para o presente trabalho, será adotada a percepção de que o metaverso se define como uma experiência virtual completamente imersiva, onde a interação entre as pessoas se dá simultaneamente em um ambiente que não observa restrições de espaço. Esse mundo construído possui as características de continuidade e permanência, de modo que é possível identificar uma construção do mesmo ao longo do tempo por parte das próprias ações dos usuários, o que se aproxima de Papagiannidis e Bourlakis (2010).

Esse conceito adotado não faz distinção entre as tecnologias adotadas, principalmente no que se refere ao uso de VR, AR ou MR. Também abrange a ideia de que diferentes metaversos possam coexistir e se conectar, como em Shen et al. (2021). Além do mais, estes são vistos como complementos à realidade (KYE et al., 2021), em uma dinâmica semelhante ao que se segue com a internet atualmente, com todas as complexidades de uma sociedade, suas interações econômicas, culturais e sociais (WANG et al., 2021).

Tendo em vista o potencial de aplicação do metaverso em áreas distintas, inúmeras companhias vêm investindo em peso no desenvolvimento dessa nova tecnologia, sempre buscando a vanguarda e a liderança no setor (LEE; KIM, 2022; NING et al., 2021). Assim, o Quadro 3 elenca as visões de empresas destacadas globalmente, principalmente do setor de tecnologia, e que devem movimentar o desenvolvimento de diversos metaversos ao longo dos próximos anos.

Quadro 3 – Visão de multinacionais sobre o metaverso.

(continua)

<i>Companhia</i>	<i>Visão</i>
Meta (Facebook)	Após alterar o nome da organização de Facebook para Meta, a companhia vem investindo intensamente no desenvolvimento de novas tecnologias e do próprio metaverso (META, 2021). A empresa traz aplicações em todas as áreas: hardware, software, criação de plataformas e aplicações, segurança e redes, com preocupações em relação ao uso das mesmas em termos legais. A proposta é focada especialmente em aplicações sociais, envolvendo a interação entre os usuários e o acesso às redes sociais, trazendo também o trabalho remoto por meio de contas e pacotes (suites) para fins profissionais (META, 2022).
Alphabet (Google)	Concorrente direta da Meta, até o momento não apresenta manifestações explícitas utilizando o termo "metaverso". Entretanto, desenvolve software com VR, AR e MR, integrando essas tecnologias aos seus produtos, além de construir algo de hardware, como é o caso do Google Glass (GOOGLE, 2022b). Esse modelo de óculos capaz de integrar AR voltou recentemente após anos de desuso devido a questões relacionadas à privacidade (GOOGLE, 2022a).
Microsoft	A Microsoft tem demonstrado interesse no metaverso, apesar de inicialmente agir com receio (NING et al., 2021), apresentando-se como uma fornecedora da infraestrutura necessária por meio dos serviços em nuvem da plataforma Azure (MICROSOFT, 2022a). A companhia oferece serviços de ponta à ponta, incluindo IoT, digital twins, IA, plataformas para desenvolvimento de aplicações e um dos HMDs mais utilizados atualmente: Microsoft HoloLens (MICROSOFT, 2022b).
Samsung	A Samsung lançou, em 2022, um espaço chamado Samsung 837X (SAMSUNG, 2022). Trata-se de um ambiente virtual inspirado em uma loja real da própria companhia e que cria uma experiência personalizada para cada pessoa em uma espécie de jogo. Nesse sentido, a construção envolveu um mundo completamente virtual e com foco no usuário final, mais alinhado ao entretenimento e ao marketing.

Quadro 3 – Visão de multinacionais sobre o metaverso.

(conclusão)

<i>Companhia</i>	<i>Visão</i>
Nvidia	A NVIDIA chega com o NVIDIA Omniverse, o qual pode ser visto como uma ferramenta ou plataforma para criação de novos metaversos e ambientes virtuais tridimensionais (NVIDIA, 2022k). A empresa segue a linha de pensamento na qual os metaversos constituirão uma nova versão da internet, a Web 3.0, com a imersão em cenários 3D para uso profissional e de entretenimento (NVIDIA, 2022j). Não à toa, vem participando de fóruns e formando parcerias a fim de tomar parte na estruturação e padronização dessa tecnologia emergente (NVIDIA, 2022g; NVIDIA, 2022j)
Accenture	Accenture, que presta serviços de consultoria às empresas de diversas indústrias, propôs em 2022 a sua visão sobre o metaverso como o Metaverse Continuum (ACCENTURE, 2022). O conceito se assemelha à ideia de Web 3.0 citada anteriormente, de modo que as pessoas estarão continuamente alternando entre o mundo real e o virtual. A empresa sugere que essas situações estão na eminência de se tornarem ordinárias, assim que as organizações devem se atentar a esse novo modelo, que serve tanto para os usuários finais como para os processos internos das mesmas.
Sony	Em uma entrevista feita em 2022, o CEO da Sony, Kenichiro Yoshida, expõe que a Sony tem a pretensão de se tornar a escolha principal dos criadores de conteúdo para o metaverso (SONY, 2022). Segundo Yoshida, a Sony como empresa de entretenimento visualiza o metaverso como um ambiente focado em entretenimento e socialização, uma perspectiva mais próxima da definição proposta por Forte et al. (2010). Além disso, a empresa deve contribuir com dispositivos de hardware para VR, AR e MR, uma vez que já trabalha com equipamentos semelhantes – como smartphones, tablets e computadores – há anos.
Huawei	Já na visão da Huawei, o metaverso será um mundo em que a realidade será digitalizada e complementada por elementos virtuais (HUAWEI, 2022b). Também, segundo um relatório publicado pela companhia, percebe-se uma intensa expansão das redes 5G e na infraestrutura de computação em nuvem, ambas áreas em que a Huawei deve atuar (HUAWEI, 2022a). Vale ressaltar que o mesmo relatório aponta para a escassez de padrões e a falta de consenso acerca do metaverso, apesar do movimento de inúmeras empresas buscando se inserir nesse mercado.

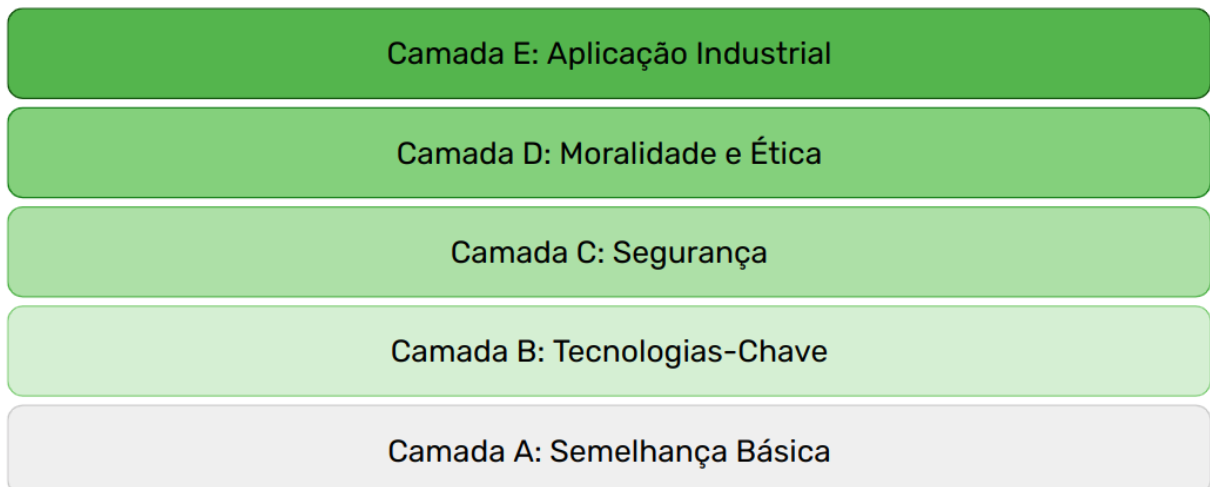
Fonte: Autor (2022).

Desse modo, pode-se perceber que grandes potências do setor de tecnologia defendem uma posição positiva acerca do desenvolvimento do metaverso e trabalham em prol de se impor em uma área específica. Como exemplo, a Sony foca especialmente nos criadores de conteúdos e na parte do entretenimento, enquanto a Microsoft se fundamenta no fornecimento de infraestrutura em nuvem com integração de ponta a ponta. Essa dissonância de perspectivas reflete o estado embrionário do desenvolvimento do metaverso exposto na literatura.

4.3 ARQUITETURA DO METAVERSO

Trazendo essa percepção para o contexto atual da tecnologia, é possível elencar alguns elementos centrais para a arquitetura do metaverso. A Figura 7 traz uma visualização resumida do framework proposto por Wang et al. (2021). No modelo proposto ocorre a separação da arquitetura em cinco camadas principais as quais vão dos elementos de semelhança básicos, passando pelas tecnologias disponíveis e alcançando as aplicações finais em diferentes áreas.

Figura 7 – Camadas da estrutura do metaverso segundo Wang et al. (2021)

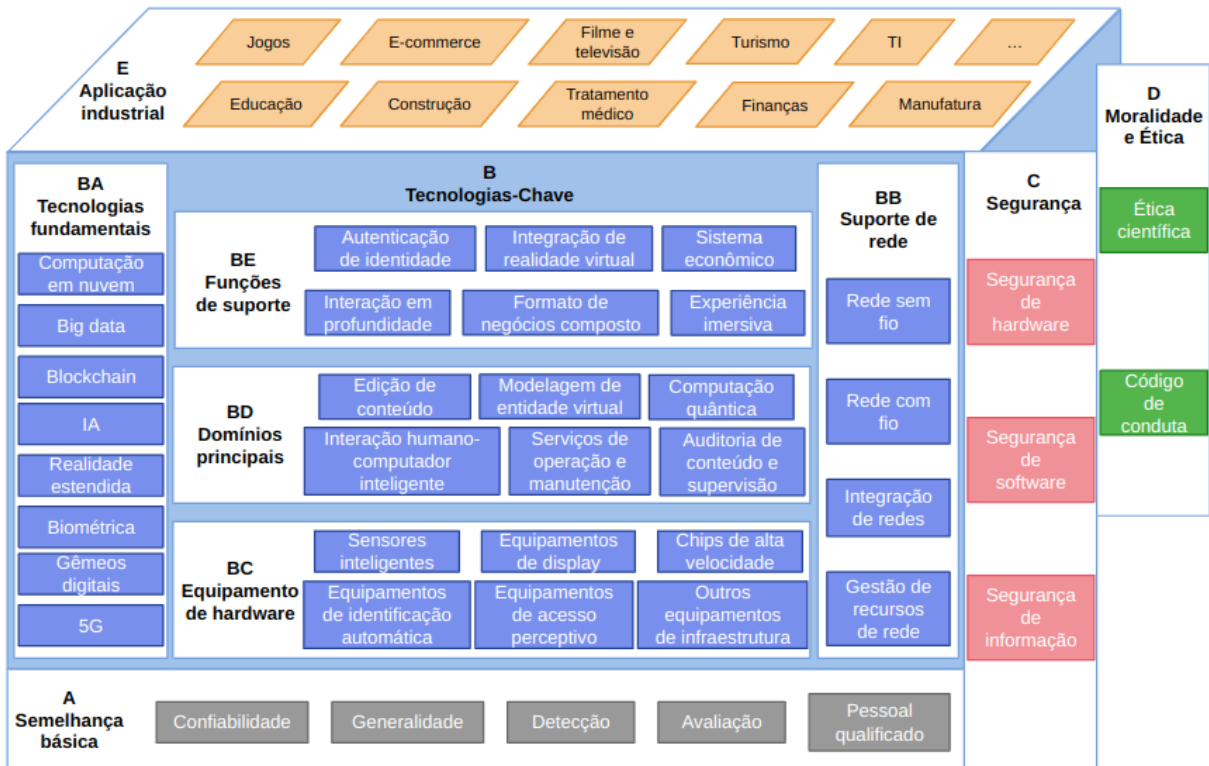


Fonte: Autor (2022).

A camada A representa os elementos comuns que permeiam qualquer implementação de metaverso; a camada B traz as principais tecnologias que o compõem; a camada C dá ênfase na importância da cibersegurança; a camada D adiciona aspectos relacionados à moral e à ética no metaverso; e, por fim, a camada E abarca as aplicações e casos de uso em si.

Já na Figura 8, cada uma dessas cinco camadas é detalhada e, por vezes, subdividida em diferentes subcamadas ou tópicos mais específicos, os quais são apresentados na sequência.

Figura 8 – Arquitetura de sistema padrão para o metaverso



Fonte: Wang et al. (2021, p. 6, tradução nossa).

Na primeira camada (camada A) existem os elementos básicos de semelhança que transcorrem todas as aplicações. São separados em cinco categorias, que abrangem a confiabilidade do sistema, a generalidade nos padrões e conceitos adotados, o teste e a avaliação do sistema e seus módulos e a capacitação das pessoas envolvidas no desenvolvimento e na utilização da plataforma. Esse nível do framework serve de fundamento para a seleção das tecnologias, a segurança e as aplicações finais (camadas B, C e E, respectivamente).

Já na camada B, as tecnologias que efetivamente compõem o metaverso são incluídas, separadas em cinco subcamadas: BA, BB, BC, BD e BE. Essa camada abrange as principais tecnologias a serem utilizadas – como computação em nuvem, inteligência artificial (IA), VR, AR, MR, entre outros – o suporte à estrutura complexa de rede, o hardware necessário, os conhecimentos-chave para a implementação do metaverso e as funcionalidades essenciais.

Além do lado gráfico da aplicação do metaverso, com VR, AR, MR e XR, existe a vertente dos sensores e atuadores que proporcionam a imersão desejada individualmente e permitem que os usuários interajam com objetos físicos. Desse modo, a internet das coisas (IoT) passa a integrar o grupo de tecnologias para o metaverso, trazendo uma rede com inúmeros sensores conectados e gerando dados para a aplicação final.

Essa interação com objetos pode ser ainda mais estimulada com a adoção dos digital twins, que são representações digitais ou o ponto de conexão de objetos reais com o software propriamente dito (KUNNEN et al., 2020; TURNER; GARN, 2022). É por meio desses gêmeos digitais que componentes físicos são mapeados para o interior do metaverso (WANG et al., 2021).

Com a existência de numerosas fontes de dados, sejam sensores, digital twins ou resultados das ações dos próprios usuários, surge a problemática da gerência dessas informações. O campo responsável por tal tarefa é conhecido como Big Data, que compreende um novo ativo econômico sob a forma de conjuntos de dados vastos em volume, variedade, variabilidade, velocidade de processamento e em valor (LI et al., 2015).

A existência de todos esses dados permite a aplicação de uma tecnologia influente, a IA, muitas vezes com o uso de categorias específicas de IA que são o aprendizado de máquina (ML) e o deep learning (STARK, 2022). Mozumder et al. (2022) apresenta quatro casos de uso para a IA no metaverso, todas com o intuito de garantir uma melhor experiência para os usuários:

- 1) Para criação de avatares mais fidedignos à realidade pelo reconhecimento de imagens;
- 2) Para a criação de personagens fictícios com os quais os usuários possam interagir, semelhante à uma versão tridimensional dos chatbots existentes;
- 3) Em algoritmos espaço-temporais, que melhoram a compreensão dos usuários com relação à presença, movimento e comportamento dos elementos dentro do metaverso;
- 4) Para a melhoria da segurança e da privacidade dos usuários e suas informações.

De fato, a segurança e a privacidade dessa massa de dados é um valor central para o metaverso (WANG et al., 2021). Uma outra tecnologia que se associa à IA para trazer segurança é a blockchain, que garante a descentralização dos dados de maneira confiável por meio de identificadores únicos e rastreáveis (MOZUMDER et al., 2022). Wang et al. (2021) citam como aplicações mais usuais da blockchain os serviços de autenticação de identidade digital, contratos inteligentes, moedas e transações virtuais e a transmissão confiável de dados.

Evidentemente, essas operações envolvendo Big Data, IA e blockchain requerem uma capacidade de processamento elevada, ao passo em que o tempo de resposta para tal sistema deve ser minimizado. Atualmente, caminha-se para o uso de sistemas de processamento distribuídos em nuvem (cloud computing), onde recursos de memória e processamento podem ser alocados e realocados conforme a necessidade, ou em dispositivos na borda das redes (edge computing), tendo em vista a redução na latência em comparação com a computação em nuvem (STARK, 2022).

Percebe-se que é no momento em que os dados passam pela camada de processamento que os dados e estímulos originados do usuário iniciam a jornada de retorno, trazendo a resposta para o mesmo. Desse modo, o metaverso é considerado uma tecnologia em fase embrionária não apenas pela falta de consenso e padronização, mas também pelo fato de aspectos técnicos ainda se apresentarem como insuficientes frente à complexidade de implementação de tamanho sistema (WANG et al., 2021).

Não à toa, uma das tecnologias mais comentadas com relação ao metaverso é o 5G. Essa tecnologia permite velocidades de conexão muito elevadas quando comparadas com a geração anterior (4G) e pode permitir a chegada de uma IoT onipresente e com incontáveis dispositivos (SHAFIQUE et al., 2020). No caso do metaverso, o 5G – ou até o 6G – deverá atender às demandas pelo fluxo intenso de dados que permitem a integração com sistemas de MR (HWANG; LEE, 2022; MOZUMDER et al., 2022; STARK, 2022).

Já na questão do hardware em si, elencado na subcamada BC, destacam-se os dispositivos para visualização do ambiente virtual. Existem diversas abordagens que podem ser utilizadas – incluindo o uso de monitores, projetores e o conhecido Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), com a utilização de uma série de projetores – entretanto os desenvolvimentos recentes enfocam no Head Mounted Display (HMD) (DOZIO et al., 2022; XI; HAMARI, 2021; XING et al., 2021a). Nesses casos, uma tela é colocada diante dos olhos como um óculos, cobrindo todo o campo de visão do usuário.

A camada C, por sua vez, suscita a importância da segurança na construção do metaverso, englobando a segurança do software, do hardware e dos próprios dados em si. Isso implica em garantir o pleno funcionamento dos componentes físicos sendo utilizados (hardware), do sistema em si e integrações associadas a este (software) e que os dados não serão perdidos ou capturados indevidamente (WANG et al., 2021).

Na camada D, a necessidade por discussões acerca dos aspectos éticos, morais e legais relacionados ao uso e desenvolvimento dos metaversos. Como discutido anteriormente, situações da vida real se apresentam de maneira distinta nos mundos virtuais, além do surgimento de situações novas nesses ambientes, o que leva à necessidade de rediscutir os termos legais e aspectos de conduta social para tais cenários (NING et al., 2021; WANG et al., 2021; ZHOU et al., 2018).

Finalmente, é na camada superior (camada E) que ficam as aplicações propriamente ditas, fundamentadas sobre toda a estrutura supracitada que garante o funcionamento do sistema. Pode-se perceber que existem aplicações nas mais diversas áreas listadas na Figura 8, o que contraria o senso-comum de que o metaverso existe basicamente para a criação de jogos e para o trabalho remoto (DOZIO et al., 2022; NING et al., 2021).

Considerando essa arquitetura para o metaverso, capaz de tomar parte em diferentes casos de uso, alguns pesquisadores elencam desafios para a consolidação

de um conceito de metaverso comum e uma estrutura tecnológica que promova os recursos, a compatibilidade e a interoperabilidade necessários para que ocorra a adoção dessa tecnologia como ferramenta comum a empresas e pessoas. Tais desafios cabem não apenas aos pesquisadores, companhias e desenvolvedores, mas também a iniciativas globais e públicas rumo a um entendimento unificado do metaverso.

Aburbeian et al. (2022) pontuam que os custos envolvidos na aquisição dos equipamentos necessários – como é o caso dos HMDs – implica diretamente na intenção de uso do metaverso por parte dos usuários finais. Assim, deve-se caminhar para uma direção em que o valor dos equipamentos diminua e que a tecnologia se torne mais acessível, proporcionando a existência desse mundo ou mundos paralelos ao real com característica intrinsecamente social, em oposição às experiências com VR que abrangem um grupo mínimo de usuários. Lee e Kim (2022) também assinalam a relevância de tal abrangência.

Em consonância com isso, Choi (2022) sugere que cabe aos legisladores e governantes propôr políticas de estímulo ao desenvolvimento dessa tecnologia, inclusive com a alocação de recursos, a fim de facilitar as pesquisas na área. Vale ressaltar que a pesquisa de Choi (2022) aponta para os benefícios que as metrópoles podem obter do emprego do metaverso no trabalho remoto. Lee e Kim (2022) defendem igualmente que os reguladores devem estimular as pesquisas acerca dessa tecnologia por meio de ações políticas.

Dozio et al. (2022) apontam para o potencial do uso do metaverso em áreas que vão além do comercial e do entretenimento, sinalizando um papel importante das emoções na imersão do mesmo, algo que deve ser uma decisão consciente durante o desenvolvimento dos mundos virtuais. Um exemplo disso é o caso trazido por Hwang e Lee (2022), onde o metaverso é utilizado como ferramenta de marketing e que, de acordo com os autores, deve ser cada vez mais comum nos próximos anos.

Finalmente, o modelo elaborado por Wang et al. (2021), apresentado anteriormente, reflete a percepção dos autores de que há uma necessidade de criar padrões associados não apenas às tecnologias que compõem individualmente o metaverso, mas sim para o conjunto dessas que conformam um todo. Esse conjunto deve ser compatível entre diferentes implementações e atender a certos requisitos mínimos. Esse movimento envolve, naturalmente, a normatização do mesmo a partir da intervenção de diferentes entidades governamentais, organizações, companhias e pesquisadores.

Logo, denota-se que, apesar de o metaverso ser uma tecnologia em estado embrionário, com dissonância entre definições e previsões incertas sobre o futuro do mesmo, existem algumas pesquisas que visam nortear e estruturar essa nova ferramenta. Além disso, há expectativas por parte de organizações renomadas acerca da adoção do metaverso, refletidas não apenas em investimentos financeiros, mas

também nos esforços de vincular a própria imagem ao metaverso.

Considerando a percepção de metaverso apresentada até então, o seguinte capítulo traz uma investigação acerca da relação entre o metaverso e o PDP.

5 METAVERSO E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O metaverso, sendo uma tecnologia em seus primeiros passos de uma acentuada expansão, pode ser avaliado como uma ferramenta que vem auxiliar as organizações nos processos e ofícios. Em especial, pesquisas têm buscado demonstrar que há espaço para a integração do mesmo na estrutura do PDP, facilitando certas tarefas, reduzindo custos, trazendo mais qualidade ou agregando valor ao produto final. Todavia, dado o grau de novidade desse recurso, ainda houve pouca discussão acerca da integração entre metaverso e PDP.

Uma das aplicações mais evidentes nesse cenário é no trabalho remoto. Choi (2022) demonstrou como a criação de ambientes de teletrabalho baseados no metaverso podem contribuir para o bem-estar dos funcionários em regime remoto, uma vez que houve maior interesse nessa possibilidade em comparação com ambientes remotos sem o uso da ferramenta. De fato, a pesquisa expõe que a adoção do metaverso para o teletrabalho estimula mais a população a migrar das metrópoles e conglomerados urbanos para outras cidades menores, o que contribui para a mitigação das consequências da superpopulação em certas regiões.

Um exemplo trazido por Choi (2022) é de um escritório virtual composto de diversos andares, cada qual com locais de trabalho onde as pessoas podem se alocar como desejarem. Assim, os funcionários – representados por avatares – se locomovem no ambiente virtual e interagem uns com os outros de maneira análoga ao mundo real: conforme se aproxima de um outro avatar, os volumes percebidos pelos microfones se intensificam e a imagem capturada pela câmera (como em videochamadas) se torna maior e mais nítida. Dessa maneira, basta se aproximar ou se afastar dos outros e manter relações e conversas relativamente semelhantes àquelas que ocorrem presencialmente.

Percebe-se que o uso do metaverso no trabalho remoto é aplicável a todas as etapas de projeto dentro do PDP, principalmente em toda a parte à esquerda do V no V-Model, a qual envolve o estabelecimento de conceitos e a especificação de requisitos, posto que os times responsáveis pelo projeto podem se comunicar virtualmente. Além disso, há a possibilidade de se organizar equipes com pessoas de qualquer parte do globo, facilitando a captação de talentos e proporcionando maior qualidade aos produtos do portfólio da empresa.

Outros pesquisadores apontam a possibilidade de utilizar-se de tais ambientes virtuais para a interação com o público. Por exemplo, Hwang e Lee (2022) evidenciaram como o metaverso pode ser utilizado como produto final dentro da indústria do entretenimento, apresentando o caso em particular da música. Com efeito, já se

organizaram shows totalmente dentro do metaverso com presença significativa de público (HWANG; LEE, 2022). Pode-se traçar um paralelo com a visão da Sony com relação a tal aplicação, objetivando fornecer os recursos necessários para a criação de tais contextos (SONY, 2022).

Na realidade, pesquisas em VR e AR já observavam essas implementações há certo tempo. Xi e Hamari (2021) avaliaram a aplicabilidade de lojas virtuais onde os clientes pudessem ter uma experiência remota e imersiva de compra. Segundo os autores, organizações notáveis do setor – como Amazon, eBay, IKEA e Alibaba – vêm investindo nessas questões, o que reflete o potencial da ferramenta. Ademais, Xi e Hamari (2021) chegam à conclusão de que esses ambientes apenas baseados em VR carecem de características sensoriais e sociais para uma boa experiência de usuário; porém, tais características retratam o metaverso e possibilitam que a adoção do mesmo venha suprir naturalmente essas pendências.

Fora os casos de uso ao final do projeto, também é possível utilizar experiências virtuais imersivas no princípio do conceito do produto por meio da realização de pesquisas com os usuários. Freitas et al. (2022) ponderaram acerca de testes de usabilidade e design reviews baseados em VR. Segundo os autores, a contribuição de tal ferramenta é vantajosa para o PDP, apesar de apontarem para alguns problemas de falta de fidelidade com a realidade, problemas de comunicação e sintomas desagradáveis causados pela VR, sendo que todos estão relacionados ao fato de a tecnologia não ter alcançado um estágio de desenvolvimento tão avançado.

Outra área de pesquisa nessa linha é aquela focada em utilizar VR, AR ou MR para auxiliar no processo de manutenção – tanto dos produtos em si quanto dos equipamentos de fabricação dos mesmos – já na etapa operacional do ciclo de vida do produto. Kunnen et al. (2020) trouxeram um conceito que envolvia MR e gêmeos digitais para auxiliar tal processo, sendo que os gêmeos digitais seriam responsáveis pela aquisição dos dados e envio dos mesmos para uma plataforma onde seria possível visualizar aquele contexto em um ambiente virtual.

Também no trabalho de Kunnen et al. (2020), identificou-se a possibilidade de integrar a IA ao sistema, analisando os dados e prevendo certos comportamentos e predições de falhas. Assim, o modelo visualizado da planta ou produto poderia levantar informações que suportariam os serviços de manutenção preventiva e preditiva, reduzindo o número de incidentes e de tempo inoperante. Vale pontuar que Kunnen et al. (2020) adotam o termo XR para a descrição de sua proposta, o que implica em uma percepção mais próxima de metaverso do que de MR propriamente dita, tanto é que aspectos como gêmeos digitais e IA estão inclusos no conceito.

Burova et al. (2022), por sua vez, realizaram um experimento também relacionando VR e o processo de manutenção, porém sob uma ótica de documentação de tal processo. Como explicam os autores, há uma demanda significativa de

documentar o funcionamento dos equipamentos para auxiliar, posteriormente, a manutenção dos mesmos. Isso se encaixa em um local próximo do Job #1 dentro da estrutura do V-Model apresentado.

Nesse sentido, Burova et al. (2022) criaram um cenário virtual que incluía o componente a ser documentado e certos grupos de pessoas envolvidas na documentação do mesmo. As pessoas conseguiam interagir de maneira assíncrona – por exemplo deixando notas e capturando imagens – em uma ferramenta criada pelos autores. O resultado final inferiu que os usuários demonstraram interesse no uso de tal ferramenta em seu fluxo de trabalho, pois facilita a execução de suas atividades e a comunicação com outros membros.

Também na fase operacional do modelo de PDP apresentado, trabalhos como o de Longo et al. (2022) focam na adoção de ferramentas de MR para auxiliar os operadores na fabricação dos produtos. De acordo com Longo et al. (2022), há uma crescente demanda na indústria 4.0 por personalização dos produtos, o que implica em um grau de especialização maior por parte dos operadores. A esse fenômeno, deu-se o nome *Smart Operators*. Assim, os autores buscaram avaliar se VR e AR poderiam contribuir para reduzir a carga cognitiva de seu trabalho.

Na pesquisa de Longo et al. (2022), caracterizou-se uma arquitetura onde as informações de posse de certa organização pudessem ser utilizadas e migradas para essa ferramenta, que traduziria esse conhecimento de forma visual para os operadores. Logo, essa abordagem busca padronizar e facilitar a gerência de conhecimento das organizações a fim de amenizar os impactos e barreiras na integração de tais ferramentas para a indústria 4.0 e os *Smart Operators*.

Outra pesquisa, de Fast-Berglund et al. (2018), também olhou para o uso de VR, AR e MR por parte dos operadores, porém com um enfoque maior na aplicação das mesmas na etapa de treinamento das pessoas. Em uma comparação com métodos tradicionais, como por vídeos ou conteúdo impresso, notou-se que os resultados foram consideravelmente melhores não apenas em termos de qualidade do produto final, mas também no tempo operacional gasto com cada item.

Além disso, em Fast-Berglund et al. (2018) os autores traçaram um comparativo entre VR, AR e MR para diferentes etapas de estruturação de uma planta fabril. Com isso, concluíram que a VR é mais adequada para a fase de planejamento, como por exemplo para a criação do layout da fábrica, mas não tanto para questões operacionais, já que é uma experiência completamente virtual. Já a MR é a mais flexível, sendo adequada para basicamente todas as etapas; entretanto, os autores indicam que ainda há uma certa limitação de hardware para uma boa experiência dos usuários. Finalmente, a AR apresentou certo potencial, mas ainda carece de maiores desenvolvimentos tecnológicos para se tornar adequada a tais aplicações.

Por sua vez, Turner e Garn (2022) propuseram um interessante framework

para o que seria a próxima geração de DES, com o intuito de integrar tais simulações aos sistemas de gestão como os ERPs à planta da fábrica. Assim, a proposição dos autores engloba um ambiente virtual capaz de se comunicar com o real por meio dos gêmeos digitais, analisa e descreve as conclusões obtidas a partir dos dados utilizando Explainable Artificial Intelligence (XAI) e faz com que as decisões tomadas perpassem o ERP e cheguem à automação com a robótica e a IIoT.

O modelo de Turner e Garn (2022), apesar de não citar diretamente o metaverso, adequa-se a essa tecnologia, principalmente, pela forma como ocorre a interação entre o real e o virtual, com MR e digital twins. Além disso, encaixa-se no PDP em dois cenários: primeiramente na questão da manutenção, de modo similar ao discutido anteriormente para Longo et al. (2022); depois, para o próprio projeto do produto, uma vez que as simulações em conjunto com a XAI podem clarificar quais tópicos demandam alterações ou otimizações, por exemplo em pontos de falha ou de funcionamento inadequado do produto.

Também na linha de almejar identificar aspectos de melhoria do produto, Henriques e Winkler (2021) estudaram a possibilidade de adotar a VR nas fases mais iniciais do projeto para reduzir custos e acelerar o processo. A proposta seria utilizar a ferramenta para elaboração de protótipos que, podendo ser levados mais facilmente até os usuários, conseguem ser testados, validados e alterados de maneira mais eficiente. Ademais, o uso dos modelos virtuais previne acidentes e avarias nos produtos testados, contribuindo para a redução de custos.

À vista disso, o trabalho de Henriques e Winkler (2021) se enquadra na parte esquerda do V no V-Model, uma vez que cada componente, subsistema ou conceito é validado com os usuários e permite elencar os requisitos necessários para atender às necessidades dos clientes. Os autores também levantaram alguns desafios relacionados à adoção da VR nesse processos e esses se resumem em promover maior imersividade aos usuários e aprimorar certas tecnologias individuais que configuram a ferramenta – por exemplo, segurança dos dados, qualidade gráfica e amenização dos sintomas indesejados causados pela VR.

Desse modo, percebe-se que existem estudos relacionando o metaverso ou, por vezes, visões de VR, AR e MR ao PDP. Entretanto, os estudos sobre essa relação são relativamente escassos. Isso se deve não apenas ao fato de o metaverso ter ganhado reconhecimento muito recentemente, mas também pelos custos altos de hardware e software e a falta de profissionais e pesquisadores especializados na área (HENRIQUES; WINKLER, 2021).

Vale ressaltar que, apesar da carência de estudos relacionando ferramentas de XR ao PDP, ainda assim pode-se identificar aplicações para cada etapa do V-Model: pesquisas com os usuários para a criação de uma ideia inicial e produto conceito; protótipos virtuais e oportunidades de trabalho remoto mais colaborativo para todo o V

do modelo; treinamentos, monitoramento da produção e dos produtos e manutenção auxiliada por XR para as etapas operacionais e de fim do ciclo de vida do produto.

A fim de avaliar o uso do metaverso como ferramenta para auxiliar o PDP, buscou-se casos de uso concretos dessa associação. Em geral, tais aplicações acontecem em empresas de grande porte, dado o nível de investimento associado à exploração de tecnologias emergentes, como é o caso do metaverso. Ao final, objetiva-se sintetizar as possíveis utilizações do metaverso para cada etapa do PDP de acordo com o V-Model.

5.1 CASOS DE USO DA APLICAÇÃO DO METAVERSO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Efetivamente, há diversos exemplos de aplicações concretas do metaverso e tecnologias associadas no PDP. Alguns desses casos de uso utilizaram o Omniverse da NVIDIA mencionado anteriormente para a construção de digital twins de estruturas complexas, permitindo a avaliação prévia do modelo proposto e a otimização do tempo de desenvolvimento consumido nas etapas de especificação do PDP.

Com o auxílio do Omniverse, a Amazon pôde criar um modelo completo e detalhado de um de seus armazéns antes mesmo de construí-lo (NVIDIA, 2022a). Nas simulações também entraram robôs móveis, responsáveis pelas operações de intralogística do armazém, carregando material de uma parte a outra. Com isso, foi capaz de simular e aperfeiçoar a utilização do espaço, bem como projetar componentes, equipamentos e espaços de trabalho melhor adequados ao uso das máquinas e dos humanos, em um sentido ergonômico. A Figura 9 é uma imagem de tal digital twin criado com o Omniverse. É possível identificar os robôs móveis e produtos, com especial atenção para a qualidade da imagem em ambiente virtual.

Figura 9 – Digital Twin feito com o NVIDIA Omniverse para armazém da Amazon



Fonte: NVIDIA (2022a).

Além disso, nesse mesmo cenário da parceria entre Amazon e NVIDIA, o gêmeo digital concebido possibilitou a aquisição de inúmeras imagens de alta fidelidade para os produtos, os quais se apresentam nos mais variados formatos e tamanhos. Tais dados serviram para o treinamento dos sistemas de visão que integram os robôs do depósito, agilizando drasticamente esse processo e reduzindo a taxa de erro e os custos associados.

De maneira semelhante, a PepsiCo também utilizou o Omniverse para simular e otimizar a estrutura de seus centros de distribuição (NVIDIA, 2022e). Nesse caso, as imagens obtidas dos produtos – que se alteram com certa frequência – no gêmeo digital servem para o treinamento de uma IA capaz de identificar congestionamentos nas esteiras de produtos e controlar sua velocidade de acordo. Esse sistema supervisiona, na realidade, uma série de centros de distribuição da empresa, sendo que todos podem ser monitorados simultaneamente dentro da mesma plataforma: o Omniverse.

A Figura 10 demonstra como essas imagens de alta fidelidade foram utilizadas para o treinamento dessa IA de identificação de produtos. À esquerda, é possível ver uma imagem capturada no ambiente de simulação do NVIDIA Omniverse, enquanto à direita tem-se uma imagem real capturada na linha em operação. Percebe-se que a qualidade da imagem criada no gêmeo digital é elevada, de modo a permitir a criação de datasets com uma grande variedade de imagens e cenários possíveis, reduzindo os custos e, principalmente, o tempo para sua obtenção.

Figura 10 – Comparativo de imagem entre Omniverse e centro de distribuição PepsiCo



Fonte: NVIDIA (2022e).

Entretanto, não apenas para essas aplicações o sistema da NVIDIA foi usado. Há uma lista compreensiva de simulações feitas com o auxílio dessa ferramenta, incluindo a formação de furacões (NVIDIA, 2022i), a expansão de incêndios (NVIDIA, 2022f), a propagação de rede 5G em cidades (NVIDIA, 2022c) e, surpreendentemente, os comportamentos de um reator nuclear (NVIDIA, 2022b). Todas essas fizeram uso de diversas tecnologias centrais do metaverso, especialmente a VR e a IA.

Por sua vez, a BMW utilizou a mesma tecnologia para demonstrar o que seria a *fábrica do futuro*: uma planta capaz de produzir veículos personalizados conforme a

necessidade dos clientes (NVIDIA, 2022i). A ergonomia dos funcionários é verificada com o auxílio dos *humanos digitais* presentes na ferramenta e modelados com dados reais de pessoas da companhia. Na Figura 11, é possível identificar essa *fábrica do futuro*, bem como a presença dos avatares humanos interagindo com esse cenário. Assim, a empresa caminha para a tendência de personalização e de Smart Operators como apresentada por Longo et al. (2022).

Figura 11 – Conceito de *fábrica do futuro* pela BMW apresentado no Omniverse



Fonte: NVIDIA (2022i).

De fato, a BMW vem investindo no uso do metaverso em diferentes fases do seu PDP. No início de 2022, a empresa optou por anunciar o lançamento de um de seus veículos no Brasil por meio do metaverso (AUTOMOTIVE NOW, 2022). A organização também se utiliza do Unity – outra ferramenta para a criação de ambientes de VR, MR e XR – para o desenvolvimento de veículos autônomos, simulando diferentes cenários e avaliando o comportamento do produto nos mesmos (UNITY, 2022f).

A utilização do metaverso para a demonstração e ilustração de produtos parece ganhar força no cenário automotivo, com exemplos vindos de marcas como Porsche (NVIDIA, 2022d), Volkswagen (UNITY, 2022d), Volvo (UNITY, 2022e), Honda (UNITY, 2022a), Lexus (UNITY, 2022c), entre outros. O nível de detalhamento e a interatividade disponibilizada são os elementos mais citados como diferenciais na adoção de tal tecnologia para o marketing e anúncio dos produtos. Efetivamente, a Figura 12 traz uma demonstração do caso da Volvo apresentando um de seus novos veículos, onde se nota o grau de fidelidade das imagens com a realidade, aparentando ser uma foto concreta ao invés de um modelo virtual.

Figura 12 – Modelo virtual de veículo Volvo construído com a ferramenta Unity



Fonte: UNITY (2022e).

Daimler Protics, parte do grupo Mercedes-Benz, afirmou adotar a plataforma Unity para a criação de aplicações de MR para diferentes fases do ciclo de vida do seus produtos (UNITY, 2022b). Um exemplo seria a recriação do comportamento de seus robôs durante a fabricação de certos componentes, de modo que é possível verificar se o seu comportamento se adéqua aos padrões de segurança estabelecidos. Outra situação seria durante a apresentação do veículo, com uma espécie de *tour* pelo qual o usuário conhece as características e funcionalidades do veículo. A Figura 13 ilustra tal uso, onde a MR criada expõe componentes internos do veículo.

Finalmente, a MR também foi usada pela Daimler Protics para o treinamento de técnicos na manutenção da caixa de transmissão, substituindo o que seria um equipamento desconectado do resto do veículo por um modelo que garante a visualização detalhada de cada peça e com a possibilidade de simular o comportamento da caixa em operação. Assim, a integração desse sistema no PDP foi feita desde o princípio do projeto do veículo até as etapas de ida ao mercado e acompanhamento do produto.

Aplicações de XR e metaverso podem ser encontradas em setores completamente distintos. Além dessa variedade de casos de uso no setor automotivo, há também exemplos como do Banco do Brasil, que criou um ambiente virtual no metaverso a fim de atrair e informar seus clientes de seus produtos (BANCO DO BRASIL, 2022). Nesse cenário, os usuários são capazes de abrir contas na instituição, receber benefícios e, inclusive, acompanhar uma exposição sobre o Egito Antigo em um museu digital.

Partindo mais para as etapas à esquerda do V no V-Model, durante a criação

Figura 13 – Uso de MR para apresentação de veículo Daimler



Fonte: <https://unity.com/pt/pages/industrial-stories>. Acesso em 08 de outubro de 2022.

do conceito do produto e de seus componentes, há os exemplos da Ford (TECMUNDO, 2022) e da Fiat Chrysler Automobiles (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2022). O caso da Ford demonstra como os designers são capazes de adotar a XR para a formulação do design do sistema, com uma experiência mais imersiva de criação. Já a Fiat, no Virtual Center Latam, não apenas adota a XR para o projeto dos veículos, mas também considera as simulações e testes dentro desse mundo virtual, o que reduz custos e traz mais assertividade e eficiência no PDP. Segundo a reportagem, o nível de detalhe é tanto que até o som do motor em funcionamento pode ser simulado antes mesmo da fabricação de qualquer componente.

Por outro lado, companhias como McLaren, CarCoin e Alfa Romeo se beneficiam de outra tecnologia integrante do metaverso: Non-Fungible Tokens (NFTs) (CAPGEMINI, 2022). A McLaren e a CarCoin buscam monetizar alguns bens digitais pela comercialização desses NFTs. Já a Alfa Romeo aposta na segurança da blockchain para aferir a credibilidade das rotinas de manutenção e inspeção dos veículos, de modo que apenas fornecedores certificados são capazes de gerar os comprovantes sob a forma de NFTs.

Esse mesmo relatório aponta que algumas experiências vêm sendo feitas para a integração dessas tecnologias de XR também aos produtos em si, com exemplos da BMW e Mercedes-Benz. Outras como a Hyundai levam seus produtos diretamente para o metaverso, no que são classificadas como experiências *fora do veículo*. Ademais, os gêmeos digitais participam cada vez mais da etapa de projeto, abarcando o design, a

produção e o acompanhamento da performance dos produtos.

Outro caso relacionado ao metaverso e a NFTs é o já apresentado Samsung 837X (SAMSUNG, 2022). Trata-se de uma experiência no formato de jogo onde os usuários puderam explorar um ambiente virtual e obter NFTs colecionáveis. Nesse sentido, o Samsung 837X foi mais focado em questões de marketing e entretenimento, enquadrando-se na etapa operacional do ciclo de vida do produto. A Figura 14 mostra diversos avatares nesse ambiente, o que demonstra que a solução adotou uma das principais características de metaverso: a simultaneidade das interações entre diversos usuários em um mesmo ambiente virtual.

Figura 14 – Avatares no Samsung 837X



Fonte: <https://news.samsung.com/us/samsung-837x-metaverse-customization-youmake-create-world-you-want/>. Acesso em 09 de outubro de 2022.

Apesar de não haver casos de uso que contemplem uma implementação conceitualmente completa de metaverso, com todas as características idealizadas, percebe-se como soluções aproximadas de metaverso, a XR, MR, gêmeos digitais, NFTs e outras tecnologias associadas vêm ganhando espaço no PDP, principalmente na indústria automotiva. Outros casos abordam segmentos completamente distintos, como o financeiro, ambiental e logístico. Na sequência, a relação com o uso de tais ferramentas e as etapas do PDP são brevemente sintetizadas.

5.2 SÍNTESE DAS POTENCIAIS APLICAÇÕES DO METAVERSO NO PDP

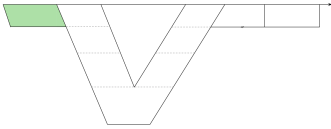
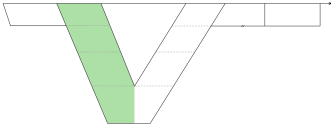
A partir das informações levantadas e expostas até o momento no presente trabalho, é possível traçar paralelos entre as etapas do PDP, potenciais aplicações do

metaverso como ferramenta e exemplos encontrados na indústria e na literatura. Tal conjunto de informações é apresentado sinteticamente no Quadro 4, o qual, além de trazer cada fase do V-Model, acrescenta utilizações aplicáveis ao longo de todas as etapas do PDP.

Como é possível perceber, cada etapa pode ser favorecida pelo uso do metaverso como ferramenta para auxílio do PDP. Em geral, as funcionalidades mais favoráveis a essa integração são a visualização de modelos tridimensionais, a interatividade com tais modelos, a interatividade com outros usuários em um mesmo ambiente virtual, a aquisição e avaliação dos dados adquiridos e os gêmeos digitais que permitem simulações mais fidedignas.

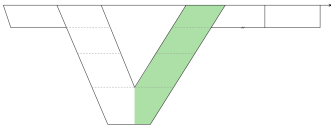
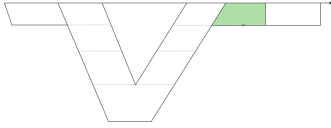
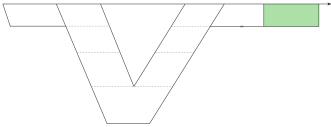
Quadro 4 – Síntese das potenciais aplicações do metaverso no PDP.

(continua)

<i>Etapa do V-Model</i>	<i>Aplicações Metaverso</i>	<i>Exemplos de Uso</i>
<p>Design e planejamento avançado</p> 	<p>Criação de um conceito de produto virtual, com uma representação mais interativa e próxima dos usuários graças à imersividade inerente ao metaverso. Ademais, algumas funcionalidades podem incorporar o metaverso em si ou tecnologias correlatas.</p>	<p>Ford (TECMUNDO, 2022)</p> <p>Fiat (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2022)</p> <p>McLaren (CAPGEMINI, 2022)</p> <p>Fast-Berglund et al. (2018)</p> <p>Freitas et al. (2022)</p>
<p>Especificação do sistema, subsistemas e componentes</p> 	<p>A modelagem dos sistemas pode ser feita inteiramente dentro do metaverso, com a participação de diversos stakeholders, abrangendo designers, engenheiros, usuários e organizações. Desse modo, especifica-se com mais detalhes as partes que compõem o sistema, delineando os escopos mais claramente.</p>	<p>Amazon (NVIDIA, 2022a)</p> <p>PepsiCo (NVIDIA, 2022e)</p> <p>Fiat (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2022)</p> <p>Siemens Energy (NVIDIA, 2022h)</p> <p>Henriques e Winkler (2021)</p>

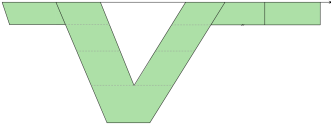
Quadro 4 – Síntese das potenciais aplicações do metaverso no PDP.

(continuação)

<i>Etapa do V-Model</i>	<i>Aplicações Metaverso</i>	<i>Exemplos de Uso</i>
<p>Concepção dos componentes, dos subsistemas e do sistema final (Job #1)</p> 	<p>O metaverso permite a criação de gêmeos digitais com os quais é possível interagir e realizar simulações complexas, reduzindo prazos e custos. Além disso, a fidedignidade propõe uma redução das falhas na construção do produto físico e a menor necessidade de manutenção.</p>	<p>Amazon (NVIDIA, 2022a)</p> <p>BMW (AUTOMOTIVE NOW, 2022)</p> <p>Fiat (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2022)</p> <p>Burova et al. (2022)</p>
<p>Operação e refinamento</p> 	<p>Aplicações no marketing do produto com experiências imersivas e atrativas. Treinamentos operacionais e de manutenção com o auxílio do metaverso. Acompanhamento do desempenho dos produtos pelos dados gerados e visualizados no metaverso, por vezes até associados a gêmeos digitais.</p>	<p>Samsung 837X (SAMSUNG, 2022)</p> <p>Volvo (UNITY, 2022e)</p> <p>Daimler Protics (UNITY, 2022b)</p> <p>Banco do Brasil (BANCO DO BRASIL, 2022)</p> <p>Alfa Romeo (CAPGEMINI, 2022)</p> <p>Fast-Berglund et al. (2018)</p> <p>Kunnen et al. (2020)</p> <p>Xi e Hamari (2021)</p>
<p>Descontinuação e descarte</p> 	<p>Possibilidade de sintetizar os dados de desempenho do produto no metaverso, facilitando a visualização, a avaliação dos dados - seja pelo fato de, tecnicamente, embarcar a IA em sua arquitetura, seja por agrupar as informações obtidas e poder levá-las aos gêmeos digitais.</p>	<p>Longo et al. (2022)</p> <p>Turner e Garn (2022)</p>

Quadro 4 – Síntese das potenciais aplicações do metaverso no PDP.

(conclusão)

<i>Etapa do V-Model</i>	<i>Aplicações Metaverso</i>	<i>Exemplos de Uso</i>
<p><i>Ao longo de todas as etapas</i></p> 	<p>Opções de trabalho remoto e conexão mais próxima entre as pessoas envolvidas no projeto. Aquisição de dados e simulações que podem levar à identificação de pontos de melhoria, falhas e novas oportunidades. Melhoria da visualização dos produtos, sistemas, partes e dados associados.</p>	<p>Amazon (NVIDIA, 2022a) BMW (AUTOMOTIVE NOW, 2022) Fiat (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2022) Choi (2022) Burova et al. (2022) Longo et al. (2022)</p>

Fonte: Autor (2022).

Em um primeiro momento, é possível utilizar o metaverso para levantar as necessidades dos clientes, simulando o cliente em um ambiente mais próximo ao real de utilização do produto. O cliente pode ter uma experiência imersiva, a fim de identificar as necessidades relacionadas às várias fases do produto (uso, manutenção e retirada do produto) e também a vários aspectos do produto (dimensões, ergonomia, acessibilidades, entre outros), onde seria possível aplicar testes A/B a custos menores.

Analogamente, pode-se identificar questões referentes a restrições na concepção do produto. Tais testes devem contar com a presença de engenheiros, designers e daqueles envolvidos com o projeto em si, permitindo uma visão mais concreta sobre o produto ainda em uma etapa conceitual.

Outro fato perceptível é que aplicações na etapa de descontinuidade e retirada do produto do mercado são mais incomuns na indústria em comparação com as etapas de concepção dos sistemas e componentes. Todavia, já se encontram casos na literatura que supõem tais aplicações, de modo que é provável que essa adoção passe a acontecer futuramente conforme a tecnologia também evolui e agrega novas funcionalidades ainda inconcebíveis.

Já os três primeiros passos conforme identificados no Quadro 4 já expõem diversos casos de uso. De fato, cada um foi favorecido por alguma espécie de aplicação em particular, da qual várias organizações já têm feito uso. Nesse sentido, a etapa de *Design e planejamento avançado* é favorecida, principalmente, pelo design de modelos tridimensionais e pela apresentação dos mesmos de maneira interativa no metaverso. Já as outras duas, de especificação e concepção das partes que compõem o sistema

como um todo, se beneficiaram em peso dos gêmeos digitais, permitindo simulações complexas que alcançam cada mínima peça de toda a estrutura.

Percebe-se, com os exemplos citados, que indústrias dos mais diversos setores podem se beneficiar do metaverso como ferramenta para auxiliar o PDP, apesar de as implementações feitas até então não adotarem todas as características de metaverso idealizadas. Conforme a tecnologia se desenvolve, uma experiência mais semelhante à velocidade e à proximidade das interações na vida real deve ser alcançada, de modo que o PDP poderá, além de seguir com seu funcionamento corrente, beneficiar-se da flexibilidade alcançada pela virtualização de processos e produtos.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou o conceito do metaverso, apresentou o PDP conforme o V-Model e suas etapas e identificou as possibilidades de integrar o metaverso ao PDP como uma ferramenta capaz de otimizar, reduzir custos e alcançar maior assertividade no processo. Para tal, as diretrizes da PRISMA foram adotadas para realizar uma revisão sistemática da literatura acerca do metaverso e do PDP. Após as discussões apresentadas, as informações levantadas permitiram sintetizar em um quadro a relação entre as aplicações do metaverso e os casos de uso para cada passo definido no V-Model.

A revisão sistemática da literatura aferiu que o metaverso é uma tecnologia ainda em estado embrionário, com muitas partes ainda por estruturar e desenvolver, seja em termos das tecnologias que a compõem, seja pela especificação e criação de padrões que garantam a interoperabilidade entre diferentes implementações de metaverso e a concordância com as leis de cada local em que irá operar. Não obstante, não há um consenso universal para o conceito e para as perspectivas de futuro do metaverso, tanto na academia quanto na indústria.

Dentre todas as visões existentes de metaverso, a percepção adotada foi de uma experiência virtual imersiva em um mundo compartilhado entre diferentes usuários simultaneamente e que não se restringe a limitações físicas de espaço. Esse mundo deve ser construído conforme a participação e necessidade dos usuários, uma vez que o mesmo traz como característica uma persistência das alterações ao longo do tempo. Cada pessoa participa no metaverso sob a forma de avatares, enquanto os gêmeos digitais são capazes de aproximar objetos físicos às suas representações digitais.

A arquitetura do metaverso foi exibida conforme o framework proposto no trabalho de Wang et al. (2021). Segundo essa estrutura, há cinco camadas que incluem os elementos e características comuns a qualquer implementação de metaverso, as tecnologias principais a serem utilizadas, as políticas de segurança essenciais, as questões éticas e morais e, por fim, as aplicações industriais e comerciais que efetivamente fazem uso desse mundo virtual.

Em especial, fez-se necessário descrever as diferenças entre cada uma das *realidades* que tomam parte no debate sobre os conceitos de metaverso. Nesse sentido, distinguiu-se a VR, sem a presença de elementos reais, da MR, onde coexistem objetos reais e virtuais. A AR é classificada dentro da MR, sendo que a quantidade de elementos reais é maior que a virtual como regra geral. Já a XR é qualquer implementação de VR ou MR onde a imersividade e a presença simultânea de mais usuários entregam uma experiência notavelmente distinta.

Já sobre o PDP, salientou-se que é processo pelo qual uma organização gerencia a criação e a descontinuidade dos produtos em seu portfólio, sendo que existem diversas metodologias que podem se seguidas para o implementar, dentre as quais encontra-se o V-Model. Esse V-Model é mais costumeiramente adotado na indústria automotiva, mas seu conceito é extensível a qualquer outro segmento, em especial àqueles onde a aferição da qualidade por meio de testes tem maior importância.

Para cada etapa do V-Model, sintetizou-se algumas aplicações do metaverso que ocorreram na indústria e em pesquisas. Percebeu-se que as funcionalidades do metaverso que mais agregam valor ao PDP e suas fases são a visualização e a interatividade de modelos tridimensionais, o contato mais próximo com outros usuários e a análise dos dados adquiridos com o auxílio dos gêmeos digitais. As simulações mais fidedignas possibilitadas pelos gêmeos digitais trouxeram diversos casos de uso interessantes e que permitiram a melhoria e a concepção de sistemas complexos e extensos.

Trabalhos futuros podem ter por objetivo a análise da viabilidade do metaverso em outras abordagens de PDP à parte do V-Model. Além disso, cada uso do metaverso nas etapas do PDP pode ser analisado individualmente como uma ferramenta, tomando em conta seus impactos e confrontando os resultados com as ferramentas adotadas atualmente.

Finalmente, o metaverso pode servir como ferramenta para inúmeros outros casos de uso ainda inexplorados, permitindo que se alcance não apenas um retorno econômico sobre o seu uso, mas também a melhoria da qualidade de vida pela possibilidade de desenvolver sistemas que garantem a acessibilidade e que superam barreiras físicas e temporais existentes. Conforme se desenvolvem do metaverso e suas tecnologias constituintes, novos horizontes de oportunidades devem surgir e sua adoção deverá se tornar cada vez mais desejável e necessária para a realização das atividades humanas.

REFERÊNCIAS

- ABURBEIAN, A. M.; OWDA, A. Y.; OWDA, M. A technology acceptance model survey of the metaverse prospects. **Artificial Intelligence**, v. 3, n. 2, p. 285–302, 2022.
- ACCENTURE. **Technology Vision 2022: meet me in the metaverse**. 2022. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/Thought-Leadership-Assets/PDF-5/Accenture-Meet-Me-in-the-Metaverse-Full-Report.pdf. Acesso em: 06 de julho de 2022.
- APPLE. **Realidade Aumentada**. 2022. Disponível em: <https://www.apple.com/br/augmented-reality/>. Acesso em: 25 de agosto de 2022.
- AUTOMOTIVE NOW. **BMW escolhe plataforma de games para lançar elétrico iX no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/setor-automotivo/bmw-escolhe-plataforma-de-games-para-lancar-ix-no-brasil/>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.
- BANCO DO BRASIL. **BB no metaverso: do mundo real para o virtual**. 2022. Disponível em: <https://blog.bb.com.br/bb-no-metaverso/>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.
- BHISE, V. D. **Automotive product development: a systems engineering implementation**. Boca Raton, United States of America: CRC Press, 2017.
- BUROVA, A. et al. Asynchronous industrial collaboration: how virtual reality and virtual tools aid the process of maintenance method development and documentation creation. **Computers in Industry**, v. 140, n. 1, p. 1–12, 2022.
- CAPGEMINI. **Gearing up for the metaverse**. 2022. Disponível em: <https://www.capgemini.com/insights/research-library/gearing-up-for-the-metaverse/>. Acesso em: 01 de setembro de 2022.
- CHOI, H. Working in the metaverse: does telework in a metaverse office have the potential to reduce population pressure in megacities? Evidence from young adults in Seoul, South Korea. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3629, 2022.
- COREIA DO SUL. **Joint announcement by relevant ministries of the Korean Government: metaverse industrialization policy**. 2022. Disponível em: <https://www.korea.kr/news/policyBriefingView.do?newsId=156492454>. Acesso em: 28 de junho de 2022.
- CUNNINGHAM, T. C. **Marching toward the metaverse: strategic communication through the new media**. Leavenworth, United States of America: Army Command and General Staff Coll Fort Leavenworth KS School of Advanced Military Studies, 2010.
- DOZIO, N. et al. A design methodology for affective virtual reality. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 162, n. 1, p. 1–17, 2022.
- FAST-BERGLUND, Å.; GONG, L.; LI, D. Testing and validating extended reality (xR) technologies in manufacturing. **Procedia Manufacturing**, v. 25, n. 1, p. 31–38, 2018.

FORTE, M. et al. Metaverse communities and archaeology: the case of Teramo. *In: EUROMED. Proceedings of the 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE DEDICATED ON DIGITAL HERITAGE.* p. 79–84. Limassol, Chipre, 08 de novembro de 2010 a 13 de novembro de 2010. Disponível em: <https://digitalheritagelab.eu/files/proceedings/euromed-2010-short.pdf#page=91>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FREITAS, F. V. de; GOMES, M. V. M.; WINKLER, I. Benefits and challenges of virtual-reality-based industrial usability testing and design reviews: a patents landscape and literature review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1755, 2022.

GOMES, A. et al. Extended by design: a toolkit for creation of XR experiences. *In: IEEE. Proceedings of the 2020 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY ADJUNCT.* p. 57–62. Recife, 09 de novembro de 2020 a 13 de novembro de 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9288453>. Acesso em: 14 maio 2022.

GOOGLE. **Google AR e VR.** 2022. Disponível em: <https://arvr.google.com/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

GOOGLE. **Google Glass.** 2022. Disponível em: <https://www.google.com/glass/start/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

HENRIQUES, A. C.; WINKLER, I. The advancement of virtual reality in automotive market research: challenges and opportunities. **Applied Sciences**, v. 11, n. 24, p. 11610, 2021.

HUAWEI. **Huawei Tech 2022:** issue 02. 2022. Disponível em: <https://www-file.huawei.com/-/media/corp2020/pdf/publications/communicate/huaweitech-202202-en.pdf>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

HUAWEI. **Intelligent World 2030.** 2022. Disponível em: https://www-file.huawei.com/-/media/CORP2020/pdf/giv/Intelligent_World_2030_en.pdf. Acesso em: 06 de julho de 2022.

HUGGETT, J. Virtually real or really virtual: towards a heritage metaverse. **Studies in Digital Heritage**, v. 4, n. 1, p. 1–15, 2020.

HWANG, R.; LEE, M. The influence of music content marketing on user satisfaction and intention to use in the metaverse: a focus on the spice model. **Businesses**, v. 2, n. 2, p. 141–155, 2022.

JAYNES, C. et al. The Metaverse: a networked collection of inexpensive, self-configuring, immersive environments. *In: ACM. Proceedings of the WORKSHOP ON VIRTUAL ENVIRONMENTS 2003.* p. 115–124. Zurique, Suíça, 22 de maio de 2003 a 23 de maio de 2003. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/769953.769967>. Acesso em: 07 jun. 2022.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **Realidade virtual aperfeiçoa criação de novos veículos da Fiat.** 2022. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/patrocinado/ fiat/2019/11/29/noticia-patrocinado-fiat,1104749/realidade-virtual-aperfeicoa-criacao-de-novos-veiculos-da-fiat.shtml>. Acesso em: 01 de setembro de 2022.

- KIM, S. et al. Virtual world control system using sensed information and adaptation engine. **Signal Processing: Image Communication**, v. 28, n. 2, p. 87–96, 2013.
- KUNNEN, S. et al. System-based concept for a mixed reality supported maintenance phase of an industrial plant. **Procedia CIRP**, v. 91, n. 1, p. 15–20, 2020.
- KYE, B. et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. **Journal of Educational Evaluation for Health Professions**, v. 18, n. 1, p. 18–32, 2021.
- LEE, U.; KIM, H. UTAUT in metaverse: an “ifland” case. **Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research**, v. 17, n. 2, p. 613–635, 2022.
- LI, J. et al. Big data in product lifecycle management. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 1, p. 667–684, 2015.
- LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. New perspectives and results for smart operators in industry 4.0: a human-centered approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 163, n. 1, p. 1–17, 2022.
- MESSINGER, P. R. et al. Virtual worlds—past, present, and future: New directions in social computing. **Decision support systems**, v. 47, n. 3, p. 204–228, 2009.
- META. **Connect 2021**: our vision for the metaverse. 2021. Disponível em: <https://tech.fb.com/ar-vr/2021/10/connect-2021-our-vision-for-the-metaverse/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.
- META. **Meta platforms and technologies**. 2022. Disponível em: <https://about.facebook.com/technologies/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.
- MICROSOFT. **Converging the physical and digital with digital twins, mixed reality, and metaverse apps**. 2022. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/blog/converging-the-physical-and-digital-with-digital-twins-mixed-reality-and-metaverse-apps/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.
- MICROSOFT. **Microsoft HoloLens**. 2022. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. Acesso em: 05 de julho de 2022.
- MILGRAM, P. et al. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. *In*: SPIE. **Proceedings of the TELEMANIPULATOR AND TELEPRESENCE TECHNOLOGIES**. v. 2351, p. 282–292. Boston, Estados Unidos da América, 31 de outubro de 1994 a 04 de novembro de. Disponível em: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2351/1/Augmented-reality--a-class-of-displays-on-the-reality/10.1117/12.197321.short?SSO=1>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- MOZUMDER, M. A. I. et al. Overview: technology roadmap of the future trend of metaverse based on IoT, blockchain, AI technique, and medical domain metaverse activity. *In*: IEEE. **Proceedings of the 2022 24TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICACT)**. p. 256–261. Pyeongchang, Coreia do Sul, 13 de fevereiro de 2022 a 16 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9728808>. Acesso em: 14 maio 2022.

NING, H. et al. **A survey on metaverse: the state-of-the-art, technologies, applications, and challenges.** 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.09673>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

NVIDIA. **Amazon builds digital twins of warehouses with NVIDIA Omniverse and Isaac Sim.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/amazon-robotics>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **Building a fusion reactor digital twin in NVIDIA Omniverse.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/building-a-fusion-reactor>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **Ericsson's 5G digital twin simulated in NVIDIA Omniverse.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/ericssons-5g>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **No Fueling Around: Designers Collaborate in Extended Reality on Porsche Electric Race Car.** 2022. Disponível em: https://blogs.nvidia.com/blog/2022/07/08/porsche-cloudxr-demo/#cid=pv24_so-link_en-us. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **PepsiCo simulates and optimizes distribution centers with NVIDIA Omniverse and Metropolis.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/Pepsico-simulates>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **Real Time Wildfire Intelligence with NVIDIA and Lockheed Martin.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/real-time-wildfire>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **Siemens and NVIDIA to enable industrial metaverse.** 2022. Disponível em: <https://nvidianews.nvidia.com/news/siemens-and-nvidia-to-enable-industrial-metaverse>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

NVIDIA. **Siemens energy HRSG digital twin simulation using NVIDIA Modulus and Omniverse.** 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/siemens-energy-hrsg>. Acesso em: 07 de setembro de 2022.

NVIDIA. **NVIDIA, BMW Blend Reality, Virtual Worlds to Demonstrate Factory of the Future.** 2022. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/04/13/nvidia-bmw-factory-future/>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

NVIDIA. **NVIDIA joins forum to help lay the foundation of the metaverse.** 2022. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/2022/06/21/metaverse-standards-forum/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

NVIDIA. **NVIDIA Omniverse.** 2022. Disponível em: <https://www.nvidia.com/pt-br/omniverse/>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

NVIDIA. **Visualizing the world's most violent tornadoes**. 2022. Disponível em: <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/violent-tornadoes>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

PAGE, M. J. et al. The prisma 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BioMed Central**, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2021.

PAPAGIANNIDIS, S.; BOURLAKIS, M. A. Staging the new retail drama: at a metaverse near you! **Journal of Virtual Worlds Research**, v. 2, n. 5, p. 425–446, 2010.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RYSKELDIEV, B. et al. Distributed metaverse: creating decentralized blockchain-based model for peer-to-peer sharing of virtual spaces for mixed reality applications. *In: ACM. Proceedings of the 9TH AUGMENTED HUMAN INTERNATIONAL CONFERENCE*. p. 1–3. Seul, Coreia do Sul, 07 de fevereiro de 2018 a 09 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3174910.3174952>. Acesso em: 07 jun. 2022.

SAMSUNG. **Samsung 837X**. 2022. Disponível em: <https://www.samsung.com/us/explore/metaverse-837x/>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

SHAFIQUE, K. et al. Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: a review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5g-iot scenarios. **IEEE Access**, v. 8, p. 23022–23040, 2020.

SHEN, B. et al. How to promote user purchase in metaverse? A systematic literature review on consumer behavior research and virtual commerce application design. **Applied Sciences**, v. 11, n. 23, p. 11087, 2021.

SONY. **CEO interview: creating Sony's metaverse with creators**. 2022. Disponível em: <https://www.sony.com/en/SonyInfo/blog/2022/06/23/text.html>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

STARK, R. **Virtual Product Creation in Industry: the difficult transformation from IT enabler technology to core engineering competence**. Heidelberg, Germany: Springer, 2022.

STEPHENSON, N. **Snow Crash**. United States of America: Bantam Books, 1992.

TECMUNDO. **Designers da Ford já podem projetar carros usando realidade virtual**. 2022. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/138270-designers-ford-projetar-carros-usando-realidade-virtual.htm>. Acesso em: 01 de setembro de 2022.

TEIXEIRA, J. M.; PERES, F. F. F. Analysis of XR research in Brazil from 21 years of SVR publications. *In: IEEE. Proceedings of the 2020 22ND SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR)*. p. 220–231. Porto de Galinhas, 07 de novembro de 2020 a 10 de novembro de 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9262681>. Acesso em: 14 maio 2022.

TURNER, C. J.; GARN, W. Next generation des simulation: a research agenda for human centric manufacturing systems. **Journal of industrial information integration**, v. 28, n. 1, p. 1–13, 2022.

UNITY. **Empowering Honda’s designers to create beautiful interactive presentations in 1 day**. 2022. Disponível em: <https://blog.unity.com/manufacturing/empowering-hondas-designers-to-create-beautiful-interactive-presentations-in-1-day>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

UNITY. **How Daimler uses Unity across its automotive lifecycle**. 2022. Disponível em: <https://blog.unity.com/manufacturing/how-daimler-uses-unity-across-its-automotive-lifecycle>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

UNITY. **Lexus opens the door for virtual production in Unity**. 2022. Disponível em: <https://blog.unity.com/manufacturing/lexus-opens-the-door-for-virtual-production-in-unity>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

UNITY. **The power of real-time 3D: Volkswagen ID.4 EV | Unity**. 2022. Disponível em: <https://youtu.be/7dcZEEed9XcQ>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

UNITY. **Take a ride with the Auto Showroom Sample Template and Volvo XC40 Recharge**. 2022. Disponível em: <https://blog.unity.com/manufacturing/take-a-ride-with-the-auto-showroom-sample-template-and-volvo-xc40-recharge>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

UNITY. **Visualizing BMW’s self-driving future**. 2022. Disponível em: <https://blog.unity.com/manufacturing/visualizing-bmws-self-driving-future>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

WANG, D.; YAN, X.; ZHOU, Y. Research on metaverse: concept, development and standard system. *In*: IEEE. **Proceedings** of the 2021 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY (CECIT). p. 983–991. Sanya, China, 27 de dezembro de 2021 a 29 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9741935>. Acesso em: 14 maio 2022.

WEBER, J. **Automotive development processes**: processes for successful customer oriented vehicle development. Heidelberg, Germany: Springer, 2009.

XI, N. et al. The challenges of entering the metaverse: An experiment on the effect of extended reality on workload. **Information Systems Frontiers**, v. 24, n. 1, p. 1–22, 2022.

XI, N.; HAMARI, J. Shopping in virtual reality: a literature review and future agenda. **Journal of Business Research**, v. 134, n. 1, p. 37–58, 2021.

XING, Y. et al. Historical data trend analysis in extended reality education field. *In*: IEEE. **Proceedings** of the 2021 IEEE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY (ICVR). p. 434–440. Foshan, China, 20 de maio de 2021 a 22 de maio de 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9483828>. Acesso em: 14 maio 2022.

XING, Y. et al. User interface research in web extended reality. *In*: IEEE. **Proceedings** of the 2021 IEEE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY (ICVR). p. 76–81. Foshan, China, 20 de maio de 2021 a 22 de maio de 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9483702>. Acesso em: 14 maio 2022.

ZALDÍVAR-COLADO, U. et al. A mixed reality for virtual assembly. *In*: IEEE. **Proceedings** of the 2017 26TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROBOT AND HUMAN INTERACTIVE COMMUNICATION (RO-MAN). p. 739–744. Lisboa, Portugal, 28 de agosto de 2017 a 01 de setembro de. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8172385>. Acesso em: 25 ago. 2022.

ZHOU, M.; LEENDERS, M. A. A. M.; CONG, L. M. Ownership in the virtual world and the implications for long-term user innovation success. **Technovation**, v. 78, n. 1, p. 56–65, 2018.