

**INSTITUTO
FEDERAL**
Paraíba

Instituto Federal da Paraíba

Campus João Pessoa

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação

Nível Mestrado Profissional

ERBERSON EVANGELISTA VIEIRA

**NETVERSE EDU – UM LABORATÓRIO
IMERSIVO DE REDES DE COMPUTADORES
NO METAVERSO COMO FERRAMENTA DE
APOIO ÀS PRÁTICAS DE ENSINO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO PESSOA – PB

2024

Erberson Evangelista Vieira

**NetVerse Edu – Um Laboratório Imersivo de
Redes de Computadores no Metaverso como
Ferramenta de Apoio às Práticas de Ensino**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito final para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal da Paraíba – IFPB.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Petrônio A. de Medeiros

João Pessoa – PB

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha - *Campus* João Pessoa, PB.

V665n Vieira, Erberson Evangelista.

Netverse Edu – um laboratório imersivo de redes de computadores no metaverso como ferramenta de apoio às práticas de ensino / Erberson Evangelista Vieira. - 2024.

92 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação (PPGTI), 2024.

Orientação : Prof. Dr. Francisco Petrônio A. de Medeiros.

1. Realidade virtual. 2. Metaverso. 3. Redes de computadores. 4. Ensino a distância. I. Título.

CDU 004.946:37.018.43(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

ERBERSON EVANGELISTA VIEIRA

**NETVERSE EDU – UM LABORATÓRIO IMERSIVO DE REDES DE COMPUTADORES NO
METAVERSO COMO FERRAMENTA DE APOIO ÀS PRÁTICAS DE ENSINO.**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação, pelo Programa de Pós- Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB - Campus João Pessoa.

Aprovado em 23 de outubro de 2024

Membros da Banca Examinadora:

DR. FRANCISCO PETRÔNIO ALENCAR DE MEDEIROS

IFPB - PPGTI

DR. LAFAYETTE BATISTA MELO

IFPB - PPGTI

DRA. LILIANE DOS SANTOS MACHADO

UFPB

João Pessoa/2024

Documento assinado eletronicamente por:

- **Francisco Petronio Alencar de Medeiros**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/10/2024 07:45:56.
- **Liliane dos Santos Machado**, PROFESSOR DE ENSINO SUPERIOR NA ÁREA DE ORIENTAÇÃO EDUCACIONAL, em 05/11/2024 15:35:41.
- **Lafayette Batista Melo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/11/2024 16:32:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 14/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 619463
Verificador: 1882248c3c
Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOAO PESSOA / PB, CEP 58015-435
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

A minha avó Sueli (in memoriam), que me acompanhou, mesmo inconscientemente, em várias noites dedicadas a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos, primeiramente, à minha mãe, Elizabeth, por sempre me incentivar a perseguir meus objetivos e por estar presente em todos os momentos. Agradeço à minha família, especialmente aos meus filhos Erberson Filho e Maria Vitória, por compreenderem minha ausência ao longo desta jornada. Um agradecimento especial à professora Bruna, que me deu o "empurrão" necessário para iniciar a pós-graduação, e dizer que estávamos enganados... o difícil não foi entrar, mas chegar até aqui.

Também sou grato à Fernanda pelo apoio constante e pelas vezes em que me ouviu dizer "O que é que eu fiz da minha vida", e juntos rimos disso. Aos colegas de curso, com quem compartilhei essa jornada de conhecimento, dificuldades e superação, agradeço pelas trocas de experiências que enriqueceram nossa vivência.

Em especial, agradeço ao Professor Francisco Petrônio, meu orientador. Sempre digo que tive a sorte de tê-lo como mentor. Sua proatividade, acessibilidade, determinação e ensinamentos foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa. Agradeço também ao professor Alexandre D'Andrea e à equipe do LARA pela oportunidade de participar do Laboratório de Realidade Virtual e Aumentada do IFPB Campus João Pessoa, bem como de projetos desenvolvidos no laboratório.

Minha gratidão à Samara Brito, aluna de Mestrado, por me ajudar a desvendar as plataformas testadas durante a pesquisa, e à aluna de Graduação Maria Eduarda, por seu auxílio no desenvolvimento inicial deste trabalho — os scripts quase nos enlouqueceu! Aos alunos do IFPB Campus João Pessoa e Campus Santa Rita, sou grato por terem contribuído nos testes e validação do ambiente desenvolvido.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

As Tecnologias da Informação e Comunicação desempenham um papel fundamental na educação, aproximando conteúdos do mundo real e ampliando as formas de aprendizagem. Os laboratórios virtuais imersivos se destacam por possibilitar experimentação e superar a dificuldade de acesso aos laboratórios físicos. Diante dos desafios de espaço, custos e segurança dos laboratórios tradicionais, surgem abordagens híbridas que combinam às práticas pedagógicas em ambientes imersivos e laboratórios reais. O conceito de Metaverso se destaca ao unir realidades física e virtual, permitindo a interação dos usuários por meio de avatares. Essa combinação busca replicar a experiência dos laboratórios presenciais, promovendo colaboração entre alunos e professores. A sensação de presença em ambientes virtuais imersivos proporciona uma vivência mais realista, favorecendo o processamento de informações nas atividades práticas. O ensino de Computação, especialmente em disciplinas que envolvem o uso de laboratórios e equipamentos físicos, como Redes de Computadores, pode se beneficiar substancialmente dessa imersão proporcionada por ambientes virtuais imersivos. Nesse cenário, este estudo teve como objetivo investigar o uso de ambientes virtuais imersivos como ferramenta de apoio ao ensino de Redes de Computadores e avaliar o grau de aceitação dos estudantes em relação a esses ambientes como suporte no processo de ensino-aprendizagem. A metodologia aplicada envolveu quatro fases: (1) Revisão Sistemática da Literatura, que identificou lacunas na pesquisa e oportunidades para novas práticas pedagógicas no ensino de Computação, além de revisar trabalhos correlatos; (2) realização de entrevistas semiestruturadas com professores da área de Redes de Computadores, para fundamentar o desenvolvimento do ambiente imersivo; (3) modelagem e desenvolvimento do ambiente no Metaverso; e (4) validação da aceitação do ambiente utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e o NASA Task Load Index. A Revisão Sistemática destacou que as práticas pedagógicas discutidas ainda são superficiais, com foco na experimentação de ambientes já existentes e na integração do Metaverso com sistemas de gestão de aprendizagem (LMS). Na fase 2, as entrevistas revelaram a importância da escalabilidade dos ambientes virtuais imersivos. O principal objetivo das entrevistas foi compreender como os professores utilizam laboratórios de informática e redes, identificando os equipamentos e conteúdos mais utilizados no ensino de redes. Essa análise foi essencial para a criação dos cenários de interação que nortearam os requisitos da plataforma NetVerse Edu. Os resultados da aceitação do ambiente indicaram que os estudantes perceberam o NetVerse Edu como uma ferramenta útil e eficaz para o ensino de redes, destacando sua capacidade de facilitar a familiarização com equipamentos e a compreensão de conceitos técnicos. Em termos de carga de trabalho, o ambiente imersivo se mostrou desafiador, exigindo um alto nível de esforço cognitivo, mas proporcionou uma experiência produtiva, sem gerar desconforto significativo ou frustração.

Palavras-chaves: Realidade Virtual, Metaverso; Redes de computadores; Ensino à Distância.

ABSTRACT

Information and Communication Technologies play a fundamental role in education, bringing real-world content closer and expanding learning methods. Immersive virtual laboratories stand out by enabling experimentation and overcoming the difficulty of accessing physical labs. Faced with the challenges of space, cost, and safety in traditional laboratories, hybrid approaches are emerging that combine pedagogical practices in immersive environments with real laboratories. The concept of the Metaverse stands out by merging physical and virtual realities, allowing users to interact through avatars. This combination seeks to replicate the experience of physical laboratories, promoting collaboration between students and teachers. The sense of presence in immersive virtual environments provides a more realistic experience, facilitating information processing in practical activities. The teaching of Computing, especially in disciplines involving laboratories and physical equipment, such as Computer Networks, can significantly benefit from the immersion provided by immersive virtual environments. In this context, this study aimed to investigate the use of immersive virtual environments as a support tool for teaching Computer Networks and to evaluate students' acceptance of these environments as support in the teaching-learning process. The methodology applied involved four phases: (1) a Systematic Literature Review, which identified research gaps and opportunities for new pedagogical practices in Computing education, as well as reviewing related works; (2) conducting semi-structured interviews with Computer Networks teachers to support the development of the immersive environment; (3) modeling and developing the environment in the Metaverse; (4) validating the acceptance of the environment using the Technology Acceptance Model (TAM) and the NASA Task Load Index. The Systematic Review highlighted that the pedagogical practices discussed are still superficial, focusing on experimentation with existing environments and integrating the Metaverse with learning management systems (LMS). In phase 2, the interviews revealed the importance of the scalability of immersive virtual environments. The main objective of the interviews was to understand how teachers use computer and network laboratories, identifying the most commonly used equipment and content in teaching networks. This analysis was essential for creating the interaction scenarios that guided the requirements for the NetVerse Edu platform. The results of the environment's acceptance indicated that students perceived NetVerse Edu as a valuable and effective tool for teaching networks, highlighting its ability to facilitate familiarity with equipment and understanding of technical concepts. Regarding workload, the immersive environment proved challenging, requiring high cognitive effort but providing a productive experience without causing significant discomfort or frustration.

Keywords: Virtual Reality, Metaverse; Computer Networks; Distance Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Telas da ferramenta Visual3D	20
Figura 2: Avatar visualizando o Moodle Institucional em RV	22
Figura 3: Aplicação em Realidade Mista em estaleiro	22
Figura 4: SCIArt Museum no Metaverso Decentraland	24
Figura 5: Ambiente virtual para treinamento de segurança na indústria marítima	25
Figura 6: Fases da Revisão Sistemática da Literatura	27
Figura 7: Quantidade de trabalhos por ano, área e plataformas utilizadas	29
Figura 8: Quantidade de trabalhos por plataforma	37
Figura 9: Telas do ambiente para identificação dos usuários	60
Figura 10: Telas de Instruções e informações sobre o projeto na Sala de Boas-Vindas	61
Figura 11: Seleção do Avatar.....	61
Figura 12: Tela de acesso ao ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu	61
Figura 13: Tela de boas-vindas do ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu.....	62
Figura 14: Atividade relacionada ao Modelo OSI	62
Figura 15: Sala de Equipamentos	63
Figura 16: Quiz NetVerse Edu.....	63
Figura 17: Auditório virtual do NetVerse Edu	63
Figura 18: Atividade sobre Endereçamento IP	64
Figura 19: Laboratório de endereçamento IP do NetVerse Edu	64
Figura 20: Tela com informações sobre o switch	65
Figura 21: Tela de configuração do IP do switch	65
Figura 22: Tela de apresentação do cenário de rede	66
Figura 23: Utilidade Percebida	72
Figura 24: Facilidade de Uso Percebida	73
Figura 25: Intenção de Uso	74
Figura 26: Demanda Mental – NASA TLX.....	75
Figura 27: Demanda Física – NASA TLX	75
Figura 28: Demanda Temporal – NASA TLX	76
Figura 29: Esforço – NASA TLX.....	76
Figura 30: Desempenho – NASA TLX	77
Figura 31: Frustração – NASA TLX	78
Figura 32: Médias das Dimensões do NASA TLX	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: <i>String</i> de busca.....	28
Tabela 2: Quantidade de trabalhos encontrados, selecionados e incluídos	29
Tabela 3: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre a frequência de uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores	45
Tabela 4: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre as disciplinas que envolvem uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores.....	45
Tabela 5: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre os conteúdos abordados durante uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores.....	47
Tabela 6: Trecho das entrevistas com os professores sobre os recursos físicos utilizados durante uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores	48
Tabela 7: Trecho das entrevistas com os professores sobre os recursos de <i>softwares</i> utilizados para o ensino de Redes de Computadores e como essas ferramentas auxiliam o processo de ensino-aprendizagem	49
Tabela 8: Trecho das entrevistas com os professores sobre a adaptação das práticas laboratoriais no ensino de Redes de Computadores à distância	50
Tabela 9: Entrevistas com os professores sobre os Desafios e Dificuldades encontradas no uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores	51
Tabela 10: Trechos das entrevistas com os professores sobre as sugestões de enfrentamento aos desafios e dificuldades no uso dos laboratórios.....	52
Tabela 11: Respostas aos indicadores do questionário TAM	68
Tabela 12: Sugestões e comentários dos usuários em relação a plataforma NetVerse Edu	69
Tabela 13: Descrição das dimensões do NASA TLX.....	70
Tabela 14: Pontuação de interpretação do NASA TLX.....	71
Tabela 15: Resultados da Avaliação de Carga de Trabalho Percebida Utilizando o NASA TLX ..	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizado Baseado em Problemas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
UX	Design de Experiência de Usuário
FUP	Facilidade de Uso Percebida
HMD	Head Mounted Display
IU	Intenção de Uso
LARA	Laboratório de Realidade Virtual e Aumentada
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
TAM	Modelo de Aceitação de Tecnologia
NASA TLX	NASA Task Load Index
AO	Objetos de Aprendizagem
OpenSim	Open Simulator
PcD	Pessoas com Deficiência
PUN	Photon Unity Networking
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Mista
RV	Realidade Virtual
RSL	Revisões Sistemáticas da Literatura
SOL	SBC Online Library
Sloodle	Simulation Linked Object Oriented Dynamic Learning Environment
LMS	Sistema de Gestão da Aprendizagem
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UP	Utilidade Percebida
VMD	Visual Molecular Dynamics
XRIT	XR Interaction Toolkit

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Motivação e Definição do Problema.....	15
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo geral.....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Metodologia	17
1.3.1. Fase I - Revisão Sistemática da Literatura	17
1.3.2. Fase II – Entrevistas Semiestruturadas.....	17
1.3.3. Fase III – Modelagem e Codificação	17
1.3.4. Fase IV – Estudo de Viabilidade.....	18
1.4. Estrutura do Documento	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. Laboratórios de Aprendizagem.....	19
2.2. Realidade Aumentada	20
2.3. Realidade Virtual	20
2.4. Realidade Mista.....	22
2.5. Metaverso.....	23
2.6. Metaverso na Educação e Treinamento	24
3. INVESTIGAÇÃO SOBRE A EDUCAÇÃO EM AMBIENTES IMERSIVOS NO METAVERSO – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	26
3.1. Revisão Sistemática sobre o estado da arte da Educação em Ambientes Imersivos do Metaverso.....	26
3.2. Método de Pesquisa.....	27
3.3. Objetivos e Questões de Pesquisa.....	27
3.4. Estratégia de busca.....	28
3.5. Critérios de Inclusão, fontes de busca, extração e sintetização.....	28
3.1. Análise das questões de pesquisa.....	29
3.2. Trabalhos relacionados.....	39
3.3. Considerações sobre a revisão sistemática.....	41
4. MÉTODO – ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS, CODIFICAÇÃO ABERTA E CENÁRIOS DE INTERAÇÃO.....	43
4.1. Fonte dos dados: Entrevistas semiestruturadas, Planos de Ensino e <i>Benchmark</i> de simuladores de Redes de Computadores.....	43
4.2. Cenários de interação	53
5. PLATAFORMA NETVERSE EDU	56
5.1. Análise de ambientes virtuais identificados na RSL.....	56

5.2. Unity – Plataforma de desenvolvimento de Ambientes Virtuais Imersivos	57
5.3. XR Interaction Toolkit	58
5.4. Modelagem e construção do Ambiente Virtual	59
5.5. Multiusuários, Comunicação e Sincronização do Ambiente Virtual	59
5.6. Plataforma NetVerse Edu.....	60
6. ESTUDO DE VIABILIDADE.....	67
6.1. Análise da Aceitação da Tecnologia de acordo com o modelo TAM.....	67
6.2. Teste de Carga de Trabalho – NASA TLX.....	70
6.3. Análise dos Resultados	72
7. CONCLUSÕES, AMEAÇAS A VALIDADE E TRABALHOS FUTUROS.....	79
7.1. Ameaças à Validade.....	80
7.2. Propostas para Continuação da Pesquisa	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICES	88
APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS COM PROFESSORES DA ÁREA DE REDES DE COMPUTADORES	89
APÊNDICE B - SETUP DO TESTE DA PROVA DE CONCEITO DO NETVERSE EDU..	91

1. INTRODUÇÃO

Conforme afirmado por Wagner et al. (2013), as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) têm desempenhado um papel fundamental na educação, proporcionando aos discentes conteúdos disciplinares mais próximos do mundo real, por meio de *softwares* desenvolvidos para ambientes específicos e ferramentas que ampliam os modos de aprendizagem atuais. Embora as TICs sempre tenham sido utilizadas como uma possibilidade adicional aos métodos tradicionais de ensino, a publicação da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2022) reconhece que a tecnologia é parte integrante da vida cotidiana e deve ser explorada na construção do conhecimento, tornando-se um elemento indispensável.

Nesse sentido, entre as tecnologias que auxiliam o processo de ensino-aprendizagem, a Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV) e Realidade Mista (RM) têm ganhado destaque, juntamente com o conceito de Metaverso. Embora o Metaverso tenha sido introduzido pela primeira vez no romance de ficção científica "*Snow Crash*" de Neal Stephenson em 1992 (STEPHENSON, 1992), a ideia de um mundo onde o virtual e a realidade interagem e criam valor por meio de atividades sociais é atualmente discutida. Conforme descrito por López, Chaux e Alvarez (2022), o termo Metaverso combina o prefixo "meta", que significa virtual, com a palavra "verso", que se refere ao mundo ou universo. Esse conceito, conforme afirmam Ritterbusch e Teichmann (2023), envolve a convergência contínua entre a realidade física e virtual, em um ambiente online tridimensional, descentralizado, persistente e imersivo, onde os usuários interagem social e economicamente de forma criativa e colaborativa em espaços virtuais distintos do mundo físico real.

Conforme afirmado por Dwivedi et al. (2022), as organizações têm um grande potencial para adaptar seus modelos de negócios e capacidade operacional a fim de operar no Metaverso, abrangendo áreas como *marketing*, turismo, lazer, hospitalidade, interação cidadão-governo, saúde, educação e redes sociais. De acordo com os autores, existem diferenças entre o conceito atual do Metaverso e a ideia concebida anteriormente. O Metaverso atual é mais natural, oferece maior imersão e alto desempenho, em contraste com a versão anterior, que era baseada em computadores pessoais. No modelo atual, a utilização de dispositivos móveis é uma realidade, o que aumenta a acessibilidade e a continuidade dos ambientes. Park et al. (2022) afirmam que o uso de *blockchain* e moedas virtuais estreita a conexão econômica entre o Metaverso e o mundo real, enquanto eventos baseados em interação imersiva fortalecem a conexão social. Segundo os autores, o Metaverso atual está mais próximo e alinhado à geração Z, na qual as atividades online e offline coexistem de forma mais natural.

O distanciamento social imposto pela pandemia teve um impacto significativo no desenvolvimento desses ambientes imersivos. Em 2021, o Facebook (META, 2021) alterou seu nome e anunciou seus planos de investir em Metaversos, que são mundos virtuais imersivos que utilizam realidade virtual 3D para proporcionar interação e sensação de presença aos usuários, independentemente da distância física entre eles. Diversas empresas embarcaram na "corrida do

metaverso", o que resultou no surgimento de várias plataformas e ambientes virtuais. Essa diversidade de Mundos Virtuais (MV) tem beneficiado uma ampla gama de setores, oferecendo inúmeras possibilidades.

A educação é uma das áreas impactadas pelo Metaverso, como mencionado por Dwivedi et al. (2022). Pesquisas têm explorado a utilização desses ambientes imersivos no processo de ensino e aprendizagem, investigando seus efeitos e impactos pedagógicos. Tlili et al. (2022) realizaram uma revisão sistemática sobre o uso do Metaverso na educação e obtiveram dados relevantes para uma das questões de pesquisa, relacionada às áreas de formação dos estudos analisados. A distribuição dos trabalhos por área de formação revelou que, dos 77 estudos aceitos, 6% eram voltados para a manutenção de aeronaves, 6% para as ciências sociais, 9% para negócios, administração e direito, 15% abordaram a educação em geral, 11% estavam relacionados às artes e humanidades, e 53% diziam respeito às ciências naturais, matemática e engenharia.

Conforme apontado por Tibúrcio et al. (2022), as representações gráficas e as formas de interação nos MV oferecem experiências que visam se aproximar das relações humanas. Portanto, novas tecnologias têm o potencial de impulsionar a adoção mais ampla dessa realidade em vários setores, como educação, saúde, entretenimento e outros.

1.1. Motivação e Definição do Problema

De acordo com Tlili et al. (2022), a engenharia é uma das áreas de formação com o maior número de pesquisas relacionadas à educação e ao Metaverso. A simulação sempre desempenhou um papel importante no processo de ensino-aprendizagem dos cursos de engenharia e computação. No entanto, com o surgimento dos ambientes virtuais imersivos, as simulações podem proporcionar uma imersão mais significativa, bem como um alto nível de presença e experiência do usuário. Isso resulta em um senso compartilhado de realidade, conforme afirmado por Schaf, Paladini e Pereira (2012). Os autores também enfatizam que a educação em engenharias é fundamental para a maioria dos países, uma vez que profissionais qualificados são essenciais para o desenvolvimento de produtos e serviços inovadores. No entanto, em alguns casos, os laboratórios tradicionais enfrentam desafios como a manutenção de equipamentos didáticos caros e restrições de segurança.

Alsaleh et al. (2022) destacam que os laboratórios físicos tradicionais são dispendiosos em termos de construção e manutenção, além de exigirem uma quantidade significativa de espaço. À medida que o número de estudantes aumenta, gerenciar a infraestrutura e organizar os laboratórios físicos se torna extremamente desafiador, visto que essa infraestrutura não é escalável. Diante dessas dificuldades, os autores propõem uma abordagem híbrida que combine práticas pedagógicas em ambientes imersivos à distância e laboratórios físicos reais. Nesse sentido, Schimidt e Tarouco (2008) reafirmam que os cursos de engenharia e profissionalizantes nas áreas tecnológicas não podem prescindir das práticas pedagógicas em laboratórios. Portanto, ao oferecer esses cursos à distância, é essencial que tais atividades estejam presentes. Os autores apresentam o Metaverso como uma possível alternativa para a implementação de laboratórios virtuais de aprendizagem,

capazes de proporcionar uma experiência de aprendizagem semelhante à dos laboratórios presenciais.

A utilização de laboratórios de aprendizagem virtuais imersivos nos cursos à distância pode não apenas consolidar conceitos, mas também promover a colaboração e comunicação entre alunos e professores. Isso resulta em espaços de aprendizagem que oferecem suporte tanto à prática laboratorial quanto às atividades colaborativas. Conforme destacado por Amaral et al. (2011), os laboratórios virtuais estão cada vez mais consolidados entre os educadores devido ao espaço que proporcionam para que os estudantes experimentem diversas situações relevantes para o seu desenvolvimento. Os autores também salientam um fator crucial para a utilização dos laboratórios virtuais imersivos como complemento às atividades práticas: a dificuldade de acesso que muitos estudantes enfrentam para estarem fisicamente presentes na instituição, especialmente no caso dos alunos matriculados em cursos de Educação à Distância.

Com base nisso, esta dissertação busca responder as seguintes questões de pesquisa:

- É viável um laboratório virtual imersivo de Redes de Computadores como ambiente de aprendizagem à distância para operações físicas e lógicas de equipamentos de redes de computadores?
- Qual o nível de percepção de utilidade, facilidade de uso e aceitação de um ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores por parte dos estudantes?
- Como os estudantes percebem a carga de trabalho ao utilizar um ambiente virtual imersivo para o aprendizado de redes de computadores?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver e avaliar a viabilidade de um laboratório virtual imersivo como ferramenta de apoio ao ensino prático introdutório de Redes de Computadores.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar a utilização de ambientes virtuais na educação, destacando suas vantagens, desvantagens, benefícios, recursos tecnológicos utilizados, dificuldades e limitações;
- Definir o(s) conteúdo(s), práticas pedagógicas, atividades práticas e equipamentos utilizados em disciplinas de Redes de Computadores que será(ão) abordado(s) e experimentado(s) no ambiente virtual;
- Realizar *benchmark* sobre *engines*, ferramentas e plataformas para educação imersiva no metaverso;

1.3. Metodologia

Considerando o objetivo geral e as questões levantadas nesta pesquisa, adotou-se uma abordagem metodológica dividida em quatro fases distintas:

1.3.1. Fase I - Revisão Sistemática da Literatura

Nesta fase, foram conduzidas duas Revisões Sistemáticas da Literatura (RSL) e uma revisão *ad hoc*. A primeira RSL, de abrangência ampla, teve como objetivo principal examinar o estado da arte entre os anos de 2012 e 2022 sobre a utilização de ambientes virtuais imersivos na educação em diversas áreas de conhecimento. Além disso, buscou-se identificar as principais plataformas utilizadas, recursos tecnológicos empregados, limitações encontradas e dificuldades enfrentadas durante as pesquisas. Esta RSL proporcionou uma visão abrangente das áreas educacionais em que o Metaverso tem sido aplicado. Os resultados obtidos foram publicados na Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE) no artigo "Estado da Arte sobre a Educação em Ambientes Imersivos do Metaverso" (VIEIRA e MEDEIROS, 2023).

A segunda RSL foi conduzida de forma mais específica, com o objetivo de identificar e analisar estudos nos quais o Metaverso foi aplicado no processo de ensino e aprendizagem de disciplinas relacionadas à Computação. Os resultados desta revisão foram utilizados para a elaboração do artigo "Levantamento do Estado da Arte sobre a Educação em Computação no Metaverso" (VIEIRA e MEDEIROS, 2023), publicado na XXVI Conferência Internacional sobre Informática na Educação – TISE 2023. Além dessas revisões, foi realizada uma revisão *ad hoc* com o propósito de identificar trabalhos relacionados que abordassem a utilização de laboratórios virtuais de aprendizagem imersivos no processo de ensino-aprendizagem de redes de computadores.

1.3.2. Fase II – Entrevistas Semiestruturadas

Nesta etapa, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com professores da área de Redes de Computadores. Os dados coletados foram analisados por meio de codificação aberta para obter *insights* que ajudassem na especificação dos requisitos por meio de cenários de interação (requisitos de interação). Envolver os *stakeholders* no desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica, incluindo um ambiente virtual imersivo, é fundamental. Galvez et al. (2022) destacam a importância da participação dos principais atores nas diversas etapas do design e desenvolvimento das experiências imersivas. Portanto, o objetivo nesta fase foi compreender como os professores utilizam os equipamentos físicos em suas atividades didáticas, permitindo a implementação das funcionalidades do laboratório virtual imersivo de aprendizagem. Além disso, foi identificado o conteúdo a ser abordado inicialmente e definido o nível de interação entre os usuários e o ambiente a ser criado.

1.3.3. Fase III – Modelagem e Codificação

Nesta etapa, foi realizada a modelagem e codificação do ambiente no Metaverso, inicialmente composto por um auditório, uma sala temática com equipamentos de rede e um quiz sobre Redes de Computadores, além um laboratório de redes para atividades sobre endereçamento IP. Para a criação do ambiente virtual, priorizou-se a utilização de objetos 3D gratuitos disponíveis em plataformas como a *Sketchfab* (SKETCHFAB, 2023), que é uma plataforma de modelagem 3D para compartilhamento de conteúdo em 3D que podem ser utilizados em projetos de RA e RV. O desenvolvimento do ambiente e das interações foi baseado nas entrevistas semiestruturadas conduzidas na Fase II, na análise documental dos planos de ensino e no *benchmark* de simuladores de redes.

1.3.4. Fase IV – Estudo de Viabilidade

Nesta fase, foi realizada a validação da aceitação do ambiente virtual imersivo por meio do Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model* - TAM) junto a professores e discentes. O TAM, proposto por Davis (1989), visa ampliar a compreensão do processo de aceitação de sistemas de informação pelos usuários, fornecendo uma base teórica para a avaliação de sistemas de informação. Segundo esse modelo, as variáveis Utilidade Percebida (UP) e Facilidade de Uso Percebida (FUP) influenciam a aceitação e a Intenção de Uso (IU) da tecnologia. Foram aplicados questionários estruturados baseados no TAM, adaptados ao contexto do ambiente virtual imersivo no Metaverso, para avaliar a aceitação do ambiente por parte dos professores e discentes. A análise dos dados coletados permitiu avaliar o nível de aceitação da tecnologia pelos usuários e fornecer *insights* para possíveis melhorias. Adicionalmente, foi realizado um teste de carga de trabalho utilizando a metodologia *NASA Task Load Index* (NASA TLX). Conforme destacado por Richardson-Hatcher, Hazzard e Ramirez Yanes (2014), uma das preocupações dos discentes ao utilizar ambientes virtuais imersivos é o esforço cognitivo dispendido. Neste sentido, esta pesquisa também avaliou a percepção da carga de trabalho ao utilizar o ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores.

1.4. Estrutura do Documento

Os capítulos subsequentes estão organizados da seguinte forma: o Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica e as tecnologias relacionadas à pesquisa; o Capítulo 3 apresenta os resultados da RSL sobre o uso de ambientes virtuais imersivos na educação e no ensino de Computação, além dos trabalhos relacionados; o Capítulo 4 descreve o método de obtenção dos dados para o desenvolvimento do NetVerse Edu; o Capítulo 5 detalha as tecnologias utilizadas e a demonstração da ferramenta; o Capítulo 6 discute o Estudo de Viabilidade e os principais resultados; e o Capítulo 7 traz as considerações finais e propostas de continuidade do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos relevantes para contextualizar a abordagem do problema de pesquisa e a proposta de solução. Serão realizadas discussões sobre as aplicações no Metaverso e os contextos nos quais podem ser inseridas na educação, com o objetivo de fornecer um embasamento teórico consistente para compreender a importância e as possibilidades de utilização do Metaverso como ambiente educacional.

2.1. Laboratórios de Aprendizagem

Amaral et al. (2011) propõem uma classificação dos laboratórios de aprendizagem em três categorias: presenciais, remotos e virtuais. Os laboratórios presenciais são espaços físicos nas instituições de ensino onde os estudantes podem acessar os recursos necessários para conduzir atividades e experimentos, geralmente supervisionados por um docente e com colaboração entre colegas. Devido a restrições financeiras, os recursos nesses ambientes são frequentemente compartilhados entre os estudantes. Por outro lado, os laboratórios remotos permitem que os alunos realizem experimentos à distância, operando instrumentos reais por meio de interfaces. Essa abordagem é especialmente vantajosa para estudantes sem acesso direto a laboratórios físicos, exigindo medidas de autenticação para garantir o acesso e a execução dos experimentos.

Por fim, os laboratórios virtuais de aprendizagem permitem que os estudantes interajam com representações virtuais que reproduzem ambientes laboratoriais reais, baseados em simulações e representações computacionais da realidade. Conforme afirma Jacaúna, Müller e Menezes (2022), os laboratórios convencionais apresentam altos custos e riscos de acidentes para os alunos. Uma alternativa viável é o uso de laboratórios virtuais, que permitem a realização de experiências controladas com menor custo de aquisição e atualização, além de reduzir significativamente os riscos para os alunos. Esses laboratórios, segundo Schimidt e Tarouco (2008), promovem a colaboração e a comunicação entre estudantes e professores, são concebidos para proporcionar experiências de aprendizagem práticas e realistas em formato virtual, simulando cenários e experimentos do mundo real, sem a necessidade de equipamentos físicos ou espaços tradicionais de laboratório.

É importante observar que os laboratórios virtuais, imersivos ou não, embora sejam a única opção em cursos à distância, não substituem completamente os laboratórios físicos e as experiências práticas; eles são complementares e podem ser utilizados como uma ferramenta adicional no processo de aprendizagem. Os laboratórios virtuais podem preparar os alunos, fornecendo uma base teórica e prática antes de realizar experimentos reais, ou permitindo que eles pratiquem certas habilidades antes de se envolverem em experiências mais avançadas. Em resumo, os laboratórios virtuais imersivos de aprendizagem são recursos que podem trazer benefícios significativos para a educação, proporcionando experiências práticas, interativas e realistas, e permitindo que os alunos explorem conceitos e habilidades de forma segura e flexível.

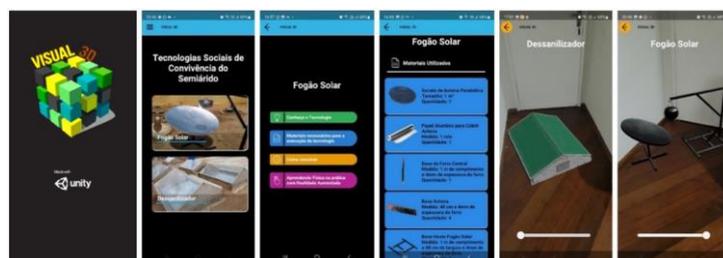
2.2. Realidade Aumentada

Kaviyarah e Uma (2022) afirmam que a RA combina objetos reais e virtuais em um ambiente físico, usando dispositivos como smartphones, tablets ou óculos especiais. Essa tecnologia cria uma experiência imersiva e interativa ao sobrepor informações visuais ao ambiente real. Amplamente explorada em jogos, entretenimento, educação, medicina, arquitetura, indústria e treinamento, a RA é uma ferramenta poderosa na educação, permitindo a visualização de objetos em 3D, simulações interativas e a sobreposição de informações adicionais em livros didáticos, tornando a aprendizagem mais envolvente e facilitando a compreensão de conceitos complexos.

O uso da RA na educação é uma abordagem promissora e inovadora para melhorar a experiência de aprendizagem, transformando a sala de aula em um ambiente dinâmico e colaborativo. Os alunos interagem com objetos virtuais, participam de simulações realistas e realizam experimentos práticos em um ambiente seguro, o que promove uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e desperta um interesse significativo. De acordo com Silva e Medeiros (2022), que desenvolveram uma ferramenta de RA para aprender sobre tecnologias sociais no Semiárido, essa tecnologia tem um grande potencial para envolver os alunos, criando oportunidades para explorar e interagir de maneira enriquecedora. Além disso, ajuda os professores a demonstrarem assuntos complexos, tornando-os mais acessíveis. A RA permite que os alunos realizem experiências virtuais semelhantes às do laboratório, ampliando as oportunidades de aprendizado, especialmente para aqueles sem acesso a equipamentos físicos. A Figura 1 mostra o aplicativo de Realidade Aumentada desenvolvido pelos autores.

Outro exemplo de aplicação baseada em RA é o tradutor da Google, que utiliza a câmera de dispositivos móveis para reconhecer e traduzir textos em tempo real. Além disso, a RA também está presente nos filtros utilizados em redes sociais, como *Instagram* e *Snapchat*, permitindo que os usuários sobreponham efeitos visuais, como máscaras ou filtros, em suas fotos e vídeos. Esses exemplos ilustram como a RA está transformando a forma como interagimos com o mundo digital, expandindo significativamente as possibilidades de comunicação e expressão visual dos usuários.

Figura 1: Telas da ferramenta Visual3D



2.3. Realidade Virtual

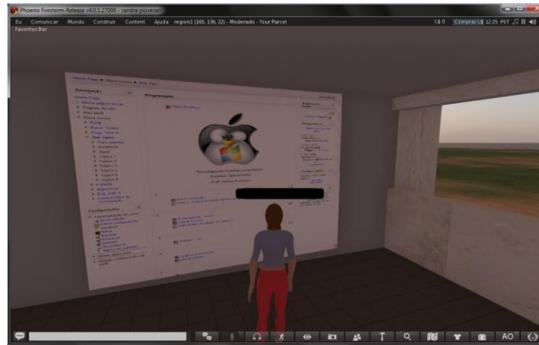
Ao contrário da RA, a RV, conforme mencionado por Ardiny e Khanmirza (2018), ocorre dentro de um ambiente virtual simulado em que os participantes se tornam imersos em um MV. Os usuários podem interagir com objetos gerados por computador, e há a possibilidade de utilizar

dispositivos de RV para uma experiência mais imersiva e aprimorada. A utilização de óculos de RV é uma forma comum de acessar e imergir em ambientes virtuais. Esses dispositivos cobrem completamente o campo de visão do usuário, exibindo imagens em 3D de forma estereoscópica. Com sensores de movimento embutidos, os óculos rastreiam os movimentos da cabeça, permitindo uma experiência imersiva em que o usuário pode explorar e interagir com objetos digitais em 3D. Os óculos de RV podem ser utilizados em áreas como jogos, simulações, treinamento, educação, design, medicina e entretenimento. No entanto, desafios como custo, compatibilidade de *hardware*, desconforto e espaço físico necessário ainda precisam ser superados para melhorar a acessibilidade e a experiência do usuário.

A RV oferece benefícios significativos em termos de experiência do usuário e potencial de inovação, permitindo a criação de simulações realistas e contextualmente relevantes aplicáveis em cenários de treinamento, educação e pesquisa. Conforme afirmam Makransky e Klingenberg (2022), a RV tem o potencial de superar limitações geográficas e temporais, permitindo o acesso a ambientes virtuais a qualquer momento e lugar, o que é particularmente relevante para o ensino à distância e a colaboração remota. Na educação, a RV abre uma ampla gama de possibilidades, permitindo que os alunos explorem lugares e situações inacessíveis na realidade, enriquecendo o processo de ensino e aprendizagem com experiências imersivas e envolventes.

No contexto educacional, a RV também se destaca por garantir a segurança dos aprendizes. Simulações imersivas possibilitam que estudantes aprendam a manipular máquinas, energia e produtos químicos, por exemplo, em um ambiente seguro e controlado, reduzindo os riscos associados ao treinamento em situações reais. Siyaev e Jo (2021), por exemplo, desenvolveram um ambiente virtual para treinamento em manutenção de aeronaves *Boeing 737*, utilizando manuais legados, modelos 3D e simuladores virtuais. Esse ambiente virtual, que pode ser facilmente atualizado, demonstra como a RV se apresenta como uma solução de baixo custo e escalável, substituindo a necessidade de aeronaves reais por modelos virtuais. Essa abordagem não só aumenta a segurança dos aprendizes, mas também proporciona maior flexibilidade no treinamento, permitindo a repetição de cenários complexos.

Segundo Wagner et al. (2013), a utilização de RV promove um novo paradigma educacional, onde os alunos interagem entre si ao manipular, estudar e explorar o conteúdo disponibilizado no ambiente virtual. A figura 2 demonstra o ambiente virtual desenvolvido pelos autores como ferramenta de apoio aos discentes de cursos tecnológicos e profissionalizantes ministrados a distância por meio do programa PRONATEC e Sistema S.

Figura 2: Avatar visualizando o Moodle Institucional em RV

2.4. Realidade Mista

Semelhante à RA, a RM também incorpora objetos virtuais em ambientes reais. No entanto, de acordo com Guo et al. (2022), a diferença mais significativa entre essas tecnologias reside na interação entre os objetos virtuais e o ambiente real. Essa distinção possibilita que os objetos virtuais simulem e correspondam mais precisamente às condições físicas do ambiente real, permitindo que os usuários, por meio de dispositivos de visualização compatíveis, interajam diretamente com os objetos virtuais usando controles ou suas próprias mãos.

A aplicação da RM na educação pode proporcionar uma experiência imersiva e interativa, onde os estudantes interagem com objetos virtuais tridimensionais sobrepostos ao ambiente real. Isso oferece uma compreensão mais profunda de conceitos abstratos, tornando a aprendizagem mais envolvente e significativa. Com a manipulação de objetos em 3D, os discentes podem explorar modelos virtuais detalhados de órgãos do corpo humano, moléculas, fenômenos físicos e muito mais, facilitando a compreensão de estruturas complexas e processos abstratos. Segundo Fernández-Caramés e Fraga-Lamas (2024), o ambiente virtual pode ser aprimorado para fornecer interfaces de usuário que não exigem o uso de computador ou dispositivos de entrada como mouse ou teclado. A Figura 3 mostra dois usuários executando uma aplicação em um estaleiro de uma grande construtora de navios, testando o sistema em sua oficina de turbinas. A aplicação, descrita por Vidal-Balea et al. (2020), permite o compartilhamento de conteúdo virtual para treinamento e orientação de operadores durante a montagem de uma embreagem hidráulica de uma turbina.

Figura 3: Aplicação em Realidade Mista em estaleiro

A RM possibilita simulações interativas e práticas virtuais em diversas áreas, como ciências, engenharia e medicina. Os estudantes podem realizar experimentos virtuais, manipular objetos virtuais e simular situações do mundo real em um ambiente seguro e controlado. Isso é especialmente relevante para áreas que envolvem riscos ou são de difícil acesso, permitindo que os alunos adquiram habilidades práticas e aprofundem seu conhecimento sem estarem expostos a perigos reais. A RM também pode proporcionar benefícios para a colaboração entre os alunos. Através de ambientes virtuais compartilhados, os estudantes podem trabalhar em equipe, resolver problemas em conjunto e realizar projetos colaborativos, mesmo que estejam fisicamente separados. Essa interação social pode fortalecer a aprendizagem colaborativa, promover a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de habilidades de trabalho em equipe.

No entanto, assim como outras tecnologias imersivas, a RM também apresenta desafios. A acessibilidade aos dispositivos de RM pode ser um obstáculo para sua implementação generalizada na educação. Além disso, a criação de conteúdo educacional em RM requer expertise técnica, recursos adicionais e familiaridade com a tecnologia, conforme afirmado por Nunes et al. (2017).

2.5. Metaverso

De acordo com Park e Kim (2022), o Metaverso se diferencia da RA e da RV em três aspectos principais. Primeiro, enquanto os estudos relacionados à RV se concentram em abordagens físicas e renderização, o Metaverso possui uma forte relação com serviços, com conteúdo mais sustentáveis e um significado social mais amplo. Segundo, o Metaverso não necessariamente depende da tecnologia de RA e RV simultaneamente para sua implementação; no entanto, essas tecnologias são usualmente utilizadas para proporcionar maior imersão. Terceiro, é um ambiente virtual persistente. Conforme afirmam Ritterbusch e Teichmann (2023), o Metaverso descreve um ambiente online tridimensional, descentralizado, persistente e imersivo, onde os usuários, representados por avatares, interagem social e economicamente de forma criativa e colaborativa em espaços virtuais separados do mundo físico real.

A persistência, segundo Park e Kim (2022), é a terceira característica que diferencia o Metaverso das tecnologias de RV e RA, permitindo que o MV continue existindo e evoluindo mesmo quando os usuários não estão presentes. Essa persistência possibilita a formação de comunidades virtuais duradouras e o desenvolvimento de economias virtuais. No Metaverso, as pessoas podem criar avatares, que são representações virtuais de si mesmas, e explorar ambientes digitais tridimensionais. Esses ambientes podem ser criados de forma colaborativa pelos usuários ou por desenvolvedores, oferecendo uma variedade de experiências e atividades. Os usuários podem se movimentar, interagir com objetos virtuais, participar de eventos, socializar e até mesmo realizar transações comerciais dentro desse ambiente virtual. A figura 4 ilustra um dos ambientes virtuais no Metaverso *Decentraland*¹, atualmente, um dos principais universos 3D disponíveis.

¹decentraland.org

Figura 4: SCIArt Museum no Metaverso Decentraland

2.6. Metaverso na Educação e Treinamento

Na educação e no treinamento, o Metaverso oferece oportunidades para criar ambientes virtuais de aprendizagem, nos quais os estudantes podem explorar e interagir com objetos e cenários virtuais, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico e envolvente. É possível simular experimentos científicos, visitar locais históricos, explorar fenômenos naturais e participar de atividades práticas, tudo de forma colaborativa, segura e controlada. Essa abordagem imersiva pode proporcionar aos discentes a oportunidade de experimentar, praticar e aplicar conhecimentos de maneira prática, além de promover o pensamento crítico, a resolução de problemas e a colaboração entre pares. O Metaverso também pode ser usado para oferecer experiências de aprendizagem personalizadas, adaptando o conteúdo e as atividades de acordo com as necessidades e interesses dos alunos.

De acordo com Kye et al. (2021), ao aproveitar ativamente as características do Metaverso, é possível projetar atividades que expandam a liberdade e a experiência dos alunos em uma extensão infinita, permitindo uma aprendizagem autodirigida que lhes permita explorar suas próprias questões com base em sua autonomia. Os autores afirmam ainda que o Metaverso torna possível projetar uma nova experiência que transcende tempo e espaço, com a vantagem de permitir a interação em níveis semelhantes aos da educação presencial.

Além disso, o Metaverso possibilita o treinamento remoto e a colaboração entre equipes geograficamente dispersas. Isso facilita o acesso ao treinamento, reduz custos e otimiza o tempo, pois não é necessário deslocar-se fisicamente para um local específico. No entanto, é importante considerar os desafios e limitações do uso do Metaverso na educação e no treinamento. É necessária uma infraestrutura tecnológica adequada, como dispositivos de realidade virtual, conectividade estável e plataformas virtuais robustas. Portanto, a integração do Metaverso no currículo e na metodologia de ensino requer um planejamento cuidadoso para garantir a efetividade da experiência de aprendizagem.

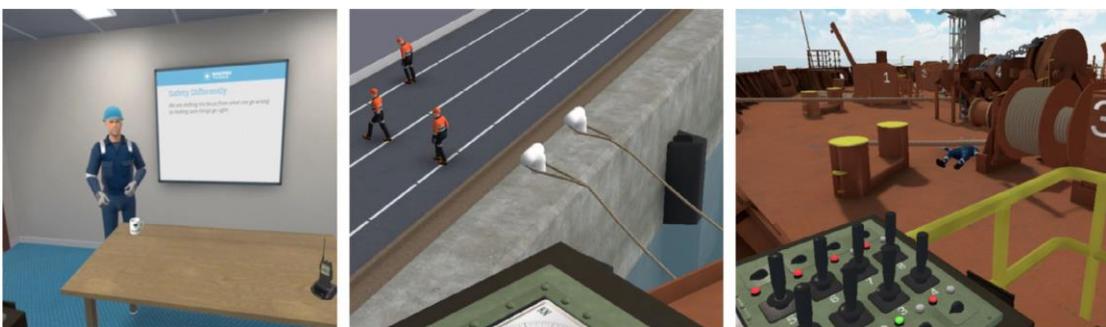
Neste sentido, estudos como o de Lee e Hwang (2022) examinaram a capacidade dos professores em criar ambientes virtuais imersivos de aprendizagem. Segundo os autores, a Coreia tem avançado rapidamente no uso de livros didáticos digitais, que oferecem recursos multimídia, como vídeos, animações e até mesmo conteúdo em RV e RA, tornando o aprendizado mais atrativo

para os alunos. No entanto, os livros digitais ainda se limitam à interação bidimensional entre o conteúdo digital e a tela, não oferecendo uma experiência diferente da dos livros em papel.

Por isso, os autores propõem a adaptação de conteúdo de um livro digital de inglês para um ambiente de aprendizagem imersivo. O estudo envolveu 51 participantes de duas universidades, todos estudantes de Língua e Cultura Inglesa e futuros professores. Eles foram incentivados a identificar limitações dos livros digitais em termos de interatividade e imersão, e a criar conteúdo complementares em RV, transformando o conteúdo 2D do livro digital em experiências de aprendizagem 3D. Para criar o ambiente virtual de aprendizagem, foram utilizadas as plataformas *CoSpaces Edu* e *Frame VR*. Apesar das limitações, como o número reduzido de participantes e restrições técnicas, os resultados da pesquisa mostraram um impacto pedagógico significativo no processo de ensino-aprendizagem, aprimorado pela tecnologia do Metaverso.

Makransky e Klingenberg (2022) compararam simulações imersivas com métodos convencionais no treinamento de segurança marítima. Eles criaram um ambiente virtual que simulava a atracação de embarcações para avaliar riscos. Em um estudo piloto com 86 alunos de um centro de educação marítima na Dinamarca, foram exploradas quatro abordagens: treinamento individual com manual, apresentações de slides com discussão, treinamento em RV sem assistência e com auxílio de um professor. O estudo principal envolveu 28 participantes experientes em atracação, utilizando duas abordagens: apresentações de slides por um profissional e treinamento em RV com o *Oculus Quest*. Os resultados dos questionários mostraram que a RV aumentou o prazer, motivação, percepção de aprendizado e mudança comportamental, além de reduzir a carga cognitiva em comparação com o treinamento convencional. A autoeficácia não variou significativamente entre os grupos, mas os profissionais apresentaram escores de autoeficácia mais altos do que os alunos, sugerindo que a experiência profissional influencia o treinamento em RV. As simulações em RV proporcionam aprendizado seguro e econômico, permitindo treinamento padronizado em diversas localizações geográficas, acessível a qualquer pessoa, a qualquer hora. A Figura 5 ilustra cenários do ambiente desenvolvido pelos autores.

Figura 5: Ambiente virtual para treinamento de segurança na indústria marítima



3. INVESTIGAÇÃO SOBRE A EDUCAÇÃO EM AMBIENTES IMERSIVOS NO METAVERSO – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a análise dos 32 estudos incluídos na RSL que utilizaram o Metaverso no processo de ensino e aprendizagem em diferentes áreas de conhecimento, com o propósito de entender os seus objetivos, as plataformas e os recursos tecnológicos envolvidos, bem como as dificuldades e limitações encontradas. Objetivou-se ainda a identificação de lacunas de pesquisa e de novas práticas pedagógicas em ambientes do Metaverso.

3.1. Revisão Sistemática sobre o estado da arte da Educação em Ambientes Imersivos do Metaverso

Como parte da metodologia desta pesquisa, realizou-se uma RSL que abrangeu o período de 2012 a 2022, buscando estudos empíricos relacionados à utilização de ambientes virtuais imersivos na educação. De acordo com o protocolo definido, foram encontrados 516 artigos científicos, dos quais 32 se enquadraram no contexto de aplicação do Metaverso na educação e satisfizeram os critérios de inclusão da RSL.

Durante a RSL, foram identificados estudos que abordaram mapeamentos ou revisões sistemáticas da literatura sobre a utilização do Metaverso na educação. Tlili et al. (2022) realizaram uma revisão sistemática sobre o uso do Metaverso na educação e, como parte de sua pesquisa, analisaram as áreas de formação dos estudos encontrados. A distribuição dos trabalhos por área de formação mostrou que dos 77 artigos incluídos, 6% abordavam a manutenção de aeronaves, 6% as ciências sociais, 9% negócios, administração e direito, 15% a educação em geral, 11% as artes e humanidades, enquanto 53% eram relacionados a ciências naturais, matemática e engenharia.

Durante a realização da RSL, foram encontradas RSLs que exploraram o uso do Metaverso em áreas relacionadas à educação em saúde e enfermagem. Garavand e Aslani (2022) conduziram uma revisão sistemática sobre o Metaverso e o seu impacto na área da saúde, enquanto Wu e Ho (2022) conduziram uma RSL sobre o Metaverso para educação em medicina de emergência, com foco em quatro domínios: educação, medicina pré-hospitalar e de desastres, aplicação de diagnóstico e tratamento e assuntos administrativos. Mackenzie et al. (2022), conduziram uma revisão com foco no uso do Metaverso em cirurgias de emergências, visando identificar novas interfaces que poderiam melhorar o treinamento de cirurgiões. Petrigna e Musumeci (2022) investigaram a conexão do Metaverso com prevenção, educação e treinamento em saúde. Por fim, Zhao et al. (2022) realizaram uma revisão com o objetivo de obter insights sobre a aplicação da tecnologia de RV no estudo da enfermagem. Cada uma dessas revisões apresentou resultados relevantes para a compreensão do uso do Metaverso em áreas da saúde e enfermagem.

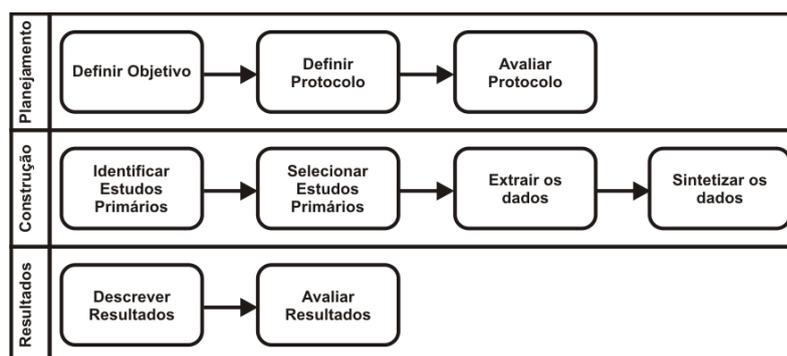
Dentre as RSLs identificadas, todas do ano de 2022, destaca-se o alto grau de interesse que a temática do Metaverso tem recebido desde que as *big techs* e *startups* ampliaram a discussão e

desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* para o Metaverso. Cinco dos seis trabalhos revisaram sistematicamente a literatura com foco em trabalhos que envolviam o uso do Metaverso para a educação na área de saúde. Mesmo o trabalho de Tlili et al. (2022), que conduziu uma RSL sobre o Metaverso na Educação, o tema foi tratado de forma mais ampla, incluindo todos os trabalhos que de alguma forma investigaram a relação do Metaverso com a Educação, o que diferiu desta RSL, cujo principal critério de inclusão era que o trabalho abordasse o processo de ensino e aprendizagem no Metaverso, além de um ano a mais no alcance dos artigos analisados.

3.2. Método de Pesquisa

Para esta pesquisa, adotou-se a metodologia RSL. Conforme Kitchenham e Charters (2007), a RSL possibilita a identificação de lacunas nas pesquisas atuais sobre um determinado tema e sugere áreas adicionais a serem investigadas. Para a realização desta pesquisa, uma equipe composta por três integrantes executou três fases distintas: Planejamento, Construção e Resultados. As etapas correspondentes a cada fase podem ser visualizadas na Figura 6.

Figura 6: Fases da Revisão Sistemática da Literatura



No planejamento, foram estabelecidos o objetivo e as questões de pesquisa, bem como definido o protocolo para a execução da RSL. Na fase de construção, a equipe realizou a seleção dos estudos e analisou as questões de pesquisa, além de sintetizar os dados coletados. Para isso, foi criada uma *string* de busca que foi utilizada em engines de busca de artigos científicos relevantes para a área, seguindo critérios de inclusão previamente estabelecidos. Na última fase, os resultados foram tabulados e classificados de acordo com a frequência de incidência das questões em cada artigo selecionado.

3.3. Objetivos e Questões de Pesquisa

O objetivo central desta RSL consistiu em levantar o estado da arte dos últimos dez anos acerca da utilização do Metaverso na educação em diferentes áreas do conhecimento, bem como identificar as principais plataformas utilizadas, recursos tecnológicos, limitações e dificuldades encontradas. Para alcançar esse objetivo, foram elaboradas as questões de pesquisa a serem respondidas a partir da análise dos trabalhos incluídos na RSL: (Q1) Quais são as áreas de conhecimento que foram investigadas nos estudos sobre o processo de ensino e aprendizagem em ambientes do Metaverso? (Q2) Quais os principais objetivos dos trabalhos? (Q3) Quais recursos

tecnológicos de *software* e *hardware* do Metaverso foram utilizados? (Q4) Quais as limitações e dificuldades encontradas pelos estudos primários?

3.4. Estratégia de busca

Na elaboração da *string* de busca, foram identificados os constructos relevantes que deveriam estar presentes nos trabalhos pesquisados. Em seguida, foram identificados os termos alternativos dessas palavras-chave, visando aumentar a abrangência da busca e garantir a inclusão dos trabalhos relevantes para a temática estudada.

Tabela 1: String de busca

<p>((<i>"education"</i> OR <i>"learning"</i> OR <i>"teaching"</i>) AND (<i>"metaverse"</i>))</p>
--

3.5. Critérios de Inclusão, fontes de busca, extração e sintetização

Para inclusão de um trabalho na pesquisa, foi determinada sua relevância em relação às questões de pesquisa considerando os critérios de inclusão, a saber: (i) artigos completos aos quais tivemos acesso pelo portal de periódicos da CAPES; (ii) artigos não duplicados; (iii) Artigos publicados entre 2012 e 2022; (iv) artigos em inglês ou português; (v) artigos que apresentam a plataforma de *hardware* ou *software* utilizada ou desenvolvida; (vii) artigos que apresentam como o Metaverso foi aplicado no processo de ensino-aprendizagem.

A coleta dos trabalhos foi realizada em outubro de 2022 em duas etapas: a busca nas fontes de dados digitais, entre os anos de 2012 e 2022, e a seleção dos trabalhos de acordo com os critérios de inclusão. A *string* de busca foi traduzida para a língua portuguesa a fim de conduzir as pesquisas na *SBC Online Library* (SOL). Foram extraídos 516 estudos a partir da *string* de busca, os quais foram indexados na plataforma *Parsifal*¹ e analisados para verificar sua relevância em relação às questões de pesquisa. Para identificar os 32 trabalhos relacionados à utilização do Metaverso no processo de ensino-aprendizagem, os pesquisadores leram o resumo, o título e as palavras-chaves dos estudos. Quando necessário, os artigos foram lidos na íntegra para decidir sobre sua inclusão ou não.

As bibliotecas digitais utilizadas na busca automatizada, resultando em um total de 516 artigos, foram *ACM Digital Library* (103), *IEEE Xplore Digital Library* (77), *SBC OpenLib* (3), *Science Direct* (21), *Scopus* (197) e *Wiley* (115). É importante ressaltar que os motores de busca disponíveis nessas bibliotecas digitais apresentam opções de parametrização que permitem o filtro mais detalhado dos trabalhos pesquisados. Na etapa de Extração e Sintetização de dados, os pesquisadores discutiram os resultados obtidos em reuniões. A lista completa de artigos incluídos pode ser encontrada no seguinte link: <https://tinyurl.com/buscaartigos>

Tabela 2: Quantidade de trabalhos encontrados, selecionados e incluídos

Fontes	Artigos Encontrados	Incluídos (Metaverso no Processo de Ensino e Aprendizagem)
ACM	103	6
IEEE	77	10
SBC Online Library	3	0
Science Direct	21	0
Scopus	197	12
Wiley	115	4

3.1. Análise das questões de pesquisa

Esta seção tem como objetivo apresentar o mapeamento das evidências encontradas na RSL como resposta às quatro questões de pesquisa propostas.

(Q1) Quais são as áreas de conhecimento que foram investigadas nos estudos sobre o processo de ensino e aprendizagem em ambientes do Metaverso?

Considerando as áreas de aplicação do Metaverso na educação, dos 32 artigos selecionados, verificou-se que 21,9% dos estudos foram aplicados ao ensino de disciplinas de formação geral básica; 28,1% ao ensino de computação; 9,4% relacionados ao ensino sobre meio ambiente; 28,1% ao ensino de engenharia; 3,1% envolveram o ensino de engenharia e computação; 3,1% ao ensino de design e arquitetura; 6,3% relacionados à medicina. A Figura 7 apresenta a quantidade de trabalhos por ano e por áreas e as respectivas plataformas utilizadas para criar os ambientes virtuais imersivos. É importante destacar que a maioria dos trabalhos se concentram no ano de 2022.

Figura 7: Quantidade de trabalhos por ano, área e plataformas utilizadas



(Q2) Quais os principais objetivos dos trabalhos analisados?

A análise dessa questão demonstrou que, dentre os trinta e dois trabalhos analisados, vinte e oito exploraram a criação de ambientes virtuais para serem utilizados como ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem.

No estudo de Pigultong (2022), foram avaliados os efeitos cognitivos do uso de um Metaverso por alunos de graduação com acesso desigual aos recursos de aprendizagem. Um ambiente virtual foi integrado ao Sistema de Gestão de Aprendizagem (*Learning Management System* - LMS) Moodle, e 105 alunos participaram do estudo, divididos em três grupos com diferentes níveis de acesso à internet: 32 alunos com *wifi*, 30 alunos com internet móvel 4G de alta velocidade e 43 alunos com internet móvel mais lenta. O Metaverso foi criado na plataforma *Spatial* e disponibilizado no Moodle. Após a realização de pré e pós-testes, os resultados revelaram diferenças significativas na pontuação cognitiva entre os grupos, com a maior diferença observada no grupo com acesso à internet móvel mais lenta.

Pope et al. (2022) buscaram avaliar a sensação de presença de alunos do ensino fundamental em um ambiente virtual baseado em vídeo 3D em tempo real, sem o uso de elementos puramente virtuais. Embora o conceito deste trabalho se diferencie um pouco do conceito atual do Metaverso, o objetivo da tecnologia proposta foi reproduzir uma representação holográfica de realidade mista ao vivo dos alunos e professores envolvidos nas atividades. Para alcançar este objetivo, foram utilizadas câmeras de vídeo, computadores e *Head Mounted Display* (HMD) *Microsoft Hololens 2*. O estudo piloto foi realizado com a participação de 14 alunos do ensino fundamental e seus professores, os quais relataram sentimentos de surpresa e empolgação, afirmando que a tecnologia permitiu a participação ativa nas atividades da aula, e que a sensação de proximidade física no ambiente imersivo é semelhante à interação face a face com o professor.

Lee, Sung e Kim (2022) compararam duas implementações de ambientes virtuais educacionais para aprimorar a experiência dos usuários: um estúdio de realidade estendida baseado em *hardware* e um ambiente virtual baseado em *software* utilizando a plataforma *Zepeto*. O objetivo foi aprimorar o processo de ensino-aprendizagem em Engenharia Industrial em um ambiente virtual compartilhado. Os autores concluíram que o uso do Metaverso baseado em *software* pode aumentar a participação ativa na aula, a imersão e interação dos alunos, além de estender o aprendizado tradicional, oferecendo experiências que de outra forma seriam difíceis de proporcionar, e que o estúdio baseado em *hardware* envolve um alto custo.

Sebastien, Sebastien e Conruyt (2018) propuseram um ambiente de RV chamado *Immex*, que simula o campus virtual da *University de La Reunion*. Utilizando a plataforma *Unity*, o objetivo foi criar ambientes imersivos para proporcionar ao usuário uma experiência em primeira pessoa, como se estivesse no campus. Para avaliar o Metaverso, foi aplicado um questionário a estudantes de mestrado em Ciência da Computação e Ciências, envolvidos em uma atividade pedagógica de simulação e manuseio da *Unity*. A pesquisa avaliou a facilidade de manuseio em ambientes imersivos 3D e o desejo de uso da plataforma.

Jeong, Choi e Ryu (2022) propuseram a criação de um campus virtual compartilhado entre 15 universidades consorciadas no Metaverso para superar a distância física e otimizar recursos humanos e materiais. Utilizando a plataforma *VirBela*, o estudo propôs um método de conexão com o LMS das instituições participantes. O campus virtual incluiu espaços como salão de exposições e laboratórios de informática.

Jovanović and Milosavljević (2022) desenvolveram uma arquitetura e design de *software* para uma plataforma de Metaverso chamada *VoRtex*, projetada para oferecer suporte a atividades de aprendizado colaborativo em ambiente virtual. Os autores compararam a plataforma desenvolvida com outras duas plataformas já reconhecidas e com recursos semelhantes ao ambiente desenvolvido, *Vircadia* e *Sansar*. Além disso, avaliaram a experiência do usuário na plataforma *VoRtex* durante aulas sobre tecnologias RV e modelagem 3D. O ambiente foi desenvolvido com a plataforma *Unity*, o espaço criado continha mesa, cadeiras, quadro-branco, projetores, painel de vídeo e apresentação, além de um agente virtual que auxilia o professor durante as aulas.

Deveaux e Bailenson (2022) apresentaram um estudo sobre as lições aprendidas com 263 alunos do curso *Virtual People* de *Stanford*, que reuniu estudantes de toda a Universidade para aprender sobre as contribuições da RV em várias disciplinas. Utilizando as plataformas *AltSpace VR* e *ENGAGE*, e cada estudante com um HMD *Oculus Quest 2*, o curso foi ministrado quase inteiramente em RV devido à pandemia. O estudo concluiu que a RV pode ser uma ferramenta poderosa no ensino universitário, permitindo que os alunos tenham acesso a uma ampla variedade de recursos e experiências educacionais. Hedrick et al. (2022) desenvolveram um curso de Design de Experiência de Usuário (*User Experience - UX*) em uma sala de aula virtual usando a plataforma *Horizon Workrooms* do Meta. Os alunos usaram o *Oculus Quest 2* para trabalhar em equipe em diferentes áreas do UX, e a eficácia do curso foi avaliada em termos de habilidades técnicas adquiridas e satisfação dos alunos com a plataforma. O estudo concluiu que o uso da sala de aula virtual em RV resultou em maior engajamento e interação dos alunos, além de melhorias nas habilidades técnicas e satisfação com a plataforma.

Doma e Şener (2022) desenvolveram uma ferramenta de projeto arquitetônico em RV, a *Dreamscape Bricks VR*, que permite que designers traduzam suas ideias em produtos incorporados virtualmente, sem limitações. O ambiente virtual foi criado na plataforma *Unreal Engine 4* e testado com 12 participantes usando o *headset Oculus Rift CV1 VR*. A ferramenta, que simula os elementos e regras de conexão dos tijolos físicos da LEGO, foi avaliada quanto à usabilidade, presença do usuário e conforto, com resultados positivos. A *Dreamscape Bricks VR* tem como objetivo investigar o potencial da RV para o design colaborativo em arquitetura. Os autores concluem que a RV tem o potencial de transformar a forma como os arquitetos projetam, constroem e vivenciam a arquitetura, tornando-se parte integrante da educação e treinamento de arquitetos.

Lee e Hwang (2022) adaptaram conteúdo de um livro didático digital de inglês para um ambiente de aprendizagem imersivo em 3D, usando as plataformas *CoSpace Edu* e *Frame VR*. O estudo incluiu 51 participantes, que criaram conteúdos complementares em RV. Os autores

concluíram que a adaptação de conteúdos digitais em ambientes virtuais pode ser uma estratégia eficaz para tornar a aprendizagem mais envolvente e interativa, despertando o interesse dos alunos e melhorando o desempenho.

Barry et al. (2015) propuseram uma aula virtual de Aprendizado Baseado em Problemas (ABP) por meio do Metaverso. Para superar a dificuldade de perceber as expressões e reações dos alunos no MV, os autores introduziram um sistema de piscar os olhos para os avatares. Um ambiente virtual foi criado na plataforma *Second Life*, no qual três discentes resolveram problemas matemáticos e seus comportamentos de piscar os olhos foram registrados. Os resultados mostram que o sistema de piscar os olhos pode desempenhar um papel crítico na melhoria das aulas virtuais. Além disso, as possíveis aplicações deste trabalho não se restringem à ABP virtual, visto que o comportamento de piscar de olhos pode refletir situações psicológicas do usuário.

Áreas relacionadas ao ensino e aprendizagem sobre meio ambiente estão cada vez mais se beneficiando da imersão proporcionada pelo Metaverso, como destacado por Yao, Zhang e Liu (2022) em sua pesquisa. Os autores desenvolveram o *Future Nature Virtual Botanical Garden*, um jardim botânico virtual interativo em 3D, na plataforma *Unreal Engine 4*, com o objetivo de conscientizar sobre o cuidado com as plantas e a proteção do meio ambiente. O sistema, baseado na teoria da compensação de RV, possui cinco áreas e permite que os usuários interajam com caixas de diálogo e colem sementes para plantar na área virtual. Segundo os autores, o sistema é jogável e imersivo, proporcionando uma melhor experiência para os usuários e contribuindo para a conscientização sobre questões ambientais. Prada et al. (2015) desenvolveram um jogo no ambiente virtual *Open Simulator (OpenSim)* para promover a conscientização sobre questões agrícolas. O jogo aborda diferentes estilos de agricultura e seus impactos no meio ambiente, como o uso de fertilizantes, o desmatamento e o equilíbrio entre perspectivas ambientais e econômicas na produção de alimentos. Experimentos mostraram que o jogo melhorou o conhecimento dos jogadores sobre agricultura e aumentou a conscientização sobre o impacto ambiental da atividade agrícola. Os resultados demonstraram a eficácia do jogo em transmitir informações importantes e sensibilizar os jogadores para a necessidade de equilibrar os aspectos ambientais e econômicos na produção de alimentos de qualidade.

Khansulivong, Wicha e Temdee (2022) propuseram o uso do Metaverso como uma alternativa ao ensino online tradicional para a aprendizagem agrícola. Eles desenvolveram um ambiente virtual imersivo com objetos 3D na plataforma *Spatial.io* e realizaram testes com 30 participantes, incluindo professores e alunos da área de tecnologia e agricultura. Os resultados indicaram que a experiência no Metaverso foi positiva e proporcionou *insights* para o desenvolvimento futuro. Os participantes destacaram a importância das interações no Metaverso, mas enfrentaram problemas relacionados a dispositivos limitados e habilidades de computação. Essa abordagem pode ser adaptada para outras áreas de aprendizado online e utilizada como uma ferramenta adicional para aprimorar o ensino.

Rodríguez, Dal Peraro e Abriata (2022) desenvolveram uma ferramenta Web que permite criar e visualizar moléculas em 3D para o ensino de química e biologia. A ferramenta suporta smartphones, tablets, computadores e HMDs, como o *Oculus Quest 2*, que permite a manipulação das moléculas no ambiente virtual. Ela oferece a possibilidade de criar atividades interativas sem a necessidade de conhecimentos prévios sobre RA, RV ou programação, utilizando dados atômicos do *Protein Data Bank* ou objetos virtuais exportados do *Visual Molecular Dynamics* (VMD). Comparada a outras ferramentas, destaca-se a vasta biblioteca gráfica do VMD e a capacidade de exibir cenas *offline* com diferentes dados iniciais. Embora a ferramenta não permita alterações gráficas interativas, ela é considerada valiosa para o ensino de química e biologia, proporcionando uma experiência imersiva e interativa. Além disso, a capacidade de compartilhar o ambiente e interagir com objetos 3D em vários dispositivos a torna acessível a um amplo público de alunos e educadores.

Richardson Hatcher, Hazzard e Ramirez Yanez (2014) desenvolveram o *Cranial Nerve Skywalk*, um ambiente imersivo no *Second Life* para auxiliar o ensino de anatomia. A ferramenta apresenta exibições 3D dos nervos cranianos III, V, VII e IX, com ênfase em acessibilidade, relações espaciais, uso de cores e potencial para estudo colaborativo. Alunos de odontologia, medicina e fisioterapia utilizaram o ambiente em aulas relacionadas à anatomia craniana, acessando-o por meio de computadores. Embora análises mais aprofundadas sejam necessárias para avaliar o impacto na aprendizagem e desempenho dos alunos, os comentários indicam que a ferramenta é útil para compreender as complexas vias dos nervos cranianos. Além disso, a interação imersiva entre os usuários permite que os alunos estudem os modelos anatômicos enquanto colaboram com seus colegas. Na mesma área de conhecimento, Ramesh et al. (2022) desenvolveram um repositório holográfico com modelos 3D de estruturas anatômicas oftalmológicas para melhorar as atividades pedagógicas e o aconselhamento de pacientes. O repositório foi criado usando *softwares* como *Maya* e *Blender* e avaliado por oftalmologistas para garantir sua precisão científica. O ambiente foi visualizado usando o HMD *Microsoft HoloLens 2*, permitindo interações como tocar, mover, girar e redimensionar os modelos para uma experiência imersiva. Os autores destacam a inovação dessa aplicação do Metaverso na oftalmologia e acreditam que ela pode elevar o ensino e o aconselhamento a um novo nível.

Alpala et al. (2022) desenvolveram um ambiente imersivo de fábrica digital para práticas colaborativas e comunicação em MVs 3D com RV e Metaverso. Utilizando a plataforma *Unreal Engine 4* e acessado em HMDs *Oculus Quest 2* e *Oculus Rift*, os usuários podem acessar áreas complementares, tais como administração, serviços, vestiários, banheiros e áreas verdes e praticar no ambiente de produção oferecido virtualmente. Os autores destacam que a sensação de presença no ambiente imersivo 3D pode imergir o usuário na vivência da experiência de forma real, e que, com isso, os participantes podem ter um maior grau de processamento de informações nas tarefas que são realizadas durante a prática. O estudo conclui que o realismo 3D pode levar o usuário a pensar como se estivesse em um mundo real.

Franco et al. (2022) desenvolveram dois jogos sérios em RV para ensinar ciências da bateria. O jogo *Smart Grid MR 2.0* simula uma cidade onde os alunos dirigem um veículo elétrico e interagem com a rede elétrica, enquanto o *SIMUBAT 4.0* simula a produção de baterias de íons de sódio em um ambiente virtual. Ambos os jogos foram testados usando o HMD HTC *Vive* conectado a um computador. Os autores concluíram que o jogo *Smart Grid MR 2.0* proporcionou uma imersão significativa e alta interação para os alunos, enquanto o *SIMUBAT 4.0* pode ser usado como um ambiente colaborativo para técnicos, engenheiros, cientistas e alunos, embora os autores não tenham abordado a experiência de uso do ambiente por alunos.

Makransky e Klingenberg (2022) utilizaram simulações imersivas em RV para o treinamento de segurança na indústria marítima, comparando com a abordagem convencional. O ambiente virtual simulava a operação de atracação de uma embarcação e os participantes avaliaram o risco dinâmico durante a simulação da atracação. Foram realizados dois estudos, um piloto com alunos e um principal com profissionais da área, utilizando o HMD *Oculus Quest* e o ambiente desenvolvido no *Unity*. Os autores concluíram que a RV resultou em níveis significativamente altos de prazer, motivação, aprendizado percebido e mudança comportamental em comparação com a abordagem convencional, além de criar experiências de aprendizado em um ambiente seguro e ser uma maneira econômica de administrar treinamento padronizado em uma ampla gama de localizações geográficas.

Siyaev e Jo (2021) propuseram o uso de um Metaverso para treinamento em manutenção de aeronaves *Boeing 737*, utilizando manuais legados, modelos 3D e simuladores virtuais. O Metaverso é uma solução de baixo custo e escalável, substituindo a necessidade de aeronaves reais por uma aeronave virtual, que pode ser facilmente atualizada. O ambiente de treinamento foi desenvolvido na plataforma *Unity* e implantado em óculos inteligentes *Microsoft HoloLens 2*. Os autores concluem que o uso de Metaversos para treinamento em manutenção de aeronaves pode fornecer uma solução acessível para faculdades de aviação. Lee, Woo e Yu (2022) propuseram um sistema de ensino de manutenção de aeronaves que incorpora RV e Metaverso, desenvolvido na plataforma *Unity* e testado em HMDs HTC *Vive Pro Eye* e *Oculus Rift S* por 40 discentes voluntários. O sistema foi comparado com um método de treinamento por vídeo e foi avaliado através de testes de aquisição e retenção de conhecimentos, além da sensação de presença. Os autores concluem que o sistema proposto é mais eficaz e válido como ambiente educacional do que os métodos baseados em vídeos existentes.

Alsaleh et al. (2022) desenvolveram um gêmeo digital e uma estrutura de RV imersiva para laboratórios de engenharia e controle. O ambiente foi criado na plataforma *Unreal Engine 4* e utilizado com HMD HTC *Vive Pro Eye*. Um estudo de caso, com a participação de 37 voluntários, com uma ponte rolante no ambiente virtual mostrou que a estrutura proposta melhorou significativamente a usabilidade do ambiente de laboratório simulado, permitindo maior interação e colaboração entre alunos e instrutores. Os autores acreditam que essa solução pode influenciar positivamente a capacidade dos alunos em experimentos virtuais práticos para obter um melhor controle e desempenho em objetos reais.

Vernaza, Armuelles e Ruiz (2012) criaram um laboratório virtual de fundamentos de eletrônica baseado em um Metaverso de *software* livre para o ensino de eletrônica, utilizando a plataforma *OpenSim* e integrando o Moodle por meio do *Simulation Linked Object Oriented Dynamic Learning Environment* (Sloodle). O MV contou com funcionalidades interativas e colaborativas, incluindo a interação com um circuito elétrico e simulações realistas. Os autores concluíram que a utilização de MVs e realidades híbridas é uma forma interessante de apoiar a sala de aula com novas tecnologias, proporcionando aos alunos a oportunidade de assistir às aulas de onde estiverem, e de participar de uma aula virtual com elementos que são usados em uma sala real.

Schaf, Paladini e Pereira (2012) apresentaram o desenvolvimento de um protótipo denominado *3D AutoSyslab*, que consiste em um Metaverso utilizado como interface social e colaborativa. Neste ambiente, experimentos reais ou simulados foram associados a objetos virtuais relacionados à Engenharia de Computação e Automação. Adicionalmente, foram exibidos Objetos de Aprendizagem (OA) com mídias interativas que servem como guias de orientação para os usuários. O ambiente suporta *feedbacks* por meio de um sistema de tutoria autônomo, baseado na mineração de dados das interações dos usuários. Para a criação do ambiente virtual, foi utilizada a plataforma *OpenSim*, e o Moodle foi integrado ao MV por meio do *Sloodle*. O experimento virtual apresenta diversas aplicações e foi utilizado para ilustrar diversos cenários, desde conceitos de sistemas de automação até o ensino de linguagens de programação para controladores.

O estudo de Wagner et al. (2013) apresentou um ambiente Metaverso desenvolvido com o objetivo de suporte aos alunos de cursos tecnológicos e profissionalizantes ministrados à distância por meio do programa PRONATEC e Sistema S. O ambiente foi desenvolvido utilizando a plataforma *OpenSim* e o Moodle foi integrado por meio do *Sloodle*. Embora não tenham apresentado práticas pedagógicas ou relatos de experiências dentro do Metaverso, os autores indicaram que o ambiente proposto está preparado para estratégias educacionais utilizando OAs imersivos e que os estudantes podem acessar diversos espaços criados para interagir, tirar dúvidas e verificar conceitos dos cursos. Tarouco et al. (2013) buscou integrar um OA em um Metaverso para o ensino de cálculo em cursos de engenharia com o objetivo de criar um ambiente virtual imersivo e colaborativo. A integração do OA, denominado Ensino de Derivadas a Distância, foi avaliada e o ambiente virtual foi desenvolvido na plataforma *OpenSim*, com materiais instrucionais da *Khan Academy* e *scripts* em *Linden Script Language* e *OpenSim Scripting Language*. Embora a avaliação não tenha sido apresentada no trabalho, os autores acreditam que o laboratório virtual pode complementar o ensino presencial e à distância nos cursos de engenharia.

Nunes et al. (2017) focaram em integrar um LMS a um MV, para o qual desenvolveram um ambiente virtual utilizando o *OpenSim* e integraram o Moodle por meio da ferramenta *Sloodle*. O ambiente virtual foi validado por meio de um estudo de caso em uma disciplina de Algoritmos e Programação em um curso de Engenharia da Computação, evidenciando a eficácia dos ambientes integrados na melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

Díaz (2020) apresentou um MV como ferramenta digital de apoio pedagógico a alunos e professores da Faculdade de Engenharia de Sistemas na Universidade de Cundinamarca. O objetivo do trabalho foi demonstrar o potencial acadêmico na formação dos alunos e no desenvolvimento de novas aptidões e competências digitais pelos professores. O desenvolvimento do projeto do MV foi baseado na plataforma *OpenSim*, este ambiente virtual tinha como propósito facilitar aulas remotas ou virtuais, pois o professor poderia carregar recursos pedagógicos que poderiam ser consultados pelos alunos via web ou por dispositivo móvel tendo o MV sempre à mão.

Crespo et al. (2013) desenvolveram um ambiente virtual na plataforma *OpenSim* e integraram o Moodle por meio da ferramenta *Sloodle* para ensinar inteligência artificial. O estudo investigou o uso de ferramentas virtuais em *e-learning*, incluindo a avaliação do desempenho do servidor dedicado ao sistema. Os autores concluíram que o ambiente virtual possibilitou uma maior cooperação entre professores e alunos, personalização do processo de aprendizagem e desenvolvimento de habilidades colaborativas. O estudo sugere que a integração de ferramentas virtuais pode trazer diversos benefícios ao ensino-aprendizagem em ambientes virtuais.

Vallance (2013) propôs um ambiente 3D colaborativo com o objetivo de treinar os estudantes na programação de robôs para lidar com a recuperação de desastres nucleares. O autor foi motivado pelo desastre ocorrido em 2011 na usina nuclear de *Fukushima* e pelas dificuldades encontradas na sua recuperação. Ele criou um MV com uma réplica de uma usina nuclear, onde os estudantes do 6º ano no Reino Unido e de graduação do Japão desenvolveram robôs para seguir circuitos distintos de forma colaborativa. Os alunos do Reino Unido podiam manobrar o robô real por meio do MV criado no *OpenSim*. Para a realização das atividades de programação foram utilizados robôs LEGO. O estudo de Kanematsu et al. (2014) aplicou o Metaverso na educação *STEM*, usando a plataforma *Second Life* para criar um ambiente de sala de aula virtual para alunos do 5º e 6º anos do ensino fundamental. O objetivo foi abordar temas de radioatividade e segurança nuclear após o acidente em *Fukushima*. A combinação de aulas teóricas no Metaverso e experimentos práticos na sala de aula real foi considerada eficaz para a aprendizagem, de acordo com as respostas e reações dos alunos ao questionário aplicado após a experiência. No entanto, não foi realizada uma comparação dos resultados antes e depois da utilização do Metaverso.

Ao analisar as respostas a essa questão, observa-se que, além do uso do Metaverso como uma ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem, como mencionado anteriormente, as pesquisas visam avaliar dois aspectos comuns em ambientes de aprendizagem reais e, também, importantes em ambientes virtuais de aprendizagem: sensação de presença e colaboração. Conforme destacado por Alpala et al. (2022), esses aspectos têm o potencial de imergir o usuário na experiência virtual de forma semelhante à realidade. Além disso, trabalhos como o de Makransky (2022), que se baseiam nesses aspectos, também avaliam a eficácia dos ambientes virtuais imersivos em comparação com os métodos tradicionais de ensino por videoconferência, bem como a superação da distância física entre os participantes, confirmando que o uso da RV pode resultar em maior motivação e percepção de aprendizado, além de possibilitar a realização de um mesmo treinamento em diferentes localidades geográficas.

Vale ressaltar que alguns estudos têm como objetivo permitir que os alunos manipulem estruturas que seriam difíceis ou envolveriam um alto risco ou custo na vida real, como os trabalhos de Siyaev e Jo (2021) e Lee, Woo e Yu (2022) que envolveram a manutenção de aeronaves, ou ainda os estudos de Richardson Hatcher, Hazzard e Ramirez Yanez (2014) e Rodríguez, Dal Peraro e Abriata (2022), nos quais foi possível interagir com modelos 3D de nervos cranianos ou moléculas, respectivamente. Esses aspectos e as possibilidades proporcionadas pela RV tornam o Metaverso uma alternativa para complementar as atividades pedagógicas, principalmente em cursos à distância e que envolvem atividades práticas.

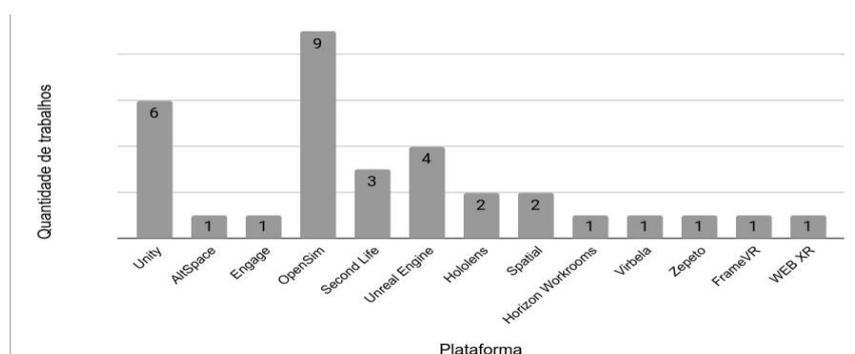
(Q3) Quais os recursos tecnológicos de software e hardware foram utilizados?

Observa-se entre os estudos analisados que a escolha da plataforma para uso do Metaverso no processo de ensino-aprendizagem está relacionada à abordagem adotada. Para a criação de ambientes virtuais personalizados, algumas pesquisas utilizaram plataformas que permitem uma maior liberdade na criação de espaços 3D, como *Unity*, *Unreal Engine* e *OpenSim*. Por exemplo, Schaf, Paladini e Suenoni (2012) desenvolveram uma planta virtual que representa um sistema simples de engarrafamento, em que o foco foi o ensino de programação e controle.

Outros estudos se beneficiaram de ambientes virtuais pré-definidos, em que foi possível interagir e compartilhar recursos em RV. Hedrick et al. (2022), por exemplo, analisaram a viabilidade da plataforma *Horizon Workrooms* da META, que oferece um local para reuniões com quadro branco virtual, projetor e a opção de compartilhamento de conteúdos. Uma outra possibilidade identificada entre os estudos foi a utilização da *WebXR*, aplicativos web com suporte a RA, RV e RM. Rodríguez, Dal Peraro e Abriata (2022), por exemplo, desenvolveram uma ferramenta web na qual é possível criar e visualizar moléculas em 3D para educação em química e biologia, com a possibilidade de compartilhar o ambiente e interagir com objetos 3D.

A Figura 8 apresenta a quantidade de estudos por plataforma. Como os trabalhos analisados estavam inseridos no contexto de educação em diferentes disciplinas e níveis de ensino, prioritariamente ensino superior, as plataformas mais utilizadas foram *OpenSim* e *Unity*, o que demonstra o perfil de desenvolvimento e criação de imersões, não somente do seu uso.

Figura 8: Quantidade de trabalhos por plataforma



Embora tenhamos analisado 32 trabalhos, a figura 8 apresenta um total de 33, pois Deveaux e Bailenson (2022) utilizaram as plataformas *AltSpace VR* e *ENGAGE*. No que diz respeito aos

recursos de *hardware* utilizados pelos trabalhos analisados, treze abordaram o uso de HMDs para acessar as plataformas de RV. Esses estudos foram conduzidos por Franco et al. (2022); Makransky e Klingenberg (2022); Deveaux e Bailenson (2022); Pope et al. (2022); Hedrick et al. (2022); Siyaev e Jo (2021); Alsaleh et al. (2022); Doma e Şener (2022); Alpala et al. (2022); Lee e Hwang (2022); Lee, Woo e Yu (2022); Ramesh et al. (2022) e Rodríguez, Dal Peraro e Abriata (2022). Em Deveaux e Bailenson (2022), por exemplo, os alunos do curso "*Virtual People*" da Universidade de *Stanford* utilizaram o *Oculus Quest 2* para acessar os ambientes nos quais a RV foi utilizada para o ensino em diversas disciplinas. Hedrick et al. (2022) também utilizaram o *Oculus Quest 2* para acessar o ambiente virtual *Horizon Workrooms* e medir o impacto dessa tecnologia na disciplina de UX do curso de Mídia Digital na Universidade do Vale de Utah. Siyaev e Jo (2021) utilizaram o *Hololens*, os óculos de RV da Microsoft, para acessar o Metaverso para treinamento e educação em manutenção de aeronaves do *Boeing 737*.

Nos demais trabalhos, o uso de dispositivos de RV para acessar as plataformas não era compulsório, havendo a possibilidade de a interação ser por meio de HMDs, mas também por meio do navegador Web em desktop ou dispositivos móveis. A utilização dos dispositivos HMD proporcionam um maior nível de imersão, porém o valor de aquisição dos equipamentos pode ser um limitador em relação ao uso da tecnologia. Logo, a utilização de computadores e dispositivos móveis ainda é um diferencial, proporcionando uma maior inclusão digital.

Esta RSL também buscou identificar se outros ambientes tecnológicos de aprendizagem foram utilizados em conjunto com os *softwares* e *hardwares* para criar o ambiente do Metaverso. Dos trinta e dois trabalhos analisados, sete citaram a utilização do Moodle, a saber: Nunes et al. (2017), Pigultong (2022), Vernaza, Armuelles e Ruiz (2012), Wagner et al. (2013), Schaf, Paladini e Pereira (2012), Díaz (2020) e Crespo et al. (2013). Em Nunes et al. (2017), por exemplo, o Moodle foi integrado ao MV desenvolvido na plataforma *OpenSim* por meio da ferramenta *Sloodle*, que oferece uma ampla gama de ferramentas de apoio ao ensino e aprendizagem em ambientes imersivos. Este trabalho apresenta detalhadamente a utilização do *Sloodle* para integração entre LMS e MV. Em Wagner et al. (2013) e Schaf, Paladini e Pereira (2012), os MVs também foram desenvolvidos por meio do *OpenSim*, e o *Sloodle* também foi utilizado para integrá-los ao Moodle.

(Q4) Quais as limitações e dificuldades encontradas?

Dos trinta e dois trabalhos analisados, quatorze não discutiram limitações ou dificuldades no processo de construção dos ambientes ou nos processos de ensino e aprendizagem utilizando o Metaverso, a saber: Franco et al. (2022); Yao, Zhang e Liu (2022); Prada et al. (2015); Pigultong (2022); Tarouco et al. (2013); Wagner et al. (2013); Schaf, Paladini e Pereira (2012); Jovanović e Milosavljević (2022); Vallance (2013); Siyaev e Jo (2021); Alsaleh et al. (2022); Kanematsu et al. (2014); Lee, Sung e Kim (2022) e Ramesh et al. (2022). Nos demais trabalhos, as limitações foram de ordem técnica, legal, de saúde ou bem-estar. Para Sebastien, Sebastien e Conruyt (2018), um dos desafios foi encontrar formas de enriquecer os dados compartilhados no ambiente virtual para que pudessem ser melhor representados no Metaverso. Deveaux e Bailenson (2022) relataram

desconfortos, enjoos e mal-estar durante o uso prolongado de HMDs, o que foi contornado com a limitação do tempo de uso dos equipamentos. Jovanović e Milosavljević (2022) mencionaram que regulamentações, restrições legais, falta de conteúdos apropriados aos ambientes imersivos e o desinteresse de instituições educacionais convidadas dificultaram a manutenção da plataforma universitária compartilhada no Metaverso.

As plataformas de RV disponíveis vêm se desenvolvendo constantemente, como mencionado por Hedrick et al. (2022), que relataram a dificuldade enfrentada no início do projeto com a plataforma *Horizon Workrooms* devido às atualizações constantes. Os autores também reportaram casos de enjoo sentido por alguns alunos. Nunes et al. (2017) destacaram as dificuldades na implementação do ambiente do *OpenSim*, incluindo a necessidade de privilégio de administrador no ambiente Moodle e o processo oneroso de criação de uma sala virtual, dependendo dos elementos do *Sloodle* incorporados. Além disso, os autores mencionaram a dificuldade dos professores em se familiarizar com o processo de disponibilização de materiais e com as distrações enfrentadas pelos discentes diante de uma grande quantidade de informações. Crespo et al. (2013) enfatizaram a dificuldade em operar as funcionalidades do Metaverso, especialmente em relação a problemas de conexão em salas virtuais com mais de 25 alunos. Por fim, Díaz (2020) também mencionou a dificuldade inicial dos professores em utilizar os recursos disponíveis no Metaverso.

Conforme evidenciado pelas análises realizadas, as limitações identificadas estão, em sua maioria, relacionadas às dificuldades de manuseio, desenvolvimento e configuração dos ambientes do Metaverso. Nenhum estudo mencionou quaisquer limitações ou dificuldades encontradas pelos professores e estudantes especificamente relacionadas às práticas pedagógicas em conteúdos e atividades das experiências educacionais. As questões como enjoos e desorientação são consideradas genéricas e foram relatadas em processos de aprendizagem em algumas áreas do conhecimento. Quatro trabalhos destacaram as dificuldades iniciais dos professores nas primeiras experiências de ensino no Metaverso. É importante considerar que ensinar ou trabalhar em um ambiente colaborativo e imersivo requer um tempo de adaptação, mesmo para professores e pesquisadores da área de Computação, conforme relatado por Park et al. (2022).

3.2. Trabalhos relacionados

Na literatura, existem diversos trabalhos que abordam o uso do Metaverso no contexto do ensino de computação, em sua maioria direcionados para o ensino de programação e criação de ambientes virtuais. O trabalho de Nunes et al. (2017), teve como foco central a integração de um LMS com um MV. Para atingir tal objetivo, os autores criaram um ambiente virtual utilizando o *OpenSim* e integraram o Moodle por meio da ferramenta *Sloodle*. A validação dos ambientes foi realizada por meio de um estudo de caso em uma disciplina de Algoritmos e Programação de um curso de Engenharia da Computação. Wagner et al. (2013) propuseram um ambiente Metaverso para apoiar alunos em cursos tecnológicos e profissionalizantes, fornecendo uma ferramenta complementar a cursos à distância e MOOCs. O ambiente foi desenvolvido na plataforma *OpenSim* e integrado ao Moodle por meio do *Sloodle*. Embora não tenham especificado práticas pedagógicas,

indicaram que o ambiente estava preparado para estratégias educacionais com objetos de aprendizagem imersivos. Os alunos podiam explorar espaços, interagir online, tirar dúvidas e revisar conceitos.

Díaz (2020) apresentou um MV como ferramenta de apoio pedagógico na Faculdade de Engenharia de Sistemas da Universidade de Cundinamarca. O objetivo foi demonstrar o potencial acadêmico desse MV na formação dos alunos e no desenvolvimento de competências digitais pelos professores. Desenvolvido na plataforma *OpenSim*, o MV facilitou aulas remotas, com recursos acessíveis via web ou dispositivos móveis. Os alunos mostraram maior familiaridade e avaliaram positivamente a interação e a navegação entre o ambiente virtual e as plataformas web e *mobile*, proporcionando um processo de aprendizagem dinâmico.

Sebastien, Sebastien e Conruyt (2018) propuseram um ambiente de RV denominado *Immex*, que simula o campus virtual da *University de La Reunion*. O objetivo deste trabalho foi criar ambientes imersivos, utilizando a plataforma *Unity*, para proporcionar uma experiência em primeira pessoa ao usuário, como se estivesse no campus. Para avaliar o ambiente Metaverso, os autores aplicaram um questionário com estudantes de mestrado em Ciência da Computação e Ciências, os quais estavam envolvidos em uma atividade pedagógica de simulação e manuseio da plataforma *Unity*. A pesquisa avaliou questões como a facilidade de manuseio em ambientes imersivos 3D durante a atividade prática e o desejo de uso da plataforma. Os resultados obtidos foram satisfatórios segundo os autores.

Jeong, Choi e Ryu (2022) propuseram a criação de um campus virtual compartilhado entre 15 universidades consorciadas no Metaverso com o objetivo de superar a distância física entre as regiões e otimizar os recursos humanos e materiais. O estudo utilizou a plataforma *VirBela* e propôs um método de conexão com o LMS das instituições participantes. O campus virtual incluiu diversos espaços, como salão de exposições e laboratórios de informática. Segundo os autores, a proposta do estudo é inovadora e pode ser uma solução eficiente para universidades que buscam melhorar o processo de ensino-aprendizagem em um ambiente virtual compartilhado.

Ao analisar os trabalhos relacionados, observou-se que a maioria dos estudos está relacionada ao aprendizado de RV e Programação. Nenhum dos estudos abordou o ensino de Redes de Computadores e a criação de ambientes virtuais que suportem o aprendizado dos conceitos desta disciplina. Conforme afirmam Alpala et al. (2022), a sensação de presença em ambientes imersivos do Metaverso pode proporcionar uma experiência vívida e, assim, os participantes podem ter um maior processamento de informações nas tarefas realizadas durante a prática. Portanto, o ensino de Redes de Computadores pode se beneficiar da sensação de imersão por meio de ambientes virtuais imersivos como ferramenta de apoio aos conteúdos pedagógicos que se utilizam de laboratórios e equipamentos físicos. O estudo proposto neste trabalho demonstra avançar no estado da arte, já que não foram encontrados na literatura trabalhos ou ferramentas com um propósito similar.

3.3. Considerações sobre a revisão sistemática

Percebeu-se, assim como no trabalho realizado por Tlili et al. (2022), que a quase totalidade dos estudos nesta RSL concentrou-se no ensino superior, visando aproveitar o potencial do Metaverso para superar as limitações e ineficiências do aprendizado tradicional presencial ou online com interações não exploratórias. Tlili et al. (2022) destacou a ausência de trabalhos de pesquisa ou relatos de experiências que abordam o uso do Metaverso na educação de Pessoas com Deficiência (PcD), ratificada pela RSL que originou este trabalho, que também não identificou trabalhos que reportassem questões de acessibilidade nos ambientes virtuais utilizados. Trata-se, portanto, de uma primeira oportunidade de pesquisas de Educação no Metaverso.

Ao comparar as tecnologias mencionadas por Tlili et al. (2022), observa-se nesta revisão sistemática um aumento no uso de motores de jogos, como o *Unity* e o *Unreal Engine*, para o desenvolvimento de ambientes virtuais, além da utilização de plataformas de Metaverso disponíveis na Web, como *Spatial.io*, *Zepeto* e *Virbela*. Tlili et al. (2022) propõem trabalhos futuros relacionados à aplicação de *lifelogging* na educação no Metaverso, a possibilidade de uso de dispositivos *IoT* conectados ao ambiente virtual para interagir com o mundo real, além de reforçar a necessidade de pesquisas envolvendo PcD. Além dessas valiosas contribuições apresentadas pelos autores, acrescentamos como outra oportunidade de investigação o desenvolvimento de *soft skills* pelos alunos nos ambientes virtuais imersivos, dado que foi reportado por alguns trabalhos as oportunidades de interação e colaboração com pessoas de diferentes origens e culturas, a resolução de tarefas complexas e criativas.

A complexidade dos ambientes virtuais e as dificuldades enfrentadas pelos professores em utilizar o Metaverso foram algumas das limitações encontradas nos estudos analisados, como em Nunes et al. (2017) e Díaz (2020). Portanto, sugere-se a investigação de metodologias e ferramentas para medir a eficácia da aprendizagem no Metaverso, bem como investigar as necessidades de formação dos professores para o uso efetivo do Metaverso na educação. Esta RSL confirma também que, embora haja estudos relacionados ao uso do Metaverso na educação, ainda são incipientes os estudos que abordam a utilização de ambientes virtuais imersivos no ensino de disciplinas de Computação. Portanto, há muitas possibilidades de pesquisas nesta área, desde a adaptação de ambientes virtuais imersivos existentes até a criação de ambientes virtuais personalizados para serem utilizados em cursos à distância, híbridos ou mesmo presenciais.

As práticas pedagógicas para o ensino de Computação discutidas nos artigos são ainda superficiais. Percebe-se claramente trabalhos de experimentação de ambientes existentes, integração de ambientes imersivos do Metaverso com LMS e identificação das dificuldades inerentes ao uso do Metaverso na educação. Em relação às disciplinas de Computação que foram objetos dos trabalhos analisados, observou-se que a maioria se refere ao aprendizado de RV e programação. Segundo Alpala et al. (2022), a sensação de presença no ambiente imersivo do Metaverso pode imergir o usuário na vivência da experiência de forma real, e com isso os participantes podem ter um maior grau de processamento de informações nas tarefas que são realizadas durante a prática.

Logo, o ensino de Computação pode se beneficiar da sensação de imersão por meio do desenvolvimento de ambientes virtuais imersivos como ferramenta de apoio às disciplinas que requerem a utilização de laboratórios e equipamentos físicos, como Redes de Computadores, por exemplo.

O estudo de Richardson-Hatcher, Hazzard e Ramirez Yanez (2014) aborda uma preocupação pertinente relacionada à carga cognitiva dos alunos em ambientes virtuais. Os pesquisadores aplicaram os princípios da teoria da carga cognitiva no design do ambiente virtual para aprimorar sua utilização. É crucial examinar as implicações psicológicas do uso desses ambientes imersivos na educação, levando em consideração a substancial carga cognitiva à qual tanto alunos quanto professores estão expostos. Portanto um dos objetivos desta pesquisa é avaliar a percepção dos estudantes em relação a carga cognitiva ao utilizar um ambiente virtual imersivo para o aprendizado de redes de computadores.

Por fim, é necessário um maior investimento em pesquisas que visem a criação de ambientes virtuais imersivos mais acessíveis e personalizados para a área de Computação, bem como o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais aprofundadas que utilizem de forma efetiva os recursos desses ambientes virtuais para o ensino e aprendizado de conteúdos e disciplinas de Computação.

4. MÉTODO – ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS, CODIFICAÇÃO ABERTA E CENÁRIOS DE INTERAÇÃO

Neste capítulo, são apresentados os cenários de interação elaborados a partir de uma codificação aberta dos dados obtidos de três fontes: entrevistas semiestruturadas com professores da área de Redes de Computadores, análise documental dos planos de ensino de disciplinas dessa área nos níveis técnico, superior e de pós-graduação, além de um *benchmark* de simuladores de redes.

4.1. Fonte dos dados: Entrevistas semiestruturadas, Planos de Ensino e *Benchmark* de simuladores de Redes de Computadores

Para a coleta dos dados que direcionaram o desenvolvimento da plataforma, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com docentes do IFPB Campus João Pessoa que lecionavam disciplinas relacionadas a Redes de Computadores em cursos técnicos, de graduação e de pós-graduação. Eles serão identificados como professor 1, professor 2, professor 3 e professor 4. A entrevista semiestruturada é uma técnica de coleta de dados qualitativa que combina uma estrutura de perguntas predefinidas com a flexibilidade para explorar temas emergentes e aprofundar as respostas. As entrevistas ocorreram entre os dias 10 e 20 de novembro de 2023, foram realizadas por meio da plataforma *Google Meet* e, com a permissão dos entrevistados, foram gravadas e posteriormente transcritas. Foi elaborado um roteiro básico com questões norteadoras que direcionaram a conversa para tópicos específicos de interesse, garantindo que os principais pontos de pesquisa fossem abordados.

A sessão principal do roteiro consistia em nove questões relacionadas ao ensino de redes de computadores, a saber: (i) Com que frequência você utiliza o laboratório de Redes de Computadores em suas atividades de ensino?; (ii) Quais disciplinas você ministra que envolvem o uso do laboratório de Redes de Computadores?; (iii) Quais conteúdos, geralmente, são abordados durante suas aulas no laboratório?; (iv) Quais equipamentos e recursos físicos você geralmente utiliza no processo de ensino-aprendizagem no laboratório e como esses recursos são utilizados em suas atividades práticas?; (v) Em relação à parte lógica, quais *softwares* você utiliza para abordar os conceitos relacionados aos conteúdos de Redes de Computadores?; (vi) Como esses *softwares* auxiliam no ensino de Redes de Computadores? (vii) Durante a pandemia, como você adaptou ou abordou as práticas laboratoriais no ensino de Redes de Computadores, quais estratégias ou ferramentas você utilizou para apoiar o aprendizado prático dos discentes durante esse período? (viii) Quais desafios e/ou dificuldades você enfrenta(ou) ao utilizar os laboratórios de Redes de Computadores em suas aulas? e (ix) Em sua opinião, como esses desafios podem ser superados para melhorar os resultados de ensino-aprendizagem?

As questões norteadoras serviram como guia, mas o entrevistador pôde adaptar as perguntas e fazer novas indagações com base nas respostas do entrevistado, permitindo uma exploração detalhada do assunto. No Apêndice A, está detalhado o roteiro da entrevista. Para analisar os dados coletados por meio das entrevistas semiestruturadas, foi adotado um processo de codificação aberta. Essa etapa inicial de análise de dados, conforme descrita por Hoda et al. (2012), envolve um minucioso exame dos dados, em que o pesquisador identifica e rotula elementos relevantes por meio de uma leitura intensiva dos textos. Os dados foram codificados considerando oito categorias: (i) Frequência de uso dos laboratórios; (ii) Disciplinas ministradas; (iii) Conteúdos abordados; (iv) Equipamentos e recursos físicos; (v) Softwares utilizados; (vi) Práticas laboratoriais à distância; (vii) Desafios e dificuldades; e (viii) Sugestões de melhoria.

Durante a análise das entrevistas, um ponto comum entre os entrevistados foi a presença de disciplinas como Fundamentos de Redes e Introdução a Redes de Computadores, abordando conceitos básicos e introdutórios de redes, tanto nos cursos técnicos quanto nos de graduação e pós-graduação. Diante disso, foi realizada uma análise documental dos planos de ensino dos cursos Técnicos Integrados em Informática, Graduação em Redes de Computadores, Tecnólogo em Sistemas para Internet e do Mestrado Profissional em TI, disponíveis no portal do estudante do IFPB Campus João Pessoa. O objetivo dessa análise documental foi corroborar as observações feitas nas entrevistas semiestruturadas com os professores e identificar conteúdos comuns entre as disciplinas dos cursos mencionados.

Outra observação decorrente das entrevistas, que orientou o desenvolvimento da plataforma, foi a menção dos simuladores de redes pelos entrevistados. Simuladores de redes são ferramentas de *software* que possibilitam modelar, simular e analisar o comportamento de redes de computadores em ambientes virtuais, permitindo a representação de redes com diversos dispositivos. Amplamente utilizados em pesquisa, desenvolvimento e ensino, esses simuladores oferecem um ambiente seguro para experimentar e aprender sobre redes, eliminando a necessidade de *hardware* físico, o que facilita a validação de novas tecnologias e a análise de diferentes configurações de rede.

Os simuladores de redes *NS-3*, *GNS3*, *Mininet* e *Packet Tracer* foram testados com o objetivo de compreender como o cenário de rede é apresentado por essas ferramentas aos usuários. Isso serviu como base para o desenvolvimento da atividade inicial na plataforma do metaverso criada para esta pesquisa. Com base nas análises das fontes de dados, procedeu-se com a codificação aberta de modo a categorizar as informações e *insights* gerados no sentido de especificar os requisitos de interação da plataforma.

Código 1: Frequência de uso dos laboratórios

Este código explorou a frequência de utilização dos laboratórios para atividades didáticas, examinando com que frequência esses espaços são empregados no ensino de Redes de Computadores e a demanda dos professores por esses ambientes. A Tabela 3 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 3: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre a frequência de uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores

Fonte	Trechos
Entrevista: Professor 1	“[...] O curso de redes de computadores já tem a sala de redes convergente que já é alocada, o laboratório já é alocado para ter todas as aulas teóricas como as aulas práticas... [...] Onde eu tenho que ter um pouquinho mais de Jogo de Cintura, para poder trabalhar um pouco melhor seria nas turmas de sistemas para internet porque o plano curricular é um pouco menor. Alterno as aulas entre sala de aula e no laboratório, geralmente semanalmente dependendo da disponibilidade. Todo o conteúdo é dado no laboratório, tanto o de fundamentos para nível superior em rede de computadores como pro técnico de informática, a exceção que tem é pra sistemas para internet. Em Sistemas para internet a gente tem que dividir porque a infraestrutura, a alocação vamos dizer assim, da sala não é garantida.”
Entrevista: Professor 2	“[...]Todas as minhas aulas são em laboratórios de informática, a gente tem um laboratório específico do curso, chamado de laboratório de redes convergentes, mas eu não dou aula nesse laboratório. Como minha disciplina envolve trabalho com máquinas virtuais, então acaba que qualquer laboratório com um bom perfil de hardware, de computador, serve. E aí em função do tamanho da turma, em função da demanda de sistema operacional, eu uso qualquer laboratório, mas minhas aulas são todas em laboratórios.”
Entrevista: Professor 3	“[...] Em todas as aulas.”
Entrevista: Professor 4	“[...] 100%, eu só dou aula em laboratório.”
Plano de Ensino: Técnico Integrado em Informática	“[...] Aulas práticas em laboratório. Uso opcional de 20% da carga horária em EAD.”
Plano de Ensino: Superior em Tecnologia em Redes de Computadores	Prever 33h de carga horária prática.

Percebeu-se que o uso dos laboratórios é essencial para os professores entrevistados. Enquanto algumas disciplinas são especificamente direcionadas para os laboratórios, outras predominantemente utilizam a sala de aula e dependem da disponibilidade dos laboratórios para suas atividades práticas. Os dados obtidos destacaram a necessidade de alta disponibilidade da plataforma proposta nesta pesquisa, assim como de um ambiente que atenda às necessidades tanto de sala de aula quanto de laboratório.

Código 2: Disciplinas ministradas

O objetivo deste código foi levantar as disciplinas que abordam o ensino de Redes de Computadores e analisar a relação entre essas disciplinas nos cursos técnicos, de graduação e pós-graduação. A Tabela 4 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 4: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre as disciplinas que envolvem uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores

Fonte	Trechos
-------	---------

Professor 1	“[...] nos três cursos, o nome da disciplina é fundamentos de rede de computadores, nos três cursos, tanto no superior rede de computadores, como no superior sistemas internet, como no técnico de informática.”
Professor 2	“[...] atualmente eu tenho três disciplinas no curso de redes que é uma do primeiro período, chamada introdução a sistemas abertos, outra no Quinto período do curso, que se chama administração de sistemas proprietários, e uma do sexto período, que é o último período do curso, que é projetos de redes de computadores. Essencialmente é isso.”
Professor 3	“[...] no curso de redes tem uma disciplina chamada fundamentos de redes de computadores, no primeiro período, essa disciplina eu usava basicamente simulador, no segundo período tem uma disciplina chamada tecnologias de comutação, nessa disciplina eu já usava equipamento real, a gente tem um laboratório lá com switches e roteadores. No terceiro período tenho uma disciplina de roteamento, nessa disciplina eu também usava equipamento real, eu usava roteador.”
Professor 4	“[...] atualmente eu tô com a disciplina de fundamentos de redes no curso de engenharia elétrica, com a disciplina de virtualização no curso de redes de computadores e virtualização e avaliação de desempenho são duas disciplinas do curso de redes de computadores do tecnólogo em redes de computadores e essa disciplina que é fundamentos de rede para o curso de engenharia elétrica, além de uma disciplina no mestrado que é de redes de computadores também.”
Plano de Ensino: Técnico Integrado em Informática	Fundamentos de Redes de Computadores. Objetivo Geral: Compreender o funcionamento de uma rede local (LAN). Objetivos Específicos: Entender o histórico das redes e a motivação para o surgimento; Classificar as redes sob diversos parâmetros; Compreender e diferenciar o Modelo de Referência OSI/ISO e a arquitetura TCP/IP; Identificar os padrões mais utilizados em redes locais hoje em dia; Compreender as camadas de aplicação, transporte, rede e enlace; além de identificar seus principais protocolos.
Plano de Ensino: Tecnólogo em Sistemas para Internet	Fundamentos de Redes de Computadores.
Plano de Ensino: Superior de Tecnologia em Redes de Computadores	Fundamentos de Redes de Computadores. Objetivo Geral: apresentar a arquitetura, estrutura, funções, componentes e modelos das redes de computadores.
Plano de Ensino: Mestrado Profissional em Tecnologia da Informação	Introdução a Redes de Computadores.

A análise dos dados demonstra que há disciplinas semelhantes entre os cursos de nível médio, superior e pós-graduação, todas abordando conceitos fundamentais de redes de computadores. Isso indica a necessidade de desenvolver uma plataforma capaz de atender às disciplinas em todos os níveis de ensino disponíveis na instituição.

Código 3: Conteúdos abordados

Este código teve como objetivo identificar conteúdos semelhantes entre as diversas disciplinas e os vários níveis de curso, visando definir os possíveis conteúdos a serem inicialmente abordados na plataforma. A Tabela 5 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 5: Trecho das entrevistas com os professores e dos Planos de Ensino sobre os conteúdos abordados durante uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores

Fonte	Trechos
Professor 1	“[...] Fundamentos de redes para nível superior em redes de computadores e fundamentos de redes para o curso técnico de informática a ementa é a mesma, o conteúdo é o mesmo. A gente trata desde a introdução, o que é internet, um pouco do histórico, como evoluiu as redes computadores, passando por camada física, camada de enlace, camada de rede, camada de transporte, camada de aplicação, a gente admite essa metodologia, esse tipo de ensino, Bottom up, que é da base ao topo, ou seja, as camadas mais baixas a camada mais alta.”
Professor 2	“[...] projeto é uma disciplina integradora do curso então o que eu faço, a minha ideia, é validar todas as experiências que eles tiveram em separado durante o curso. Então as soluções contemplam, fundamentos de redes, segurança de redes, cabeamento estruturado, serviços de rede em Linux, serviços de rede em Windows, rede sem fio, protocolos como DNS, http, proxy, todos esses conceitos, gerência de redes também. Esses conceitos que eles vão adquirindo ao longo do curso, a ideia é construir um cenário de rede e fazer com que eles integrem nesse cenário as soluções que eles viram como conhecimento em cada uma das disciplinas do curso.”
Professor 3	“[...] Olha só, endereçamento IP, endereçamento de ipv4, ipv6, protocolo TCP, UDP, VLAN. Deixa eu lembrar aqui, puxar aqui de cabeça... Protocolo ethernet, protocolo icmp. Enfim, os protocolos TCP IP, nada muito aprofundado, nessa disciplina do primeiro período era mais uma visão geral sobre cada protocolo. O aluno vai se aprofundando nos períodos subsequentes.”
Professor 4	“[...]na disciplina de redes de computadores que hoje eu leciono pro curso de engenharia elétrica e pro mestrado de ti, eu abordo uma revisão dos conceitos de conceitos da fundamentação teórica de redes de computadores, desde a parte da segmentação em camadas, do uso de camadas, os modelos de serviço, modelo TCP IP, camada física, camada de enlace, camada de redes, Protocolos de endereçamento, protocolo IP, Protocolos de roteamento, todos esses conteúdos na disciplina de redes ou de fundamentos de redes que eu leciono respectivamente no mestrado e em elétrica.”
Plano de Ensino: Técnico Integrado em Informática	[...] Introdução as redes de computadores, Histórico e evolução, Classificação das redes, Topologias e conectividade, Modelo TCP/IP Modelo OSI
Plano de Ensino: Tecnólogo em Sistemas para Internet	Histórico, definições e classificações de redes de computadores. Modelo OSI e TCP/IP: propostas e camadas. Camada física: funções e meios de transmissão. Camada de enlace: funções e protocolos. Padrões de redes locais. Dispositivos de interconexão de redes. Camada de rede: funções e protocolos. Redes móveis.
Plano de Ensino: Superior de Tecnologia em Redes de Computadores	Acesso a rede: Protocolo de camada física, Meio de comunicação em rede, Protocolos de camada de enlace, Controle de acesso ao meio; Camada de rede: Protocolos da camada de rede, Roteamento, Roteadores, Configurando um roteador; Endereçamento IP.
Plano de Ensino: Mestrado Profissional em Tecnologia da Informação	Fundamentos de redes de computadores. Desafios para pesquisa e inovação em: análise de tráfego de rede, qualidade de serviço, engenharia de tráfego, comutação e roteamento, gerenciamento de redes, redes sem fio. Tecnologias atuais de infraestrutura de redes de alta velocidade. Aspectos de arquitetura e tráfego de aplicações de Internet das Coisas. Arquitetura de redes de centros de dados. Redes Definidas por Software. Alta

	disponibilidade e Infraestrutura de computação em nuvem. Segurança de redes.
--	--

Os dados demonstram que, nos diversos níveis de ensino, são abordados conteúdos iniciais sobre Redes de Computadores. Com isso, há a necessidade de desenvolver uma plataforma que possa ser utilizada como ferramenta de apoio ao ensino de redes de computadores e que trate, de forma imersiva, os conteúdos comuns aos cursos de níveis técnico, graduação e pós-graduação.

Código 4: Equipamentos e recursos físicos

O código em questão visou analisar os recursos físicos geralmente utilizados pelos professores e como esses recursos são empregados no processo de ensino-aprendizagem. O objetivo principal foi determinar quais dispositivos seriam modelados inicialmente no ambiente virtual imersivo a ser desenvolvido, bem como as interações com esses recursos na plataforma. A Tabela 6 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 6: Trecho das entrevistas com os professores sobre os recursos físicos utilizados durante uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores

Fonte	Trechos
Professor 1	“[...] O laboratório de redes convergentes, só complementando, é onde tem tudo. Tem tudo inclusive parte física, cabeamento, aula, enfim é onde tem tudo praticamente. Só que, como é uma disciplina de fundamentos, a gente não trabalha com os switches diretamente, os switches físicos, a gente não trabalha com os roteadores físicos, a gente trabalha tudo dentro do simulador. Somente a parte de cabeamento, a parte introdutória, pro pessoal ver como é que é feito o cabeamento do RJ45, o nosso famoso par trançado.”
Professor 2	“[...] No caso específico de projeto só os computadores, o que tem nos computadores é o suficiente. A gente tem lá os hipervisores, o VM e o VirtualBox, tem o Visio como eu falei, tem acesso a web, então tudo que eles precisam tem em computadores desktop de uso comum... [...] Então o maior nível que eles chegam próximo da prática são as simulações”
Professor 3	“[...] Lá no campus João Pessoa a gente tem um laboratório chamado laboratório de redes convergentes e lá a gente tem dois dois racks de switches e roteadores da cisco. Então a gente tinha bancadas, que a gente chamava de ilha, e nessas bancadas a gente tinha umas tomadas, onde as tomadas davam acesso até um PatchPanel no rack. Então cada grupo, cada grupo de alunos, eram quatro alunos por Ilha, eles tinham acesso ao rack. Eu dividia o switch, eu fatiava, dizia esse switch é desse grupo, esse outro switch é desse outro grupo aqui e a gente ia dividindo e eles iam tendo acesso às configurações dos equipamentos na própria bancada deles. Fatalmente ele precisava fisicamente ir no rack lá para fazer uma conexão física, mas basicamente toda a prática se desenrolava na própria bancada, não precisava ter acesso, ficar lá em pé no rack, até porque não dá para todo mundo ficar em pé lá, era muita gente.”
Professor 4	“[...] Recurso físico, minhas disciplinas são muito dependentes do laboratório em si, das máquinas do laboratório, para que os alunos consigam executar a virtualização, levantar os ambientes e geralmente eu trabalho com sistema operacional Linux e várias ferramentas em cima desse sistema operacional. Então até para não mexer nas máquinas do laboratório a gente trabalha muito com virtualização. [...] para a disciplina de fundamentos de rede em engenharia elétrica hoje eu dou aula no laboratório de redes

	convergentes. E lá a gente tem uma infraestrutura bacana de equipamentos de interconexão de rede, lá a gente tem roteadores, a gente tem switches, tem hack, tem um cabeamento que a gente consegue, por exemplo, fazer algumas práticas em equipamentos físicos, não virtualizados”
--	--

Foi observado que, embora algumas disciplinas não utilizem recursos físicos dos laboratórios, elas fazem uso de simulações de cenários de rede por meio de *softwares*. Portanto, a simulação de cenários de redes de computadores no ambiente virtual imersivo poderá atender tanto às necessidades das disciplinas que utilizam laboratórios físicos quanto das que dependem apenas de simulações no processo de ensino e aprendizagem.

Código 5: *Softwares* utilizados

Este código buscou identificar os *softwares* utilizados no ensino de Redes de Computadores e como esses recursos auxiliam no processo de ensino-aprendizagem. A análise teve como objetivo compreender a apresentação dos dados aos usuários por esses *softwares*, visando construir uma interface mais amigável para o ambiente virtual imersivo. A intenção era aproveitar a curva de aprendizagem dos ambientes de simulação utilizados, baseando a interface nos *softwares* identificados. A Tabela 7 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 7: Trecho das entrevistas com os professores sobre os recursos de *softwares* utilizados para o ensino de Redes de Computadores e como essas ferramentas auxiliam o processo de ensino-aprendizagem

Fonte	Trechos
Professor 1	<p>“[...] O Packet tracer. Geralmente eu dou o ambiente pronto ou, quando eu não dou o ambiente pronto e peço pros alunos fazerem algum tipo de configuração, eu dou o ambiente pela metade, eu faço na aula, digo o ambiente é esse, metade do ambiente é esse, na verdade não é nem metade eu faço 1/3 do ambiente, eu faço com os alunos 1/3 do ambiente, e o restante eu deixo pros alunos fazerem e eu levo em avaliação.</p> <p>[...] abstração, a gente consegue abstrair todo o manuseio de cabeamento, toda a parte de ter que ligar um computador, de ter que ligar um Switch, de ter que ligar um roteador no rack, mexer no rack. Até porque você não pode ter mais do que três ou quatro pessoas próximas ao rack, porque tem a limitação física de pessoas ao mesmo tempo.”</p>
Professor 2	<p>“[...]o packet tracer. No meu caso é mais o cenário, como o cenário é um cenário interno de uma empresa, então acaba que é suficiente fazer os experimentos de validação de serviços de rede usando o hipervisor com a máquina virtual. Eventualmente alguma simulação de tráfego local mostrando só a configuração no Packet tracer, uma configuração de uma vlan para um switch, de uma rota estática, mas tudo isso em nível de Packet tracer.</p> <p>[...] São fundamentais, principalmente os hipervisores, porque a gente consegue criar, reproduzir, todo um ambiente de rede para cada aluno.”</p>
Professor 3	<p>“[...] Cisco Packet Tracer, a gente usava algum software para fazer análise, por exemplo, o wireshark para fazer análise dos pacotes e as outras aplicações eram as aplicações que estavam dentro do próprio switch ou roteador, as aplicações proprietárias da Cisco que são as implementações dos protocolos.</p> <p>[...] ajuda na fixação da teoria, assim, eu fui aluno do curso e quando eu era</p>

	aluno a gente não tinha acesso aos equipamentos, não existia equipamento, era tudo no quadro. Então assim a gente sabia da teoria, mas a gente não tinha a prática.”
Professor 4	“[...] gerenciador de máquinas virtuais, para gerenciar as VMs no Virtual Box, eu uso muito docker, container, kvm e Virtual Box, como eu já falei, o ns3, que é um simulador de redes, o gns3, que é outro, o Packet Tracer, como eu falei, o mininet também, para emular uma rede numa única máquina. Enfim, então basicamente são esses que me vem à cabeça agora são esses. [...]eu consigo representar um cenário de redes, por exemplo, envolvendo uma diversidade de dispositivos, eu consigo simular por exemplo uma rede IOT sem necessariamente ter um equipamento de internet das coisas. Eu consigo simular uma rede sdn sem necessariamente ter um conjunto de switches para fazer isso fisicamente.”

A análise dos dados revelou que os simuladores de rede são os principais *softwares* utilizados para o ensino de redes de computadores. Observou-se a necessidade de desenvolver um ambiente virtual imersivo que eleve o nível de simulação, permitindo aos usuários não apenas simular cenários de rede, mas também manipular dispositivos no ambiente virtual.

Código 6: Práticas laboratoriais à distância

Este código buscou compreender como os professores adaptaram as práticas laboratoriais para o ensino à distância, utilizando a pandemia de COVID-19 como referência. Antes desse período, muitas disciplinas não incluíam carga horária em à distância e precisaram ser ajustadas devido ao distanciamento social imposto pela pandemia. A Tabela 8 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 8: Trecho das entrevistas com os professores sobre a adaptação das práticas laboratoriais no ensino de Redes de Computadores à distância

Fonte	Trechos
Entrevista: Professor 1	“[...] Eram aulas 100% remotas. Utilizei tanto o WireShark, o packet tracer, quanto o visualizador de recursos do Windows.”
Entrevista: Professor 2	“[...]Falava do protocolo DNS, dos conceitos relacionados, então tinha esse momento de apresentação e em seguida eu apresentava o cenário: a gente vai precisar de um cliente, vai precisar de um servidor e eu passava a fazer essa configuração, ia fazendo a configuração e narrando esse momento.”
Entrevista: Professor 3	“[...] na pandemia eu estava afastado pro doutorado. [...] Agora assim, hoje em dia tem mais simulador, emulador, você tem o Mininet, tem uma gama de coisas, coisas que antigamente não existia. Na época que eu era aluno não existia, então era mais difícil, eu acho que apesar de um curso à distância o aluno não ter acesso aos equipamentos por um lado dificulta, mas com os ambientes de simulação e emulação que a gente tem hoje eu acho que já é um bom ganho.”
Entrevista: Professor 4	“[...] foi bem complicado porque eu tive que adaptar minha aula que eu rodava numa máquina no laboratório, para rodar no equipamento do aluno, em casa, que geralmente é um equipamento mais modesto, com menos capacidade de processamento, com menos memória. Então assim para mim foi bem complicado assim, eu considero que não consegui extrair o máximo das minhas disciplinas muito por conta dessa questão de infraestrutura.”

	Então o que eu fazia eu acabei montando um cenário mais parrudo na minha casa e muitas das coisas que eu queria que eles fizessem num laboratório praticando, mexendo, configurando, eu fazia na minha máquina e mostrava como é que eu fazia.”
--	---

Ao analisar os dados obtidos, conclui-se que os simuladores de rede apoiaram o ensino remoto. Percebeu-se a necessidade de desenvolvimento de um ambiente virtual imersivo online, multiusuário e colaborativo, no qual os usuários possam simular cenários de redes de computadores, além de compartilhar recursos e experiências.

Código 7: Desafios e Dificuldades

Este código teve como objetivo compreender as principais dificuldades e desafios enfrentados pelos professores ao utilizarem os laboratórios para o ensino de redes de computadores. A Tabela 9 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 9: Entrevistas com os professores sobre os Desafios e Dificuldades encontradas no uso dos laboratórios para o ensino de Redes de Computadores

Fonte	Trechos
Entrevista: Professor 1	“[...] tem a questão que tem vários alunos que não são tão abastados, nunca tiveram tanto contato com o computador, tem contato com celular, mas geralmente não tem contato tanto com o computador. A gente tem que baixar um pouquinho o nível e dar uma pequena introdução ao computador.”
Entrevista: Professor 2	“[...]acontece que a gente tem computadores que foram comprados bem antes da pandemia, acho que foi a última política de compras do governo federal, foi em 2016 por aí. Essas máquinas têm um hardware razoavelmente bom, mas elas são apoiadas em HDs, então o desempenho fica muito comprometido. [...]eu gosto experimentar, acho que a gente aprende experimentando, eu gosto de colocar o aluno para experimentar não de forma solta, de forma guiada.”
Entrevista: Professor 3	“[...] As dificuldades que nós temos são de infraestrutura elétrica e espaço físico, nosso campus é bem antigo e aí quando, por exemplo, falta energia ou às vezes a capacidade que foi dimensionada para o laboratório, a rede elétrica não suporta e desliga.”
Entrevista: Professor 4	“[...] Muitas, é até compreensível o pessoal que organiza os laboratórios, que faz a manutenção, tem um setor que faz a manutenção, e muitas vezes eles têm as políticas deles, as políticas do que pode e o que não pode instalar, como é que configura a máquina. E essas políticas de configuração dos laboratórios muitas vezes vão de encontro a algumas coisas que eu preciso na minha aula.”

Percebeu-se ao analisar os dados que as principais dificuldades estão relacionadas ao acesso dos alunos à equipamentos, infraestrutura e o nível de acesso aos equipamentos dos laboratórios. Diante das dificuldades apresentadas percebeu-se a necessidade de disponibilização de conteúdos iniciais relacionados a redes de computadores, maior liberdade de acesso aos equipamentos, escalabilidade e adaptabilidade do ambiente virtual imersivo.

Código 8: Sugestões

Considerando os desafios e dificuldades mencionados no código anterior, esta questão procurou avaliar as sugestões dos docentes sobre como mitigar ou superar esses obstáculos. O objetivo deste código foi identificar maneiras de atender a essas necessidades por meio do ambiente virtual imersivo proposto nesta pesquisa. A Tabela 10 apresenta os trechos obtidos relacionados a esse código.

Tabela 10: Trechos das entrevistas com os professores sobre as sugestões de enfrentamento aos desafios e dificuldades no uso dos laboratórios

Fonte	Trechos
Entrevista: Professor 1	“[...] Curso FIC, tanto para os alunos do fundamental, pro pessoal que tá entrando na verdade isso tem que ser parra os alunos que estão ingressando. Um curso FIC de introdução a computador, o básico do básico sobre o que é internet, o que é um navegador, o que é internet, dispositivos ativos, roteador e dispositivos finais.”
Entrevista: Professor 2	“[...] conversei com o pessoal do suporte e eles estão planejando uma atualização, pelo menos a troca de HD por SSD, para dar uma sobrevida aos equipamentos e conseqüentemente ter um apoio melhor para a disciplina. Então eu sempre chamo atenção para isso, essa realidade de que dentro de uma organização o funcionário, o colaborador, o administrador, tem que se deparar com as soluções, alguns alunos chegam para mim e perguntaram se poderiam trazer seu super notebook com SSD, 16 GB de Ram e tal e eu digo você pode até trazer, mas você vai fazer prova no computador do IF porque aí você vai se deparar com as soluções tendo limitações, a ideia não é criar um ambiente hostil, mas um ambiente realista. Essas dificuldades fazem parte do mundo real.”
Entrevista: Professor 3	“[...] é uma questão pontual da nossa infraestrutura. Talvez num Campus mais novo isso não aconteça.”
Entrevista: Professor 4	“[...] Eu acho que algumas possibilidades, por exemplo, laboratórios que são Laboratórios temáticos eu acho que poderia ser um laboratório de redes computadores onde, por exemplo, fosse possível que os professores alterassem as configurações das máquinas a partir da aula que ele precisa, não uma configuração fechada ali, com senha onde o professor não tem aquela liberdade de instalar software ou coisas do tipo. Eu acho que isso seria uma alternativa a outra o uso da própria tecnologia, como eu falei, eu tenho um projeto que eu pretendo mostrar que a aula virtualizada não só é mais fácil de gerenciar como o desempenho vai ser bem próximo daquela da máquina física real. E além de uso de outras ferramentas além da utilização de soluções que permitam virtualização, que permita o uso na nuvem, coisa desse tipo.”

Identificou-se a necessidade de um ambiente virtual imersivo adaptável que possa servir como uma ferramenta auxiliar e introdutória no processo de ensino e aprendizagem de Redes de Computadores. A análise dos dados ressalta a importância da escalabilidade do ambiente virtual imersivo, bem como da liberdade de acesso e configuração dos equipamentos no ambiente de aprendizagem.

As entrevistas foram conduzidas com o objetivo principal de compreender como os professores fazem uso dos laboratórios de informática e de redes, identificando os equipamentos utilizados no processo de ensino e aprendizagem, bem como os conteúdos geralmente abordados no

ensino de redes de computadores. Além disso, procurou-se entender as dificuldades enfrentadas na utilização desses laboratórios. A análise desses dados serviu como base para a elaboração dos cenários de interação que representaram os requisitos de interação da plataforma desenvolvida.

4.2. Cenários de interação

O processo de elaboração de cenários de interação retrata a prática humana como ocorre no presente e proporciona *insights* valiosos, destacando requisitos e limitações para o desenvolvimento de novos artefatos. Conforme Falcão et al. (2006) definem, os elementos que compõem um cenário incluem ambiente, atores e roteiro. O roteiro deve descrever uma sequência de ações e eventos, representando as atividades dos atores ao longo do episódio, os resultados dessas ações e as mudanças que ocorrem no ambiente. Os eventos descritos podem facilitar, obstruir ou ser irrelevantes para os objetivos dos atores.

Assim, a elaboração de cenários de interação não apenas registra o comportamento atual dos usuários, mas também antecipa como futuros sistemas podem ser desenvolvidos para atender melhor às suas necessidades e superar desafios. Esses cenários são essenciais para identificar potenciais problemas e oportunidades, orientando assim o desenvolvimento de soluções tecnológicas eficazes e adequadas ao contexto de uso. Portanto, após as análises dos dados obtidas por meio de codificação aberta, foram especificados os cenários de interação para o ambiente virtual imersivo desta pesquisa, permitindo aos alunos praticar conceitos relacionados a Redes de Computadores e participar de uma atividade sobre endereçamento IP, conteúdo presente nas disciplinas de redes de computadores dos cursos analisados. Durante a especificação dos cenários, além de considerar a análise dos dados coletados por meio da codificação aberta e dos simuladores de redes testados, foi incorporado um processo criativo para descrevê-los de maneira que as necessidades fossem melhor representadas na plataforma virtual.

Cenário de Interação 01: Identificação do usuário

Atores: Professores e alunos de cursos de tecnologia da informação com disciplinas na área de redes de computadores.

Ambiente: Um ambiente virtual imersivo e adaptável, projetado para atividades didáticas na área de redes de computadores.

Roteiro: Ao acessar o ambiente virtual imersivo através do menu de aplicativos do dispositivo *headset*, o usuário é encaminhado para uma área de identificação. Nesse ambiente, é oferecida a opção de identificação, onde o usuário deve interagir com o laser para inserir o nome. Para selecionar a opção, o usuário direciona o laser do controle do *headset*. Em seguida, é apresentado um campo para o usuário digitar seu nome, ao utilizar o laser e pressionar o botão do controle, é exibido um teclado virtual. O usuário interage com o teclado virtual usando o laser para inserir seu nome. Após digitar o nome, o usuário fecha o teclado virtual, tornando a opção de entrar no ambiente virtual disponível. O usuário também tem a opção de retornar para a tela anterior, se

necessário. Ao selecionar a opção de entrar, o usuário é direcionado para a sala inicial, que é uma sala de boas-vindas.

Cenário de Interação 02: Sala de boas-vindas e instruções

Atores: Professores e alunos de cursos de tecnologia da informação com disciplinas na área de redes de computadores.

Ambiente: Sala de instruções do ambiente virtual imersivo.

Roteiro: Ao ingressar na sala de boas-vindas, o usuário encontra opções que concedem acesso às informações sobre o projeto de pesquisa e ao manual de utilização dos controles do dispositivo empregado para acessar o ambiente imersivo. Essas informações estão também disponíveis em Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). Este ambiente é individual, ou seja, não é compartilhado com outros usuários. Na sala de boas-vindas, o usuário tem a possibilidade de alterar seu avatar. Os avatares disponíveis são exibidos, e o usuário pode selecionar um novo avatar utilizando botões no ambiente e o laser do controle. Além disso, o usuário pode interagir com itens 3D no ambiente para se familiarizar com os controles do dispositivo. Neste ambiente, há a opção de ingressar no ambiente virtual de aprendizagem. Ao selecionar essa opção, o usuário é direcionado para o espaço onde serão realizadas as atividades didáticas de sala de aula e laboratório.

Cenário de Interação 03: Tutorial dos controles do HMD abordando o Modelo OSI

Atores: Professores e alunos de cursos de tecnologia da informação com disciplinas na área de redes de computadores.

Ambiente: Ambiente virtual de aprendizagem.

Roteiro: Ao adentrar no ambiente virtual de aprendizagem, o usuário encontrará mais informações sobre o projeto, com a opção de acessá-las em LIBRAS. Essas informações orientam o usuário a realizar uma atividade tutorial para familiarização com os controles do *headset*. A atividade está relacionada ao Modelo OSI, onde cada camada é representada por um objeto 3D. Ao apontar o laser para o objeto 3D e pressionar o botão do controle, o usuário visualizará uma descrição da respectiva camada do Modelo OSI, conteúdo introdutório de redes de computadores. Utilizando a opção de garra dos controles do dispositivo, o usuário pode segurar os objetos 3D que representam cada camada. Neste espaço, há um objeto 3D no qual os objetos que representam as camadas devem ser encaixados e empilhados. O objetivo da atividade é empilhar, no espaço reservado, os objetos 3D na ordem correta das camadas do Modelo OSI. Essa atividade interativa não só auxilia na familiarização com os controles do *headset*, mas também reforça o aprendizado sobre as camadas do Modelo OSI de forma prática. Neste ambiente, há a possibilidade de interação e comunicação com os outros usuários, no entanto, cada usuário terá um conjunto de objetos para praticar. Após a conclusão da atividade, o usuário poderá explorar o ambiente virtual de aprendizagem.

Cenário de Interação 04: Auditório para atividades didáticas

Atores: Professores e alunos de cursos de tecnologia da informação com disciplinas na área de redes de computadores.

Ambiente: Auditório no ambiente virtual imersivo.

Roteiro: Esse ambiente virtual oferece uma área dedicada para aulas expositivas, onde os professores podem apresentar slides, vídeos, animações e outros materiais didáticos de forma dinâmica e interativa. Os alunos, representados por seus avatares, podem acomodar-se em representações 3D de assentos disponíveis nesse espaço. Em frente aos assentos, há uma tela grande onde o professor exhibe os conteúdos didáticos. Para alternar entre diferentes materiais didáticos, o professor pode usar botões interativos, acionados pelo laser do controle do *headset*. Este ambiente cria uma experiência de aprendizado envolvente, permitindo que os alunos se sintam presentes em uma sala de aula real, enquanto interagem com o conteúdo de maneira imersiva, atendendo à necessidade de um ambiente no qual possam ser desenvolvidas atividades semelhantes à sala de aula.

Cenário de Interação 05: Laboratório de Atividade sobre Endereçamento IP

Atores: Professores e alunos de cursos de tecnologia da informação com disciplinas na área de redes de computadores.

Ambiente: Laboratório de Endereçamento IP no ambiente virtual imersivo.

Roteiro: No Ambiente Virtual de Aprendizagem, há um laboratório virtual de redes que simula um espaço real com representações 3D de equipamentos de rede, como *access points*, *switches*, *firewalls*, *racks* e computadores. Os alunos podem interagir com esses equipamentos de várias maneiras, incluindo segurando-os, visualizando-os, colocando-os nos *racks*, vendo descrições e acessando suas configurações. Neste ambiente, o usuário é orientado a realizar uma atividade relacionada ao conteúdo introdutório de endereçamento IP. Um cenário de rede é apresentado ao aluno, que deve replicá-lo configurando os equipamentos disponíveis no ambiente. A ferramenta possibilita a configuração de endereços IP em diferentes dispositivos, com a tela de configuração dos dispositivos acessada por meio de um botão utilizando o laser do controle. Uma tela adicional mostra os dispositivos ativos e as conexões entre eles, permitindo que os alunos visualizem a topologia da rede. Através de interfaces visuais, os alunos podem aprender e praticar conceitos relacionados ao endereçamento IP, configurando os endereços IP nos dispositivos de rede e visualizando as conexões entre os dispositivos configurados. Cada aluno dispõe de um conjunto individual de equipamentos para realizar a atividade, embora a colaboração entre os alunos seja incentivada. Além disso, o professor pode acompanhar o processo, oferecendo orientações e suporte conforme necessário.

Os cenários de interação foram empregados na elaboração da versão de prova de conceito da ferramenta, a qual aborda o conteúdo programático associado ao Endereçamento IP. Tanto a arquitetura quanto a interface foram concebidas para acomodar outros ambientes virtuais e facilitar a implementação de uma variedade de atividades relacionadas à Computação.

5. PLATAFORMA NETVERSE EDU

Neste capítulo, são delineadas as etapas e as ferramentas empregadas no desenvolvimento da versão da plataforma NetVerse Edu utilizada para a avaliação da prova de conceito.

5.1. Análise de ambientes virtuais identificados na RSL

Conforme mencionado, um dos objetivos da RSL que norteou esta pesquisa foi encontrar plataformas ou ambientes virtuais imersivos que pudessem ser utilizados para desenvolver as atividades propostas neste trabalho. Utilizando a infraestrutura do Laboratório de Realidade Virtual e Aumentada (LARA) no IFPB Campus João Pessoa, foram realizados testes nas plataformas identificadas na RSL, considerando a possibilidade de desenvolvimento multiplataforma e a compatibilidade do ambiente com o HMD *Oculus Quest 2*. Após os testes iniciais, foram selecionadas três plataformas de Metaverso que seriam investigadas e testadas para o desenvolvimento do ambiente proposto nesta pesquisa: *AltSpace VR*², *Mozilla Hubs*³ e *Spatial*⁴.

AltSpaceVR é uma plataforma social de RV, lançada em 2015, que permite aos usuários criar e participar de eventos, reuniões e interações sociais em ambientes virtuais imersivos. Pioneira no espaço de RV social, proporciona um espaço onde pessoas de todo o mundo podem se encontrar e interagir como avatares 3D em tempo real. Em 2017, a Microsoft adquiriu *AltSpaceVR*, trazendo maior estabilidade financeira e novos recursos à plataforma. No entanto, durante o desenvolvimento desta pesquisa, foi anunciado que a *AltSpaceVR* encerraria suas operações. Em março de 2023, a plataforma encerrou definitivamente suas atividades.

Mozilla Hubs, lançada em 2018, é uma plataforma social de RV baseada na web que permite a criação e participação em eventos e encontros virtuais imersivos, acessíveis diretamente através de navegadores sem necessidade de downloads. A plataforma destaca-se pela facilidade de uso, onde qualquer pessoa pode criar um espaço virtual personalizado e convidar outros para interagir em tempo real. Compatível com uma ampla gama de dispositivos, incluindo *headsets* de RV como *Oculus Rift*, *Oculus Quest*, *HTC Vive* e dispositivos móveis, o *Mozilla Hubs* oferece flexibilidade e personalização, permitindo o *upload* de modelos 3D e a criação de ambientes sob medida. Contudo, durante os testes, a plataforma apresentou incompatibilidades com o navegador e com os controles do *Oculus Quest 2*. Em janeiro de 2024, a Mozilla anunciou o encerramento da plataforma como parte de uma reestruturação estratégica.

Spatial.io é uma plataforma de RA e RV que permite a criação e colaboração em ambientes 3D imersivos. Projetada para facilitar reuniões, apresentações e colaborações, a plataforma é compatível com uma variedade de dispositivos HMDs, incluindo o *Oculus Quest 2*, e oferece

² <https://www.meta.com/pt-br/experiences/2133027990157329/>

³ <https://hubs.mozilla.com>

⁴ <https://www.spatial.io/>

suporte multiplataforma, permitindo que usuários de diferentes dispositivos colaborem no mesmo ambiente virtual. A integração com *Unity* é outro ponto forte do *Spatial.io*, permitindo criar e importar conteúdos personalizados para os ambientes virtuais do *Spatial.io*. Isso significa que empresas e criadores podem desenvolver soluções específicas para suas necessidades, incorporando elementos visuais, interativos e funcionais únicos aos seus espaços virtuais.

Embora o *Spatial.io* ofereça uma plataforma robusta e versátil para a criação de ambientes virtuais imersivos, existem algumas limitações em relação à utilização de *scripts*, especialmente quando comparado com ambientes desenvolvidos com a plataforma *Unity*. Durante a realização dos testes, uma das principais limitações observadas foi a restrição na personalização por meio de *scripts*. Embora o *Spatial.io* permitisse a criação de ambientes virtuais utilizando *softwares* como o *Unity*, ele não oferecia a mesma flexibilidade para a implementação de *scripts* personalizados. Várias atualizações da plataforma ocorreram durante os testes no LARA, no entanto, a liberação de *scripts* personalizados só ocorreu, com limitações, em janeiro de 2024.

Essas limitações da plataforma *Spatial.io* impediram a sua utilização para o desenvolvimento do ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores desta pesquisa, visto que as atividades a serem desenvolvidas possuíam escopos específicos e exigiam a codificação das interações no ambiente virtual. Diante dos resultados dos testes, decidiu-se desenvolver um ambiente específico para a pesquisa, utilizando o ambiente de desenvolvimento *Unity 3D*.

5.2. Unity – Plataforma de desenvolvimento de Ambientes Virtuais Imersivos

Diante das dificuldades encontradas na utilização dos ambientes virtuais imersivos identificados durante a RSL e para evitar o risco de dependência de uma plataforma específica, optou-se pela utilização do *Unity* para o desenvolvimento do ambiente virtual imersivo proposto nesta pesquisa.

*Unity*⁵ é uma plataforma amplamente utilizada no desenvolvimento de ambientes virtuais e imersivos, abrangendo uma vasta gama de aplicações que vão desde jogos e simulações de treinamento até educação e visualização arquitetônica. Fundada em 2004, a *Unity Technologies* tem evoluído continuamente, proporcionando aos desenvolvedores ferramentas robustas para criar experiências interativas bi e tridimensionais. O editor visual do *Unity* possui uma interface amigável que facilita a manipulação de objetos 3D e a configuração de cenas, permitindo que os desenvolvedores visualizem mudanças em tempo real. Além disso, o motor gráfico avançado da *Unity* suporta renderização em tempo real com gráficos de alta qualidade, oferecendo sombreamento, iluminação global e efeitos visuais avançados que contribuem para a criação de ambientes virtuais realistas.

⁵ <https://unity.com/pt>

O *Unity* oferece suporte para o desenvolvimento de aplicações de RV e RA, com integração nativa a SDKs de RV e RA, incluindo *Oculus*, *SteamVR*, *ARKit* e *ARCore*. Ferramentas como o *XR Interaction Toolkit (XRIT)*, utilizado para as interações da plataforma desenvolvida nesta pesquisa, simplificam a criação de interações naturais em ambientes RV e RA, permitindo que os desenvolvedores implementem controles de movimento, interações com objetos e *feedback* háptico. A plataforma também suporta uma ampla variedade de dispositivos de entrada, como controladores de movimento e rastreadores de posição, essenciais para interações precisas e responsivas em ambientes RV. A utilização do *Unity* pode garantir a continuidade da plataforma NetVerse Edu, assim como a possibilidade de desenvolvimento de uma aplicação multiplataforma e *open source*.

5.3. XR Interaction Toolkit

O *XRIT*⁶ é uma ferramenta integrada ao *Unity*, projetada para simplificar o desenvolvimento de aplicações de RV e RA. Esta ferramenta é especialmente útil para criar experiências imersivas e interativas, oferecendo uma ampla gama de componentes pré-fabricados e sistemas que facilitam a implementação de interações naturais em ambientes virtuais. Sua integração com o *Unity* proporciona uma plataforma robusta e versátil para desenvolvedores, permitindo a criação de aplicativos avançados para dispositivos de RV, como o *Oculus Quest 2*.

Esta ferramenta oferece uma série de funcionalidades que permitem implementar rapidamente controles de movimento, interações com objetos e *feedback* háptico. Esses componentes incluem controladores de movimento, mãos virtuais, botões interativos, alavancas, entre outros recursos. Com essas funcionalidades, é possível criar cenários complexos e interativos, economizando tempo e recursos.

Dentre as vantagens do *XRIT*, podemos destacar sua integração perfeita com o *Unity*. A interface intuitiva do *Unity*, combinada com as capacidades do *XRIT*, permite que os desenvolvedores visualizem e testem suas interações em tempo real. Isso resulta em um processo de desenvolvimento mais eficiente e iterativo, onde as mudanças podem ser implementadas e verificadas rapidamente. Além disso, a flexibilidade do *Unity* permite a personalização e o ajuste das interações conforme necessário, garantindo que a experiência final seja otimizada.

Para o desenvolvimento da plataforma NetVerse Edu, utilizada no *Oculus Quest 2*, o *XRIT* ofereceu suporte nativo, facilitando a criação das experiências imersivas neste HMD específico. O *Oculus Quest 2*, com seus avançados recursos de rastreamento de movimento e controlador, aproveita as capacidades do *XRIT* para permitir a implementação de interações intuitivas, como segurar e soltar objetos, pressionar botões e manipular o ambiente virtual usando componentes pré-fabricados.

6

5.4. Modelagem e construção do Ambiente Virtual

Para compor o ambiente virtual da plataforma NetVerse Edu, utilizou-se os dados do código 4, equipamentos e recursos físicos, obtidos por meio das entrevistas semiestruturadas. Com o objetivo de criar um espaço imersivo e realista, foram inseridos objetos 3D no ambiente, representando os dispositivos do cenário de rede proposto na atividade de endereçamento IP.

Foram adotadas duas estratégias para a modelagem do ambiente virtual: utilização de objetos 3D prontos do *Sketchfab* e modelagem personalizada de objetos. O *Sketchfab*⁷ é uma plataforma online amplamente utilizada que permite a visualização, compartilhamento, venda e compra de modelos 3D. Com uma vasta biblioteca de modelos criados por artistas de todo o mundo, o *Sketchfab* oferece a possibilidade de acessar uma gama de objetos de alta qualidade, muitos dos quais são gratuitos. Essa disponibilidade, aliada à facilidade de importação de modelos do *Sketchfab* para o *Unity*, reduziu significativamente o tempo e os recursos necessários para modelar o NetVerse Edu, contribuindo para o processo de desenvolvimento da plataforma.

Nos casos em que não foi possível encontrar objetos adequados no *Sketchfab*, a modelagem personalizada com *Blender*⁸ mostrou-se uma solução viável, embora seja necessário considerar a curva de aprendizado dessa ferramenta. O *Blender* é um *software* de modelagem 3D gratuito e de código aberto, utilizado tanto por amadores quanto por profissionais da indústria 3D. O *software* oferece um conjunto abrangente de ferramentas para modelagem, texturização, animação, simulação e renderização de objetos 3D, permitindo a criação de modelos detalhados e precisos. Os modelos criados no *Blender* puderam ser facilmente exportados para o *Unity*, mantendo todos os detalhes e texturas, prontos para serem integrados em projetos de RV, RA e jogos. Essa compatibilidade ampliou as possibilidades para a criação dos ambientes educativos imersivos do NetVerse Edu.

5.5. Multiusuários, Comunicação e Sincronização do Ambiente Virtual

Para atender à necessidade de um ambiente virtual imersivo em tempo real, onde docentes e discentes pudessem interagir, utilizou-se o SDK *Photon Unity Networking*⁹(PUN) para criar uma plataforma multiusuário, com capacidade de persistência, sincronização e comunicação por voz. O PUN é um kit de desenvolvimento para *Unity*, fornecido pela *Exit Games*, que simplifica a criação de jogos e aplicações *multiplayer*, permitindo a sincronização de dados e interações em tempo real entre múltiplos usuários conectados a um servidor central ou por meio de um sistema *peer-to-peer*. A facilidade de integração com projetos *Unity*, somada aos componentes prontos, torna o desenvolvimento de aplicações multiusuários mais acessível. Além disso, operando em servidores

⁷ <https://sketchfab.com/>

⁸ <https://www.blender.org/>

⁹ <https://www.photonengine.com/pun>

em nuvem, o PUN facilita a escalabilidade e a manutenção, minimizando a necessidade de preocupação com a infraestrutura de servidor.

Esta ferramenta oferece versões gratuitas e pagas, cada uma com características específicas que atendem a diferentes necessidades de desenvolvimento e escalabilidade. As versões permitem a escolha da opção que melhor se adequa ao projeto, seja ele um pequeno jogo ou uma aplicação *multiplayer* de grande escala. A versão gratuita do PUN, utilizada no desenvolvimento do ambiente desta pesquisa, é ideal para desenvolvedores independentes e pequenos projetos em fase inicial de desenvolvimento ou testes. Uma das principais características desta versão é o limite de 20 usuários simultâneos por aplicação.

Para projetos que exigem mais recursos, o PUN *Plus*, oferece características avançadas. O PUN Plus pode ser adquirido com um pagamento único, permitindo até 100 usuários simultâneos e oferecendo a opção de hospedagem em servidores próprios ou em nuvem. Durante o desenvolvimento, não há limite de usuários simultâneos, facilitando testes mais amplos. Além disso, inclui serviços *premium* como suporte prioritário e balanceamento de carga, operando em um modelo de assinatura contínua para atualizações e suporte. Nesta versão, o número de usuários simultâneos está relacionado ao valor da assinatura. Para o desenvolvimento da plataforma NetVerse Edu, a versão gratuita do PUN foi suficiente. No entanto, durante o desenvolvimento do ambiente proposto nesta pesquisa, o projeto *Photon PUN* foi substituído pelo SDK *Photon Fusion*¹⁰. Embora o *Photon PUN* continue funcional, os desenvolvedores recomendam a utilização do Fusion para novos projetos.

5.6. Plataforma NetVerse Edu

O ambiente virtual imersivo proposto nesta pesquisa e utilizado para a prova de conceito foi desenvolvido com base nos cenários de interação especificados a partir dos dados coletados por meio da codificação aberta. A Figura 9 apresenta as telas de identificação dos usuários, conforme os requisitos especificados no cenário de interação 01.

Figura 9: Telas do ambiente para identificação dos usuários



A imagem à esquerda mostra a tela inicial do ambiente virtual, onde o usuário pode escolher a opção de inserir o nome. A imagem central exibe a tela para inserção da identificação do usuário, enquanto a imagem à direita apresenta a opção de conectar após o nome do usuário ser informado. O nome inserido será utilizado para identificar o avatar no ambiente virtual de aprendizagem. Após

¹⁰ <https://www.photonengine.com/fusion>

concluir a identificação e selecionar a opção "Conectar", o usuário é direcionado para a Sala de Boas-Vindas, conforme especificado no cenário de interação 02. A Figura 10 ilustra as telas nas quais são apresentadas as instruções de uso dos controles do HMD no ambiente virtual, bem como informações sobre o projeto desenvolvido nesta pesquisa.

Figura 10: Telas de Instruções e informações sobre o projeto na Sala de Boas-Vindas



No ambiente virtual da Sala de Boas-Vindas, há dois botões: "Instruções", que dá acesso à tela à esquerda da imagem, e "Sobre", que exhibe a tela à direita da imagem. O usuário pode ativar a tradução do texto em LIBRAS por meio do botão de acessibilidade mostrado na tela. Neste ambiente, o usuário também pode selecionar o avatar que irá representá-lo no ambiente virtual imersivo de aprendizagem do NetVerse Edu. Para selecionar o avatar, o usuário deve utilizar os botões disponíveis na base do seletor, conforme demonstrado na Figura 11, que mostra a tela de seleção do avatar.

Figura 11: Seleção do Avatar



Após interagir com os objetos na Sala de Boas-Vindas e selecionar um avatar, o usuário pode entrar no ambiente de aprendizagem, onde as atividades didáticas podem ser desenvolvidas. A Figura 12 mostra a tela de acesso a este ambiente.

Figura 12: Tela de acesso ao ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu



No canto inferior direito da imagem de acesso ao ambiente virtual de aprendizagem, é possível ver o número de usuários ativos. Ao selecionar a opção "Entrar", o usuário é direcionado

para o ambiente temático. Ao entrar no ambiente de Aprendizagem do NetVerse Edu, o usuário verá uma tela de boas-vindas com informações sobre a pesquisa e orientações para a realização da atividade tutorial dos controles do HMD. Essas informações também estão disponíveis em LIBRAS. Neste ambiente, os usuários podem interagir e colaborar entre si. A Figura 13 mostra a tela de boas-vindas do ambiente.

Figura 13: Tela de boas-vindas do ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu



Ao lado da tela de boas-vindas, o usuário terá acesso à atividade tutorial dos controles do HMD. Essa atividade visa familiarizar os usuários com as funcionalidades dos controles do dispositivo no ambiente virtual, além de abordar conteúdos relacionados a redes de computadores, especificamente o Modelo OSI. A Figura 14 ilustra as telas associadas a essa atividade.

Figura 14: Atividade relacionada ao Modelo OSI



A imagem à esquerda mostra os blocos 3D que representam as camadas do Modelo OSI. Ao apontar o laser para o nome da camada e apertar o gatilho do controle, o usuário verá uma breve descrição da camada. Também é possível segurar os blocos utilizando o botão de garra dos controles. A imagem no centro exibe o espaço onde os blocos devem ser empilhados na sequência correta, de acordo com o Modelo OSI. Além de praticar a utilização dos controles, essa atividade visa revisar os conceitos relacionados ao Modelo, conforme especificado no cenário de interação 03. Após interagir com os objetos e praticar a utilização dos controles, o usuário poderá explorar o ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu.

Além das interações especificadas pelos cenários de interação, foi incluída uma sala temática, a Sala de Equipamentos. Nesse ambiente, os usuários podem interagir com diversos dispositivos de rede e ter acesso a explicações interativas sobre os equipamentos, suas funcionalidades e utilização em cenários de redes de computadores. A Figura 15 ilustra este ambiente.

Figura 15: Sala de Equipamentos



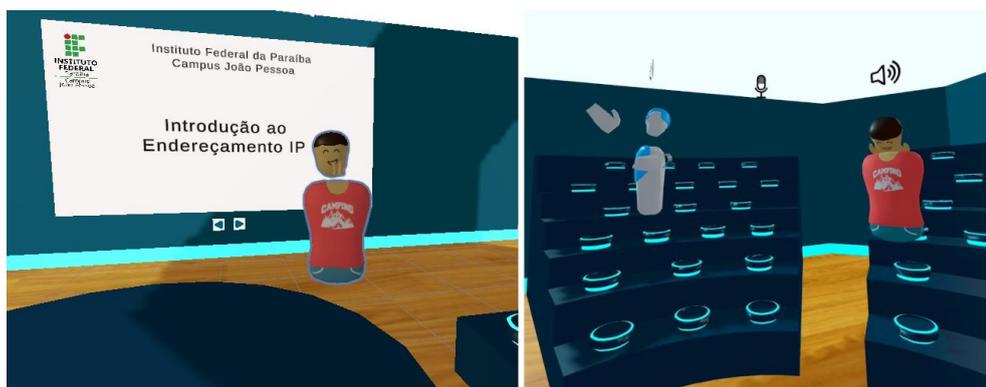
Neste ambiente, foi incluído um Quiz com questões relacionadas a Redes de Computadores. Os usuários podem iniciar o quiz e selecionar as respostas utilizando o laser e o botão do controle para interagir com a atividade. As questões são carregadas aleatoriamente a partir de um arquivo XML, e é possível adicionar novas questões sobre redes de computadores ou outros tópicos relevantes para o ambiente virtual. A Figura 16 mostra o Quiz do NetVerse Edu.

Figura 16: Quiz NetVerse Edu



Para a realização das atividades didáticas de sala de aula, conforme especificado no cenário de interação 04, foi desenvolvido um ambiente de auditório. A Figura 17 mostra este ambiente.

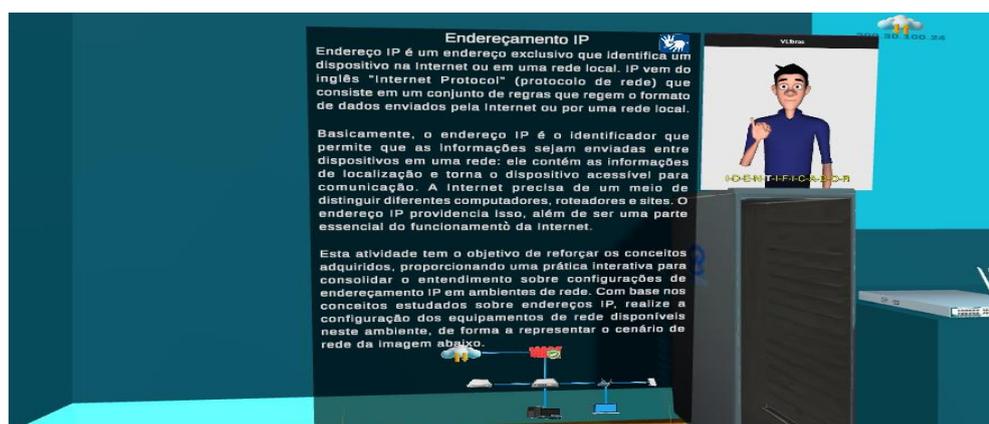
Figura 17: Auditório virtual do NetVerse Edu



A imagem à esquerda exibe a tela onde o docente pode apresentar materiais didáticos relacionados aos conteúdos abordados no ambiente virtual. À direita, está o espaço onde os discentes podem posicionar seus avatares para acompanhar as atividades. Usando o laser e os botões abaixo da tela, é possível alternar entre as páginas do conteúdo didático, que neste caso trata de Endereçamento IP.

Após participar da atividade no auditório, os usuários podem praticar os conceitos no Laboratório de Endereçamento IP do NetVerse Edu. O laboratório foi desenvolvido para atender às especificações do cenário de interação 05. Neste ambiente, foram dispostos objetos 3D que representam equipamentos utilizados em cenários de rede. A Figura 18 ilustra a tela com o conteúdo relacionado ao tema abordado e a explicação da atividade.

Figura 18: Atividade sobre Endereçamento IP



Neste ambiente, os usuários encontrarão uma bancada com dispositivos que podem ser manipulados através dos controles do HMD. No Laboratório de Endereçamento IP, foram inicialmente incluídos os seguintes equipamentos: um *switch*, um *access point*, um servidor de rede, um disco SAS, um *firewall*, um smartphone, um notebook e um desktop. Todos os objetos foram configurados para simular condições físicas reais, como gravidade e colisões com outros itens. Os usuários podem segurar os dispositivos usando os botões de garra do controle. A Figura 19 ilustra a tela com a bancada e os equipamentos disponíveis no ambiente.

Figura 19: Laboratório de endereçamento IP do NetVerse Edu



Cada equipamento no ambiente possui botões que permitem acessar informações e configurar o IP do dispositivo correspondente. Para visualizar a explicação sobre o equipamento, o usuário deve interagir com o botão em formato de interrogação utilizando o laser, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Tela com informações sobre o switch

Para acessar a tela de configuração do dispositivo, o usuário deve interagir com o ícone em formato de engrenagem. Nesta tela, é possível configurar o IP do equipamento. Ao apontar o laser para o campo de texto IP e apertar o botão do controle, um teclado virtual é exibido para digitar o endereço IP. A Figura 21 mostra a tela de configuração de um dos equipamentos.

Figura 21: Tela de configuração do IP do switch

Sobre a bancada está posicionado um *dashboard* que exibe a tela do cenário de rede. Este *dashboard* mostra os dispositivos ativos, os IPs configurados, uma representação gráfica das conexões entre os dispositivos no ambiente. Para ativar o *switch*, o servidor e o *firewall*, o usuário deve segurar os dispositivos e encaixá-los no rack ao lado da bancada. Dispositivos que não se encaixam no rack podem ser ativados através de uma opção na tela de configuração. A Figura 22 ilustra a tela do cenário de rede e os dispositivos encaixados no rack.

Figura 22: Tela de apresentação do cenário de rede



A imagem exibe a tela do cenário de rede com o *firewall*, o *switch* e o *access point* ativos, além da representação gráfica das conexões entre os dispositivos. A conexão entre o *firewall* e o *switch* está configurada corretamente. No entanto, a conexão entre o *access point* e o *switch*, bem como a conexão entre o *firewall* e o ícone de nuvem (representando o *gateway*) apresentam falhas, que são representadas de forma visual e textual no *dashboard*, devido à configuração incorreta do IP. Esta atividade visa abordar de forma imersiva os conceitos iniciais de endereçamento IP. A plataforma descrita neste capítulo foi utilizada para a avaliação do estudo de viabilidade. Um vídeo de demonstração do ambiente virtual está disponível no link: <https://youtu.be/7Qs9x5CaIr0>].

6. ESTUDO DE VIABILIDADE

Neste capítulo, são apresentados os métodos utilizados para a avaliação do ambiente virtual imersivo empregado como prova de conceito nesta pesquisa, bem como a análise dos resultados obtidos em relação à aceitação da tecnologia e à percepção da carga cognitiva pelos usuários.

6.1. Análise da Aceitação da Tecnologia de acordo com o modelo TAM

Conforme afirmam Al-Adwan et al. (2023), o TAM foi criado para entender os fatores cognitivos e psicológicos que afetam a aceitação de novas tecnologias. De acordo com o TAM, a Intenção de Uso é um fator importante na adoção e utilização da tecnologia. Essa intenção é influenciada pelas atitudes em relação ao uso da tecnologia e pela percepção de utilidade. As atitudes são determinadas pelas percepções de utilidade e facilidade de uso percebida. Variáveis externas também influenciam Utilidade Percebida e Facilidade de Uso Percebida. Assim, o TAM possibilita a inclusão de outros fatores que impulsionam a adoção de uma tecnologia específica por meio de variáveis externas.

Para a validação da prova de conceito, foi utilizada a infraestrutura do LARA no IFPB Campus João Pessoa. Atualmente, o laboratório possui seis óculos de RV do tipo HMD, modelo *Oculus Quest 2*, que proporcionam um alto nível de imersão e interatividade. Esses óculos possuem telas de alta resolução posicionadas em frente aos olhos, permitindo uma experiência imersiva, e possibilitam a manipulação dos objetos virtuais por meio de controles ou até mesmo com as próprias mãos. Através desses recursos tecnológicos, foi realizada a validação do ambiente virtual imersivo desenvolvido durante esta pesquisa.

A avaliação contou com a participação de 9 usuários, sendo 5 discentes de cursos de computação do IFPB Campus João Pessoa, 3 discentes do Campus Santa Rita e 1 docente do Curso Tecnólogo em Sistemas para Internet. Os usuários tiveram a oportunidade de explorar colaborativamente os ambientes virtuais utilizando os óculos de RV, fornecendo *feedback* sobre a experiência de uso, interações físicas e lógicas com os equipamentos virtuais e suas percepções. Para esta atividade, foi elaborado um roteiro que incluiu uma apresentação inicial da pesquisa e da plataforma desenvolvida, seguida pelo acesso ao ambiente virtual do NetVerse Edu. O Apêndice B detalha o roteiro das atividades realizadas durante o teste da plataforma.

Ao término do teste do ambiente virtual foi aplicado um questionário, elaborado com base nos indicadores do TAM, sobre o grau de aceitação em relação ao ambiente virtual NetVerse Edu, os resultados obtidos foram analisados de forma quantitativa. O questionário foi dividido em quatro categorias: Utilidade Percebida, que demonstra a percepção do usuário em relação ao quanto a ferramenta pode ser útil ou relevante para o propósito educacional. Facilidade de Uso Percebida que tem como objetivo obter a percepção dos usuários em relação a utilização do ambiente e a realização das atividades propostas. Intenção de Uso para verificar a percepção dos usuários em relação a disposição de indicar a plataforma para outras pessoas e a intenção usá-la novamente. E Sugestões ou comentários, composto por uma questão aberta, com o objetivo de obter *insights* e sugestões de

melhorias para a plataforma. As questões relacionadas a utilidade percebida, facilidade de uso percebida e intenção de uso utilizaram a Escala de Likert, medição frequentemente usada em pesquisas e questionários, para cada questão havia quatro alternativas: A) Discordo Totalmente, B) Discordo, C) Concordo e D) Concordo Totalmente. A Tabela 11 apresenta as respostas em relação à essas categorias e na Tabela 12 tem-se as sugestões e comentários dos usuários em relação a plataforma NetVerse Edu.

Tabela 11: Respostas aos indicadores do questionário TAM

Utilidade Percebida				
Questões	A	B	C	D
Q1 - Este ambiente virtual imersivo é útil para conhecer equipamentos redes de computadores.				9
Q2 - Este ambiente virtual imersivo ajuda na compreensão de conceitos relacionados à disciplina de redes de computadores.				9
Q3 - Este ambiente virtual imersivo oferece uma maneira de explorar cenários práticos de configuração e resolução de problemas em redes de computadores.			2	7
Q4 - Eu acredito que o uso deste ambiente virtual imersivo pode melhorar minha compreensão dos princípios e protocolos de redes de computadores.			1	8
Q5 - Consegui interagir com o professor e meus colegas dentro do ambiente imersivo		1	2	6
Facilidade de Uso Percebida				
Q6 - Este ambiente virtual imersivo é fácil de usar para aprender sobre redes de computadores.			4	5
Q7 - Consegui aprender a navegar e interagir com os recursos deste ambiente virtual imersivo.			1	8
Q8 - Os controles e a interface deste ambiente virtual imersivo são fáceis de entender.			4	5
Q9 - Eu me sinto confortável realizando tarefas relacionadas a redes de computadores dentro deste ambiente virtual imersivo.			1	8
Intenção de Uso				
Q10 - Você usaria este ambiente virtual imersivo regularmente como parte de seus estudos sobre redes de computadores?		2	3	4
Q11 - Estou disposto a recomendar este ambiente virtual imersivo a outros estudantes ou profissionais da área de redes de computadores			1	8

A) Discordo Totalmente; B) Discordo Parcialmente; C) Concordo Parcialmente; D) Concordo Totalmente

Ao analisar as respostas do questionário, constatou-se que na categoria de Utilidade Percebida, 87% dos usuários concordaram totalmente com as questões apresentadas, indicando uma percepção positiva de utilidade. Na categoria de Facilidade de Uso Percebida, 73% dos usuários também concordaram totalmente, sugerindo que a interface e as funcionalidades do ambiente foram consideradas intuitivas e acessíveis. A categoria de Intenção de Uso revelou uma maior divisão:

44% dos usuários expressaram a intenção de utilizar o ambiente virtual imersivo regularmente como parte de seus estudos, enquanto 89% concordaram totalmente que recomendariam o ambiente a outros profissionais e estudantes da área. A análise detalhada desses resultados, obtidos por meio da aplicação do modelo TAM, será discutida na Seção 6.3.

Entre as sugestões dos participantes, a maioria ressaltou a importância de aprimorar a interação entre os usuários e o *feedback* das tarefas. Em resposta, foram adicionadas mais atividades colaborativas ao ambiente virtual imersivo, como a sala de equipamentos e o quiz, além de mais *feedbacks* visuais e textuais relacionados às atividades. O processo de avaliação permitiu identificar pontos fortes e áreas de melhoria nos ambientes criados, com o objetivo de otimizá-los para um melhor aproveitamento no ensino à distância de redes de computadores. Após o *feedback* da validação, foram realizados ajustes nos ambientes virtuais, incorporando as sugestões e observações dos participantes. Essas revisões buscaram aprimorar a usabilidade, interatividade e eficácia dos ambientes, com o intuito de oferecer uma experiência de aprendizagem mais enriquecedora para os estudantes.

Tabela 12: Sugestões e comentários dos usuários em relação a plataforma NetVerse Edu

Usuários	Sugestão/Comentário
01	“Parabéns! Indico para quem desejaria aperfeiçoar os conhecimentos na área de redes e áreas correlatas.”
02	“O ambiente virtual imersivo foi uma ótima ferramenta de aprendizagem, apresentando conhecimento teórico e prático sobre o assunto abordado. Além disso, ainda foi possível interagir com os objetos e com os demais usuários, como se estivéssemos num ambiente 'real'. A sugestão seria ter atividades mais colaborativas com todos os estudantes se ajudando para responder às atividades propostas.”
03	“Experiência muito agradável, foi possível aprender sobre o modelo OSI e endereçamento IP, lembrando conceitos primordiais e relevantes para o contexto. O fluxo de execução para completar as tarefas é bem trabalhado e nos permite uma visão completa de como funciona o endereçamento IP.”
04	“Fiquei bastante satisfeito com a experiência, mas não acho que é uma dinâmica para se fazer frequentemente.”
05	“Nas informações da sala de equipamentos, acredito que possa alterar os blocos de textos para algo mais interativos, talvez "fluxogramas animados". Acho que assim deixaria mais interessante a prática do estudo.”
06	“Muito ‘massa’! Minha sugestão é tornar mais imersivo na parte cooperativa (player com player).”
08	“Muito interessante e promissor. Acredito que só faltou mais <i>feedbacks</i> para solução das tarefas.”
09	“Acho interessante abrir a possibilidade de interação entre estudantes no caso de tarefas ou atividades colaborativas. Destaco também a necessidade de treinamento do usuário sobre os comandos dos controles remotos. Parabéns pelo trabalho!”

6.2. Teste de Carga de Trabalho – NASA TLX

O NASA TLX, desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (HART, 1986), é um método que avalia múltiplas dimensões da carga de trabalho, incluindo demanda mental, demanda física, demanda temporal, esforço, desempenho e frustração conforme descrito na Tabela 13. Cada uma dessas dimensões é ponderada e classificada pelo participante, permitindo uma análise detalhada da experiência subjetiva de carga de trabalho. Conforme afirma Hertzum (2021), o NASA TLX é uma ferramenta amplamente aceita para medir a carga de trabalho percebida por indivíduos ao realizar tarefas específicas. O método é conhecido por sua simplicidade e eficácia, o que o torna popular em diversas áreas, como aviação, saúde, engenharia e design de sistemas.

A aplicação do NASA TLX envolve a coleta de dados através de um questionário autorrelatado onde os participantes avaliam a carga de trabalho percebida em cada uma das seis dimensões mencionadas em uma escala linear com valores entre 0 e 100. Existem duas variações principais na forma de calcular a pontuação final do NASA TLX: a versão ponderada e a versão bruta. Na versão ponderada, os participantes atribuem pesos de importância relativa a cada dimensão, refletindo o quanto cada fator contribui para a carga de trabalho geral. Em seguida, eles classificam a intensidade da carga em cada dimensão após completar a tarefa. A pontuação final é calculada combinando as classificações de intensidade com os pesos atribuídos, resultando em uma medida composta que fornece uma visão abrangente da carga de trabalho percebida. Na versão bruta, no entanto, não são atribuídos pesos às dimensões; em vez disso, a pontuação final é a média das classificações de intensidade, simplificando o processo de cálculo.

Tabela 13: Descrição das dimensões do NASA TLX

Dimensão	Endpoints	Descrição
Demanda Mental	Baixa/Alta	Quanta atividade mental e perceptual foi necessária (por exemplo, pensar, decidir, calcular, lembrar, observar, procurar etc.)? A tarefa foi fácil ou exigente, simples ou complexa, rigorosa ou tolerante?
Demanda Física	Baixa/Alta	Quanta atividade física e mental foi necessária (por exemplo, empurrar, puxar, girar, controlar, ativar etc.)? A tarefa foi fácil ou exigente, lenta ou rápida, relaxada ou extenuante, repousante ou trabalhosa?
Demanda Temporal	Baixa/Alta	Quanto de pressão de tempo você sentiu devido à velocidade ou ritmo com que as tarefas ou elementos da tarefa ocorreram? O ritmo foi lento e tranquilo ou rápido e frenético?
Desempenho	Bom/Ruim	Quão bem-sucedido você acha que foi em atingir os objetivos da tarefa definidos pelo experimentador (ou por você mesmo)? Quão satisfeito você ficou com seu desempenho em atingir esses objetivos?
Esforço	Baixo/Alto	Quanto você teve que se esforçar (mentalmente e fisicamente) para alcançar o seu nível de desempenho?
Frustração	Baixa/Alta	Quão inseguro, desanimado, irritado, estressado e incomodado, em comparação com seguro, satisfeito, contente, relaxado e complacente, você se sentiu durante a tarefa?

Nesta pesquisa, foi utilizada a versão bruta do NASA TLX para avaliar a carga de trabalho percebida pelos estudantes no ambiente virtual imersivo NetVerse Edu e utilizada a interpretação dos valores de referência proposta por Prabaswari, Basumerda e Utomo (2019), conforme demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14: Pontuação de interpretação do NASA TLX

Carga de Trabalho	Média
Baixa	0-9
Média	10-29
Moderada	30-49
Alta	50-79
Muita alta	80-100

Para avaliar a carga de trabalho percebida no ambiente virtual imersivo NetVerse Edu, desenvolvido para o ensino de redes de computadores, foi realizado um estudo com 9 usuários. Os participantes interagiram com o ambiente imersivo e completaram as atividades propostas. Após a conclusão, responderam ao questionário NASA TLX em sua versão bruta, classificando a intensidade da carga de trabalho percebida nas seis dimensões definidas pelo método. A Tabela 14 apresenta as pontuações atribuídas por cada participante, além da média calculada para cada uma dessas dimensões. A análise detalhada dos resultados será discutida na próxima seção.

Tabela 15: Resultados da Avaliação de Carga de Trabalho Percebida Utilizando o NASA TLX

Usuário	Demanda Mental	Demanda Física	Demanda Temporal	Esforço	Desempenho	Frustração	Média
01	90	90	90	70	20	0	60
02	60	50	50	50	20	10	40
03	80	40	50	80	10	30	48,33
04	70	70	20	70	0	0	38,33
05	30	30	40	50	0	0	25
06	60	30	0	30	0	0	20
07	40	70	0	60	30	20	36,67
08	80	50	70	90	20	20	55
09	80	20	50	40	100	0	48,33
Média	65,56	50	41,11	60	22,22	8,89	41,30

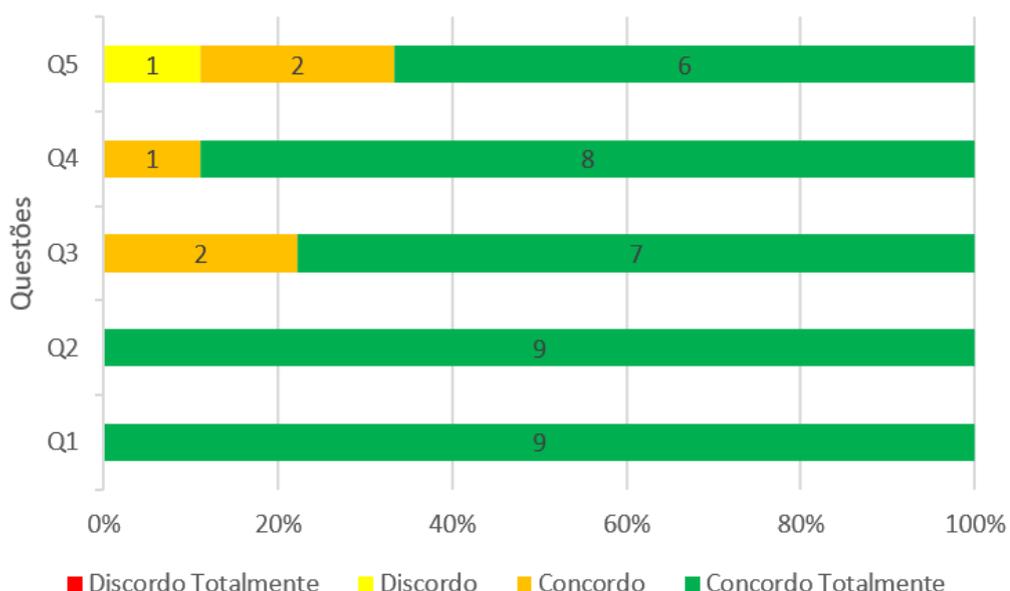
6.3. Análise dos Resultados

A análise dos resultados do TAM indicou uma percepção majoritariamente positiva quanto à Utilidade Percebida do ambiente virtual imersivo NetVerse Edu, voltado ao ensino de redes de computadores. Todos os participantes consideraram o ambiente uma ferramenta útil para a aprendizagem, especialmente na familiarização com equipamentos e compreensão dos conceitos da disciplina. Nas questões Q1 e Q2, todos os usuários concordaram totalmente, sugerindo que o ambiente atende aos seus objetivos pedagógicos.

No entanto, os dados também indicam áreas que podem ser aprimoradas. Embora a maioria dos participantes tenha reconhecido a utilidade do ambiente para explorar cenários práticos de configuração e resolução de problemas (Q3), houve uma leve variação nas respostas, com dois usuários apenas concordando, e não concordando totalmente, quanto à eficácia nesse aspecto. Isso sugere que, embora o ambiente ofereça uma boa base para a prática de redes de computadores, ele pode ser melhorado para proporcionar experiências mais imersivas e realistas que reforcem a aplicação prática dos conhecimentos teóricos.

A interação no ambiente virtual (Q5) também apresentou divergências, com um participante discordando da eficácia dessa funcionalidade. Apesar do sucesso do ambiente em muitos aspectos, ainda existem desafios relacionados à comunicação e colaboração entre os usuários. Vale destacar que, embora o ambiente permita atividades colaborativas, os participantes foram orientados a seguir um roteiro individual, o que pode ter limitado a interação. A Figura 23 apresenta os resultados do TAM em relação à Utilidade Percebida.

Figura 23: Utilidade Percebida

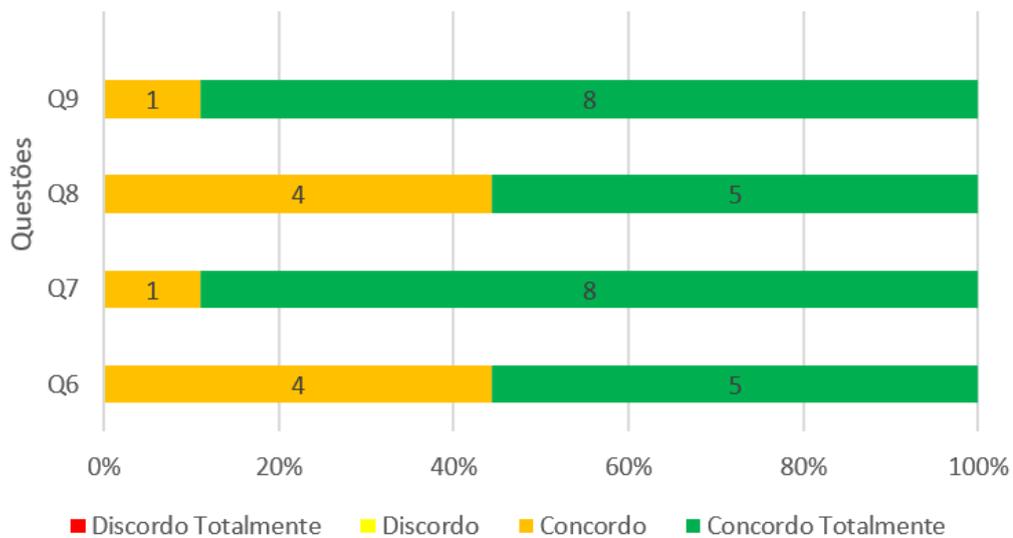


Os resultados sobre a Facilidade de Uso Percebida revelam uma avaliação predominantemente positiva por parte dos usuários. Na Q6, que aborda a facilidade geral de uso para o aprendizado de redes de computadores, 5 dos 9 participantes concordaram totalmente, enquanto os outros 4

concordaram, indicando que, embora a facilidade de uso seja amplamente reconhecida, alguns usuários ainda enxergam oportunidades de melhoria. Nas questões Q7 e Q9, que avaliam a navegação e o conforto ao realizar tarefas no ambiente, 8 dos 9 participantes concordaram totalmente, o que demonstra que a maioria encontrou pouca ou nenhuma dificuldade nas funcionalidades. Apenas um participante não concordou totalmente, o que pode, sugerir pequenos desafios ao utilizar o ambiente, como a necessidade de maior familiaridade com as ferramentas ou a existência de uma curva de aprendizado para utilização do dispositivo.

A Q8, que trata da facilidade de compreensão dos controles e da interface, apresentou resultados semelhantes aos da Q6, com 5 respostas "Concordo Totalmente" e 4 "Concordo". Embora a maioria dos usuários considere os controles intuitivos, uma parte significativa ainda identifica áreas que poderiam ser melhoradas para aprimorar a usabilidade. Em resumo, os dados sugerem que, apesar da aceitação positiva em relação à facilidade de uso, há espaço para ajustes que possam tornar o ambiente ainda mais acessível e confortável. A Figura 24 apresenta os resultados sobre a Facilidade de Uso Percebida.

Figura 24: Facilidade de Uso Percebida

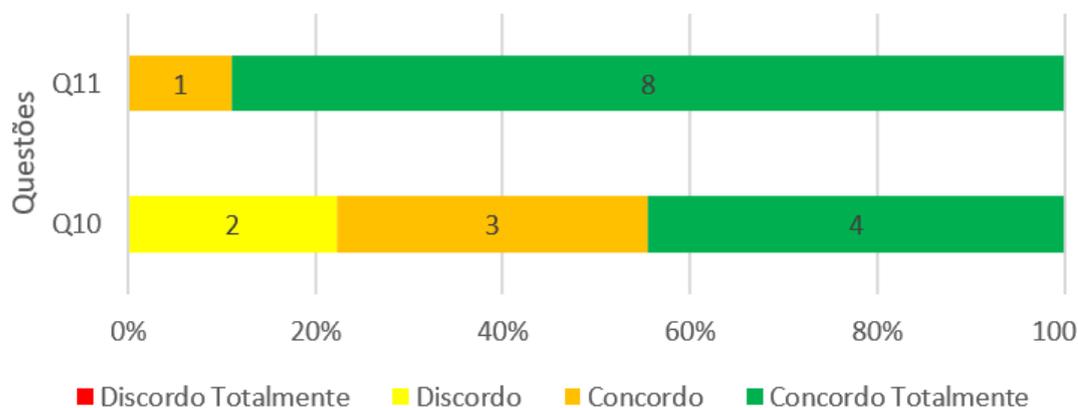


A análise dos resultados sobre a Intenção de Uso revelou uma divisão entre as percepções dos usuários. Na Q10, que avalia a disposição dos participantes em utilizar o ambiente regularmente em seus estudos, 4 usuários concordaram totalmente, 3 concordaram e 2 discordaram. Essa variação sugere que, embora a maioria reconheça o valor do uso contínuo do ambiente, uma parcela dos participantes não se sente suficientemente motivada a usá-lo de forma recorrente. As razões para essa hesitação podem estar ligadas a limitações no conteúdo, na experiência de uso ou a preferências individuais por outras abordagens de aprendizagem. Além disso, foram levantadas questões de saúde e cansaço, com alguns usuários relatando fadiga e solicitando pausas durante os testes.

Na Q11, que mede a disposição dos participantes em recomendar o ambiente a outros estudantes ou profissionais, os resultados foram mais homogêneos. Oito participantes concordaram totalmente, e apenas um concordou, indicando que a maioria considera o ambiente útil e eficaz, a

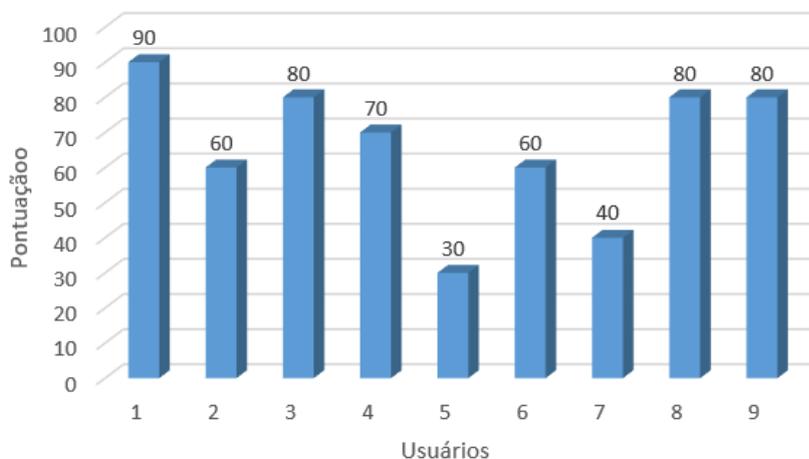
ponto de recomendá-lo a outros. Em síntese, como previsto pelo modelo TAM, esses resultados refletem a percepção positiva em relação à Utilidade e à Facilidade de Uso. A Figura 25 ilustra os resultados obtidos para a Intenção de Uso.

Figura 25: Intenção de Uso

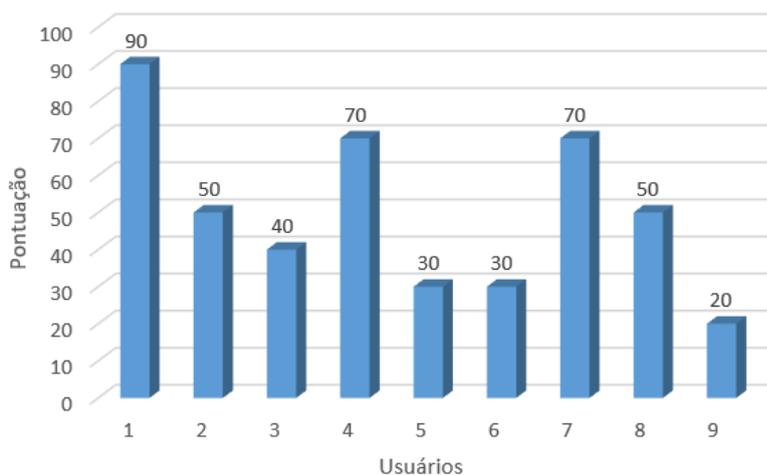


Após a análise dos resultados sobre a aceitação do ambiente virtual imersivo com base no modelo TAM, explorou-se outra dimensão da experiência do usuário: a carga cognitiva percebida durante a utilização da ferramenta. Enquanto o TAM focou nos aspectos de usabilidade e intenção de uso, o NASA TLX complementou essa avaliação ao investigar a percepção da carga cognitiva, proporcionando uma análise mais abrangente da experiência no ambiente imersivo.

A análise da demanda mental, com base nos resultados do teste NASA TLX, revelou que os usuários consideraram as atividades no ambiente virtual cognitivamente desafiadoras. A média de 65,56 classifica essa demanda como "Alta", indicando que as tarefas exigiram considerável atenção, raciocínio e processamento de informações. A variação das respostas, com pontuações de 30 a 90, sugere que, enquanto alguns usuários experimentaram uma carga mental elevada, outros tiveram uma experiência mais equilibrada. Fatores como a complexidade das interações, o volume de informações processadas e a familiaridade com o ambiente e os dispositivos podem ter influenciado essas percepções. A Figura 26 apresenta os resultados da aplicação do NASA TLX em relação à Demanda Mental.

Figura 26: Demanda Mental – NASA TLX

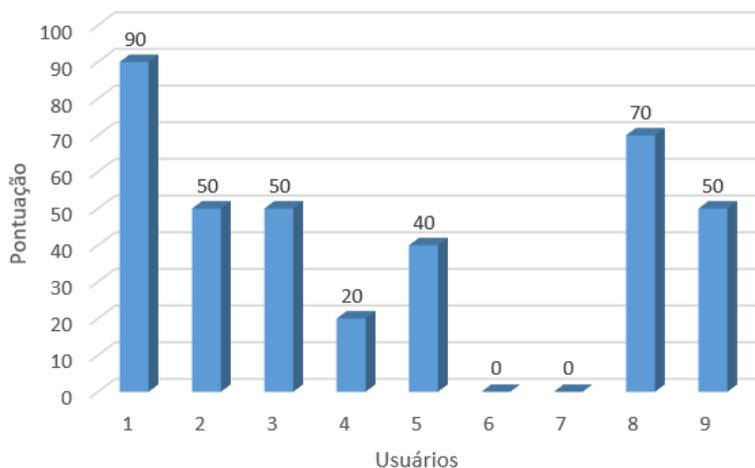
A análise da demanda física revelou que os usuários perceberam um esforço físico levemente elevado ao interagir com o ambiente virtual imersivo. Com uma média de 50, a demanda física foi classificada como "Alta", indicando que as tarefas exigiram um nível significativo de movimentação e ações corporais. Esse resultado pode estar relacionado à realização de gestos repetitivos, interações manuais ou ao uso de controles que demandam esforço físico prolongado. A alta demanda física pode estar associada à interface e aos dispositivos de entrada utilizados. Por exemplo, o ambiente virtual imersivo desenvolvido e testado nesta pesquisa exige movimentos contínuos do corpo, braços e mãos, o que pode aumentar a percepção de esforço físico. A Figura 27 apresenta os resultados relacionados à Demanda Física.

Figura 27: Demanda Física – NASA TLX

A análise da Demanda Temporal revelou que os usuários perceberam uma carga temporal moderada ao interagir com o ambiente virtual imersivo, com uma média de 41,1. Isso indica que a maioria dos participantes enfrentou alguma exigência de gerenciamento de tempo, mas sem uma sensação extrema de urgência. As pontuações variaram de 0 a 90, e essa variação na percepção pode estar relacionada tanto à familiaridade dos usuários com os tópicos abordados e com o dispositivo

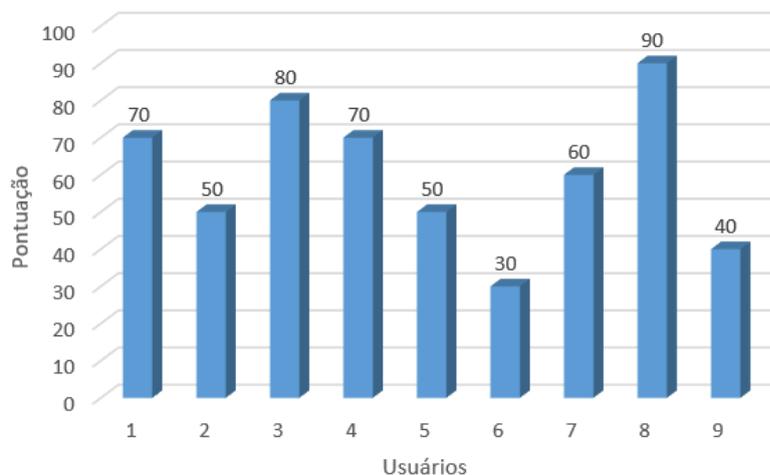
HMD quanto à complexidade das atividades propostas. A Figura 28 apresenta os resultados referentes à Demanda Temporal.

Figura 28: Demanda Temporal – NASA TLX



A análise da dimensão de esforço revelou que os usuários perceberam um elevado nível de empenho necessário para realizar as atividades no ambiente virtual imersivo. Com uma média de 60,00, o esforço foi classificado como "Alto", indicando que os participantes sentiram a necessidade de se dedicar intensamente para completar as tarefas. As respostas variaram entre 30 e 90, refletindo a complexidade técnica do conteúdo e das interações exigidas pelo ambiente. A alta demanda de esforço pode estar relacionada à combinação de desafios cognitivos e físicos impostos pelo ambiente virtual imersivo, especialmente em tarefas que requerem simultaneamente raciocínio, concentração e interação física. A Figura 29 apresenta os resultados referentes ao esforço percebido pelos usuários.

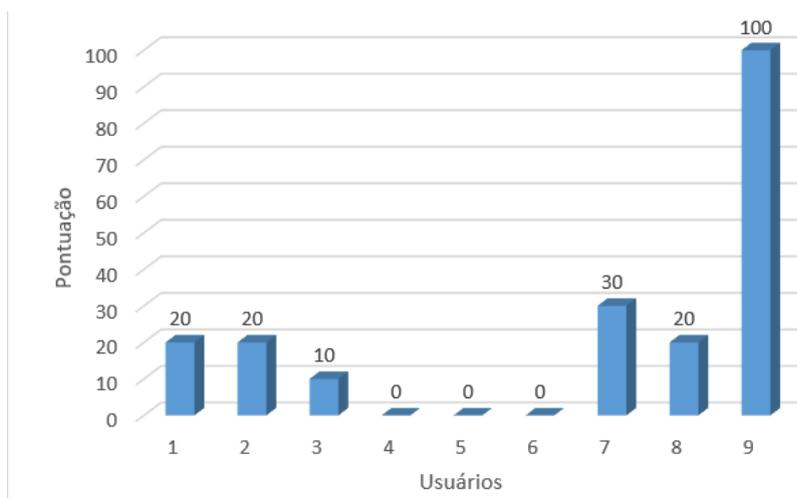
Figura 29: Esforço – NASA TLX



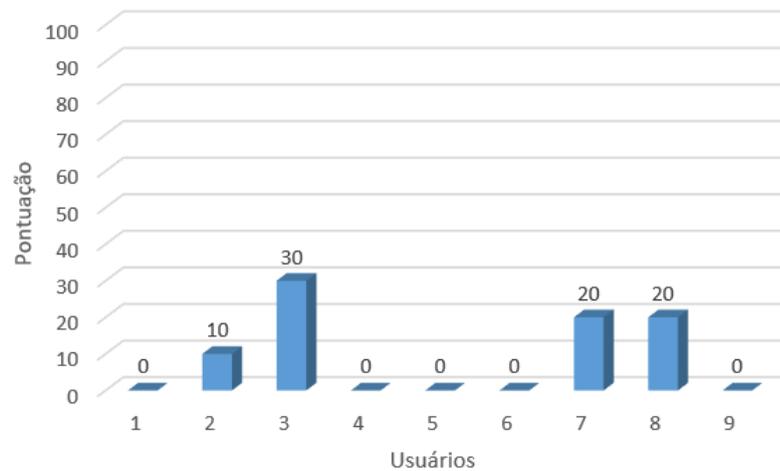
A análise da dimensão de desempenho revelou que os usuários expressaram uma satisfação moderada com a capacidade de realizar tarefas no ambiente virtual imersivo. Com uma média de 22,22, o desempenho foi classificado como "Médio". Contudo, uma possível inconsistência foi

observada na pontuação de um usuário, que atribuiu uma nota extremamente alta (100) ao desempenho. Dado que a escala de desempenho do NASA TLX é invertida — com notas mais altas indicando uma percepção de menor sucesso — e que essa informação foi claramente comunicada aos participantes antes e durante o preenchimento do questionário, é possível que esse usuário tenha interpretado a escala incorretamente. Mesmo desconsiderando a avaliação desse usuário, a dimensão de desempenho permaneceria classificada como “Média”, com o valor recalculado de 12,5. A Figura 30 apresenta os resultados referentes ao desempenho percebido pelos usuários.

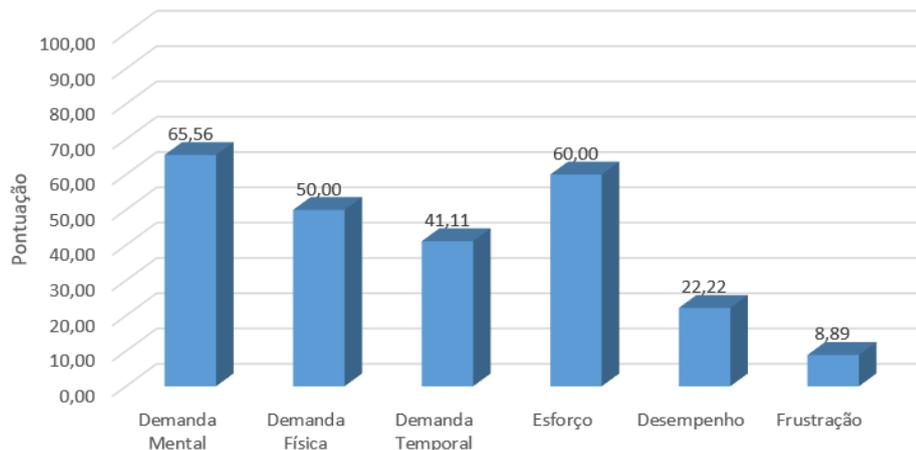
Figura 30: Desempenho – NASA TLX



A análise da dimensão de frustração no NASA TLX revelou que a maioria dos usuários experimentou níveis baixos de frustração ao interagir com o ambiente virtual imersivo. Com uma média de 8,89, essa dimensão foi classificada como "Baixa", indicando que a maioria dos participantes não enfrentou grandes obstáculos ou desconfortos durante as atividades. As pontuações variaram de 0 a 30, com muitos usuários relatando valores próximos a zero, o que sugere uma experiência relativamente tranquila e sem contratemplos significativos. A Figura 31 apresenta os resultados obtidos em relação à percepção de frustração pelos usuários.

Figura 31: Frustração – NASA TLX

A análise dos resultados do NASA TLX revelou variações significativas nas percepções dos usuários sobre as diferentes dimensões de carga de trabalho ao interagir com o ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores. As dimensões de demanda mental e esforço apresentaram os maiores índices, classificando-se como "alta" carga, o que indica que as tarefas foram percebidas como cognitivamente desafiadoras e exigiram um considerável empenho dos participantes. A Figura 31 ilustra a comparação entre os resultados obtidos para cada dimensão do NASA TLX.

Figura 32: Médias das Dimensões do NASA TLX

7. CONCLUSÕES, AMEAÇAS A VALIDADE E TRABALHOS FUTUROS

A tecnologia e a educação têm uma relação intrínseca e longa, com as contribuições tecnológicas se expandindo no ritmo dos avanços tecnológicos. As ferramentas tecnológicas podem atuar como um suporte eficaz no processo de ensino-aprendizagem, o que também se aplica às tecnologias de Realidade Aumentada, Virtual e Mista. No entanto, o uso de tecnologias imersivas na educação ainda enfrenta desafios, como a exclusão digital, altos custos, produção de conteúdo didático e falta de infraestrutura adequada. A pesquisa acadêmica tem um papel importante na busca por formas de integrar essas tecnologias ao ambiente educacional, superando tais obstáculos.

Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade de um ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores, além de medir o nível de aceitação por parte dos discentes de cursos de computação e a carga de trabalho percebida durante o uso. Destaca-se o caráter pioneiro desta pesquisa no Instituto Federal da Paraíba no que diz respeito à aplicação dessa tecnologia no ensino de computação.

A pesquisa iniciou-se com uma revisão sistemática da literatura, visando identificar plataformas disponíveis, recursos tecnológicos empregados e, principalmente, as limitações no uso de ambientes imersivos na educação. Os resultados mostraram que a maioria das plataformas disponíveis são proprietárias e apresentam certa instabilidade na manutenção, o que pode comprometer o desenvolvimento contínuo de ambientes educacionais. As dificuldades destacadas incluíram o acesso limitado à tecnologia, o desenvolvimento de ambientes imersivos e o desconforto físico, como enjoos causados pelos dispositivos. Além disso, a revisão revelou uma escassez de estudos sobre o uso desses ambientes por pessoas com deficiência. Esses resultados influenciaram o direcionamento da pesquisa.

Em resposta à primeira questão de pesquisa, o ambiente virtual imersivo NetVerse Edu demonstrou ser uma solução viável como ferramenta de apoio ao ensino de Redes de Computadores a distância. Esta viabilidade foi fortemente sustentada pelo uso de ferramentas *open source*, o que eliminou, para fins educacionais, a dependência de plataformas proprietárias. Dessa forma, foi possível criar um ambiente imersivo flexível e expansível. O ambiente desenvolvido pode ser ampliado para outras áreas da computação, promovendo um espaço virtual de aprendizagem multidisciplinar. A continuidade do projeto é viabilizada pela expertise adquirida ao longo da pesquisa e pela infraestrutura fornecida pelo LARA no IFPB Campus João Pessoa.

Quanto à segunda questão de pesquisa, os resultados indicaram que a percepção de utilidade do ambiente virtual imersivo para o ensino de redes de computadores pelos estudantes foi positiva. Os participantes reconheceram o valor do NetVerse Edu como uma ferramenta útil para a aprendizagem, destacando sua eficácia na familiarização com equipamentos e na compreensão de conceitos técnicos. As respostas indicaram que o ambiente atende aos objetivos pedagógicos, oferecendo uma experiência benéfica e enriquecedora para o aprendizado de redes de computadores. Em termos de facilidade de uso, os resultados mostraram que a maioria dos usuários considera o

ambiente intuitivo e acessível. A alta avaliação da facilidade de navegação e da compreensão dos controles sugere que o design do ambiente é eficiente e facilita a interação dos usuários.

Embora a aceitação do ambiente virtual tenha sido positiva, refletida na alta disposição dos usuários para recomendá-lo a outros, a intenção de uso regular mostrou uma maior divisão. Alguns participantes demonstraram hesitação em integrar o ambiente como parte constante de seus estudos. Isso sugere que, apesar do reconhecimento da utilidade e da facilidade de uso da plataforma NetVerse Edu, ainda existem barreiras à adoção contínua desta tecnologia como ferramenta educacional.

Finalmente, em relação à percepção da carga de trabalho, a terceira questão de pesquisa revelou que os estudantes perceberam uma carga de trabalho considerável, especialmente em termos de demanda mental e esforço. A demanda mental foi classificada como "Alta", refletindo a significativa exigência cognitiva das tarefas no ambiente, o que pode estar associado à complexidade das atividades e à necessidade de concentração para lidar com os conceitos abordados e o uso do dispositivo.

A carga de trabalho física e temporal também apresentou um impacto moderado na percepção dos estudantes. A demanda física foi classificada como "Moderada", indicando que as interações físicas necessárias no ambiente imersivo exigiram um nível moderado de esforço dos usuários. A demanda temporal também foi classificada como "Moderada", sugerindo que, embora os estudantes tenham sentido alguma pressão de tempo, essa dimensão não foi excessivamente desgastante para a maioria dos participantes. Essas dimensões combinadas mostram que o ambiente virtual imersivo gerou uma carga de trabalho equilibrada entre as exigências físicas e temporais, com maior ênfase na carga mental.

O esforço percebido foi classificado como "Alto", refletindo a necessidade de uma dedicação significativa para completar as tarefas propostas. Esse nível elevado de esforço, aliado à alta demanda mental, sugere que os estudantes precisaram se engajar ativamente para navegar e interagir com o ambiente de forma eficaz. Apesar dessas exigências, os níveis de frustração relatados foram baixos, indicando que, mesmo diante de uma carga de trabalho elevada, os estudantes não se sentiram excessivamente frustrados ou incapazes de realizar as atividades.

Assim, os resultados mostram que, embora o ambiente virtual imersivo exija um alto nível de esforço e engajamento mental, ele proporciona uma experiência desafiadora, mas produtiva, sem gerar altos níveis de desconforto ou frustração.

7.1. Ameaças à Validade

Uma possível ameaça à validade da pesquisa está relacionada ao tamanho amostral limitado, que pode não representar adequadamente a diversidade de perfis de usuários, comprometendo a generalização dos resultados. Com apenas 9 participantes, há o risco de que as percepções obtidas reflitam um grupo homogêneo em termos de experiência e familiaridade com tecnologias imersivas. Para mitigar essa ameaça, pretende-se realizar futuros estudos com uma amostra mais ampla e

diversificada, incluindo participantes com diferentes níveis de conhecimento técnico e características demográficas variadas, como idade e grau de experiência com ambientes virtuais imersivos. Isso pode permitir uma avaliação mais robusta das percepções de utilidade, facilidade de uso e aceitação do ambiente imersivo. Nesse sentido, já há, no grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação, um estudo em andamento com o objetivo de realizar uma análise mais aprofundada, além de explorar as percepções dos usuários em diferentes plataformas.

Outra ameaça à validade é a possibilidade de viés de resposta devido ao contexto limitado de uso do ambiente virtual imersivo. Como os participantes realizaram as interações em um ambiente controlado e com objetivos específicos, seus *feedbacks* podem ter sido influenciados por essa situação. Além disso, a falta de familiaridade com ambientes virtuais imersivos pode levar a respostas influenciadas pela novidade, sem que os participantes tenham experimentado o uso prolongado. Para mitigar essa ameaça, faz-se necessário conduzir avaliações longitudinais, permitindo que os participantes utilizem o ambiente em situações mais diversas e reais ao longo do tempo. Assim, análises mais aprofundadas e contínuas poderiam revelar percepções mais precisas sobre a aceitação e a eficácia da ferramenta educacional.

Por fim, outra possível ameaça à validade interna da pesquisa é a influência de fatores externos não controlados durante a aplicação do teste, como o ambiente físico em que os participantes utilizaram o ambiente virtual imersivo. Fatores como ruído, interrupções ou dificuldades técnicas podem ter afetado a percepção dos usuários sobre a carga de trabalho, introduzindo variações que não refletem exclusivamente o ambiente virtual imersivo. Para reduzir esse impacto, faz-se necessário padronizar as condições de teste, assegurando que todos os participantes utilizem os dispositivos em ambientes controlados. Além disso, mais análises e avaliações são necessárias para investigar como diferentes variáveis, como o nível de familiaridade com o tema de redes de computadores, influenciam a percepção da carga de trabalho no ambiente virtual imersivo, a fim de obter resultados mais robustos e confiáveis.

Em conjunto, essas ações buscam mitigar as ameaças à validade, fortalecendo a confiabilidade e a robustez da pesquisa ao avaliar a efetividade do uso de um ambiente virtual imersivo no ensino de redes de computadores.

7.2. Propostas para Continuação da Pesquisa

Como trabalhos futuros, propõe-se a adaptação do ambiente virtual imersivo para outras plataformas, como smartphones e computadores, visando ampliar a acessibilidade da ferramenta a um público mais vasto, dado o desafio de acesso a dispositivos de VR. Esta adaptação possibilitará a realização de estudos comparativos entre as diferentes plataformas, analisando como a usabilidade e a aceitação do ambiente variam em dispositivos móveis e desktops. Além disso, pretende-se avaliar se o impacto pedagógico do ambiente se mantém consistente, independentemente da tecnologia utilizada.

Outra linha de pesquisa sugerida é a integração de ferramentas de simulação de redes com os objetos virtuais do ambiente imersivo. A inclusão de *softwares* como GNS3 ou *Cisco Packet Tracer* pode enriquecer a experiência dos estudantes, possibilitando uma avaliação mais aprofundada de como essas ferramentas de simulação influenciam a percepção de utilidade e a facilidade de uso do ambiente virtual imersivo.

Além disso, recomenda-se a aplicação dos modelos NASA TLX e TAM nas novas plataformas (smartphones e computadores) e a subsequente comparação dos resultados obtidos entre as diferentes plataformas. O objetivo é identificar como a carga cognitiva e a aceitação variam entre os dispositivos e verificar se a RV oferece, de fato, uma vantagem significativa em termos de imersão e aprendizado. Esta comparação pode fornecer dados valiosos sobre a eficácia do ambiente virtual em diferentes contextos tecnológicos e oferecer *insights* sobre o formato mais eficiente para promover o aprendizado.

Finalmente, propõe-se a investigação da acessibilidade de pessoas com deficiência em ambientes virtuais imersivos, com o objetivo de identificar as barreiras enfrentadas por estudantes com deficiência ao utilizar essas tecnologias e avaliar as soluções existentes para tornar o ambiente mais inclusivo. Tal investigação pode contribuir para a compreensão das adaptações tecnológicas necessárias para garantir a inclusão plena desses usuários no processo de ensino e aprendizagem em ambientes virtuais imersivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ADWAN, Ahmad Samed et al. Extending the Technology Acceptance Model (TAM) to Predict University Students' Intentions to Use Metaverse-Based Learning Platforms. *Education and Information Technologies*, p. 1-33, 2023.
- ALPALA, Luis Omar et al. Smart factory using virtual reality and online multi-user: Towards a metaverse for experimental frameworks. *Applied Sciences*, v. 12, n. 12, p. 6258, 2022.
- ALSALEH, Saleh et al. ReImagine Lab: Bridging the Gap Between Hands-On, Virtual and Remote Control Engineering Laboratories Using Digital Twins and Extended Reality. *IEEE Access*, v. 10, p. 89924-89943, 2022.
- AMARAL, Érico Marcelo Hoff do et al. Laboratório virtual de aprendizagem: uma proposta taxonômica. *RENOTE: revista novas tecnologias na educação [recurso eletrônico]*. Porto Alegre, RS, 2011.
- ARDINY, Hadi; KHANMIRZA, Esmaeel. The role of AR and VR technologies in education developments: opportunities and challenges. In: 2018 6th rsi international conference on robotics and mechatronics (icrom). IEEE, 2018. p. 482-487.
- BARRY, Dana M. et al. Evaluation for students' learning manner using eye blinking system in Metaverse. *Procedia computer science*, v. 60, p. 1195-1204, 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base nacional comum curricular. Brasília, DF: MEC, 2022. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br>>
- CRESPO, Rubén González et al. Use of ARIMA mathematical analysis to model the implementation of expert system courses by means of free software *OpenSim* and *Sloodle* platforms in virtual university campuses. *Expert systems with applications*, v. 40, n. 18, p. 7381-7390, 2013.
- DAVIS, Fred D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, p. 319-340, 1989.
- DEVEAUX, Cyan; BAIENSON, Jeremy. Learning about VR in VR. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, v. 29, n. 1, p. 14-19, 2022.
- DÍAZ, Jairo. Virtual world as a complement to hybrid and mobile learning. *International journal of emerging technologies in learning (IJET)*, v. 15, n. 22, p. 267-274, 2020.
- DOMA, Oğuz Orkun; ŞENER, Sinan Mert. Dreamscape Bricks VR: An Experimental Virtual Reality Tool for Architectural Design. *Interaction Design and Architecture (s)*, v. 52, p. 234-258, 2022.
- DWIVEDI, Yogesh K. et al. Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, v. 66, p. 102542, 2022.
- FALCÃO, T. P.; GOMES, A. S. Design de interfaces tangíveis educacionais: uma metodologia baseada em contexto. *Proceedings of VII Brazilian symposium on Human factors in computing systems. Anais...2006*
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; FRAGA-LAMAS, Paula. Forging the Industrial Metaverse Towards Industry 5.0: Where Augmented/Mixed Reality, IIoT, Opportunistic Edge Computing and Digital Twins Meet. *IEEE Access*, 2024.

FRANCO, Alejandro A. et al. From Battery Manufacturing to Smart Grids: Towards a Metaverse for the Energy Sciences. *Batteries & Supercaps*, v. 6, n. 1, p. e202200369, 2022.

GALVEZ, Daniel et al. Virtual Laboratory, a Learning Resource for Distance Education. In: 2022 IEEE 28th International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) & 31st International Association For Management of Technology (IAMOT) Joint Conference. IEEE, 2022. p. 1-6. Citado na página XX

GARAVAND, Ali; ASLANI, Nasim. Metaverse phenomenon and its impact on health: A scoping review. *Informatics in Medicine Unlocked*, p. 101029, 2022.

GUO, Hung-Jui et al. Augmented reality and mixed reality measurement under different environments: A survey on head-mounted devices. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 71, p. 1-15, 2022.

HART, Sandra G. NASA task load index (TLX). 1986.

HEDRICK, Emily et al. Teaching & learning in virtual reality: Metaverse classroom exploration. In: 2022 Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC). IEEE, p. 1-5, 2022.

HERTZUM, Morten. Reference values and subscale patterns for the task load index (TLX): a meta-analytic review. *Ergonomics*, v. 64, n. 7, p. 869-878, 2021.

HODA, R.; NOBLE, J.; MARSHALL, S. Developing a grounded theory to explain the practices of self-organizing Agile teams. *Empirical Software Engineering*, v. 17, n. 6, p. 609–639, 2012.

JACAÚNA, Ricardo Daniell Prestes; MÜLLER, Miriam Garcia; DE MENEZES, Crediné Silva. O Uso de Laboratórios Virtuais por educandos com Deficiência Visual/Cegos no Ensino de Ciências: Uma Revisão Sistemática de Literatura. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 20, n. 1, p. 91-101, 2022. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/126513>. Acesso em: 20 jun. 2024.

JEONG, Yuseon; CHOI, Seonan; RYU, Jeeheon. Work-in-progress—Design of LMS for the shared campus in metaverse learning environment. 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN). IEEE, p. 1-3, 2022.

JOVANOVIĆ, Aleksandar; MILOSAVLJEVIĆ, Aleksandar. VoRtex Metaverse platform for gamified collaborative learning. *Electronics*, v. 11, n. 3, p. 317, 2022.

KANEMATSU, Hideyuki et al. Virtual STEM class for nuclear safety education in metaverse. *Procedia computer science*, v. 35, p. 1255-1261, 2014.

KAVIYARAJ, R.; UMA, M. Augmented reality application in classroom: an immersive taxonomy. In: 2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT). IEEE, 2022. p. 1221-1226.

KHANSULIVONG, Chithtisack; WICHA, Santichai; TEMDEE, Punnarumol. Adaptive of New Technology for Agriculture Online Learning by Metaverse: A Case Study in Faculty of Agriculture, National University of Laos. 2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON). IEEE, p. 428-432, 2022.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. M. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE 2007-001. Keele University and Durham University Joint Report, 2007.

- KYE, Bokyoung et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. *Journal of educational evaluation for health professions*, v. 18, 2021.
- LEE, HyeJin; HWANG, Yohan. Technology-enhanced education through VR-making and metaverse-linking to foster teacher readiness and sustainable learning. *Sustainability*, v. 14, n. 8, p. 4786, 2022.
- LEE, I.; SUNG, Y. M.; KIM, T. The Expanding Role of Metaverse Platform in College Education. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, p. 1037-1044, 2022.
- LEE, Hyeonju; WOO, Donghyun; YU, Sunjin. Virtual reality metaverse system supplementing remote education methods: Based on aircraft maintenance simulation. *Applied Sciences*, v. 12, n. 5, p. 2667, 2022.
- LÓPEZ, Gustavo Alberto Moreno; CHAUX, Hernando Recaman; ALVAREZ, Ferney A. Chica. The University in the Metaverse. Proposal of application scenarios and roadmap model. In: *2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference)*. IEEE, p. 1-9, 2022.
- MACKENZIE, Colin F. et al. Virtual reality and haptic interfaces for civilian and military open trauma surgery training: A systematic review. *Injury*, 2022.
- MAKRANSKY, Guido; KLINGENBERG, Sara. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non - WEIRD sample. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 38, n. 4, p. 1127-1140, 2022.
- META. Conecte 2021: Nuestra Visión del Metaverso. Disponível online: <https://about.fb.com/br/news/2021/10/apresentando-meta-uma-empresa-de-tecnologia-social/>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- NUNES, Felipe B. et al. A dynamic approach for teaching algorithms: Integrating immersive environments and virtual learning environments. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 25, n. 5, p. 732-751, 2017.
- PARK, S. M.; KIM, Y. G. A Metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges. *IEEE Access*, v. 10, p. 4209-4251, 2022.
- PETRIGNA, Luca; MUSUMECI, Giuseppe. The metaverse: A new challenge for the healthcare system: A scoping review. *Journal of functional morphology and kinesiology*, v. 7, n. 3, p. 63-74, 2022.
- 63RAMESH, Prasanna V. et al. Holographic elysium of a 4D ophthalmic anatomical and pathological metaverse with extended reality/mixed reality. *Indian Journal of Ophthalmology*, v. 70, n. 8, p. 3116-3121, 2022.
- PIGULTONG, Metee. Cognitive impacts of using a metaverse embedded on learning management system for students with unequal access to learning resources. In: *2022 10th International conference on information and education technology (ICIET)*. IEEE, 2022. p. 27-31.
- POPE, Nicolas et al. Remote presence: Live holograms for a social classroom. In: *Proceedings of the 2022 ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. 2022. p. 249-252.
- PRABASWARI, Atyanti Dyah; BASUMERDA, Chancard; UTOMO, Bagus Wahyu. The mental workload analysis of staff in study program of private educational organization. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2019. p. 012018.
- PRADA, Rui et al. AgriVillage: A game to foster awareness of the environmental impact of agriculture. *Computers in Entertainment (CIE)*, v. 12, n. 2, p. 1-18, 2015.

RAMESH, Prasanna V. et al. Holographic elysium of a 4D ophthalmic anatomical and pathological metaverse with extended reality/mixed reality. *Indian journal of ophthalmology*, v. 70, n. 8, p. 3116-3121, 2022.

RICHARDSON-HATCHER, April; HAZZARD, Matthew; RAMIREZ-YANEZ, German. The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform. *Anatomical sciences education*, v. 7, n. 6, p. 469-478, 2014.

RITTERBUSCH, Georg David; TEICHMANN, Malte Rolf. Defining the metaverse: A systematic literature review. *IEEE Access*, 2023.

RODRÍGUEZ, Fabio Cortés; DAL PERARO, Matteo; ABRIATA, Luciano A. Online tools to easily build virtual molecular models for display in augmented and virtual reality on the web. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, v. 114, p. 108164, 2022.

SCHAF, Frederico Menine; PALADINI, Suenoni; PEREIRA, Carlos Eduardo. 3D AutoSysLab prototype-a social, immersive and mixed reality approach for collaborative learning environments. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, v. 2, n. 2, p. 15-22, 2012.

SCHMITT, Marcelo Augusto Rauh; TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach. Metaversos e Laboratórios Virtuais: possibilidades e dificuldades. *RENOTE: revista novas tecnologias na educação [recurso eletrônico]*. Porto Alegre, RS, 2008.

SEBASTIEN, Didier; SEBASTIEN, Olivier; CONRUYT, Noel. Providing services through online immersive real-time mirror-worlds: The Immex Program for delivering services in another way at university. In: *Proceedings of the Virtual Reality International Conference-Laval Virtual*. p. 1-7, 2018.

SILVA, Alysson Messias da; MEDEIROS, Francisco Petrônio A.. Uma Ferramenta baseada em Realidade Aumentada para Enriquecer à Aprendizagem de Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido. In: *WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA*, 28. , 2022, Manaus. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022 . p. 296-307. DOI: <https://doi.org/10.5753/wie.2022.224949>

SIYAEV, Aziz; JO, Geun-Sik. Neuro-symbolic speech understanding in aircraft maintenance metaverse. *IEEE Access*, v. 9, p. 154484-154499, 2021.

SKETCHFAB. Sketchfab - The best 3D viewer on the web. 2023. Disponível em: <<https://sketchfab.com>>

STEPHENSON, Neal. *Snow crash: A novel*. Spectra, 2003.

TAROUCO, Liane et al. Virtual laboratory for teaching Calculus: An immersive experience. 2013 *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE, p. 774-781, 2013.

TIBÚRCIO, Flávia et al. O futuro do digital está na conexão com o real: Metaverso e suas implicações sociais e tecnológicas. In: *Anais do III Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade*. SBC, p. 76-84, 2022.

TLILI, Ahmed et al. Is Metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis. *Smart Learning Environments*, v. 9, n. 1, p. 1-31, 2022.

VALLANCE, Michael. The affect of collaboratively programming robots in a 3D virtual simulation. In: *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, p. 245-246, 2013.

VERNAZA, Ariel; ARMUELLES, V. Ivan; RUIZ, Isaac. Towards to an open and interoperable virtual learning environment using Metaverse at University of Panama. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, p. 320-325, 2012.

VIDAL-BALEA, Aida et al. Creating collaborative augmented reality experiences for industry 4.0 training and assistance applications: Performance evaluation in the shipyard of the future. *Applied Sciences*, v. 10, n. 24, p. 9073, 2020.

VIEIRA, Erberson Evangelista; MEDEIROS, Francisco Petrônio A.. Estado da Arte sobre a Educação em Ambientes Imersivos do Metaverso. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 2023. << no prelo >>

VIEIRA, Erberson Evangelista; MEDEIROS, Francisco Petrônio A.. Levantamento do Estado da Arte sobre a Educação em Computação no Metaverso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2023. << no prelo >>

WAGNER, Rosana et al. Using 3D virtual learning environments in new perspective of education. In: 2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET). IEEE, p. 1-6, 2013.

WU, Tzu-Chi; HO, Chien-Ta Bruce. A scoping review of metaverse in emergency medicine. *Australasian emergency care*, 2022.

YAO, Rui; ZHANG, Wanqi; LIU, Huaqun. Design and Implementation of Real-Time 3d Interactive System Based on Unreal Engine. *Proceedings of the 8th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies*, p. 30-36, 2022.

ZHAO, Junqiang et al. Systematic bibliometric analysis of research hotspots and trends on the application of virtual reality in nursing. *Frontiers in Public Health*, v. 10, p. 906715, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS COM PROFESSORES DA ÁREA DE REDES DE COMPUTADORES

Roteiro da Entrevista Semiestruturada

Introdução

Olá! Eu sou Erberson Vieira, aluno do mestrado profissional em Tecnologia da Informação do IFPB Campus João Pessoa. O propósito desta entrevista é aprofundar o entendimento do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos didáticos relacionados à área de Redes de Computadores nos laboratórios físicos, bem como a utilização dos recursos de hardware e softwares nesses ambientes. A entrevista terá uma duração aproximada de 15 minutos, durante os quais farei algumas perguntas.

Antes de começarmos, é relevante salientar algumas informações importantes. Considerarei, na medida do possível, seus comentários como confidenciais. Tanto meu orientador quanto eu agregaremos todos os comentários obtidos de várias entrevistas que estamos conduzindo, garantindo que não seja possível rastreá-los até você. Caso seu depoimento seja citado em nosso relatório final, tenha certeza de que seu nome ou função específica não serão identificados. Se houver algum ponto que você preferir não registrar, mesmo de forma anônima, sinta-se à vontade para me informar.

É essencial ressaltar que a participação nesta entrevista é completamente voluntária. Caso, por algum motivo, você deseje interrompê-la, por favor, avise-me. Não haverá nenhuma repercussão negativa caso opte por encerrar a entrevista. Além disso, fique ciente de que posso descartar qualquer informação compartilhada até o momento em que você solicitar o término da entrevista.

Você tem alguma pergunta a fazer antes de começarmos?

Você se importa se eu fizer uma gravação da entrevista? A gravação é para garantir que nada seja perdido e será acessível apenas pela equipe de pesquisa.

Aquecimento

- Há quanto tempo é professor do IFPB?
- Fale um pouco sobre sua experiência no IFPB

Sessão principal

- Com que frequência você utiliza o laboratório de Redes de Computadores em suas atividades de ensino?
- Quais disciplinas você ministra que envolvem o uso do laboratório de Redes de Computadores?
- Quais conteúdos, geralmente, são abordados durante suas aulas no laboratório?
- Quais equipamentos e recursos físicos você geralmente utiliza no processo de ensino-aprendizagem no laboratório e como esses recursos são utilizados em suas atividades práticas?
- Em relação à parte lógica dos equipamentos, quais softwares você utiliza para abordar os conceitos relacionados aos conteúdos de Redes de Computadores?
- Como esses softwares auxiliam no ensino de Redes de Computadores?
- Durante a pandemia, como você adaptou ou abordou as práticas laboratoriais no ensino de Redes de Computadores, quais estratégias ou ferramentas você utilizou para apoiar o aprendizado prático dos discentes durante esse período?
- Quais desafios e/ou dificuldades você enfrenta(ou) ao utilizar os laboratórios de Redes de Computadores em suas aulas?
- Em sua opinião, como esses desafios podem ser superados para melhorar os resultados de ensino-aprendizagem?

Conclusão

Agradecer a participação do entrevistado e encerrar a gravação.

APÊNDICE B - SETUP DO TESTE DA PROVA DE CONCEITO DO NETVERSE EDU

Roteiro da Avaliação da Prova de Conceito

1. Apresentação, em sala de aula, sobre o Oculus Quest 2 e a plataforma NetVerse Edu (≈ 10 minutos)

Neste momento, será realizada uma apresentação em sala de aula com o objetivo de introduzir aos discentes as tecnologias que serão utilizadas e o ambiente desenvolvido. A apresentação fornecerá, de forma resumida, os passos para acessar o ambiente virtual do NetVerse Edu, o uso dos controles dentro do ambiente virtual e as atividades que serão desenvolvidas no ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu.

2. Primeira Atividade no Ambiente Virtual (≈ 20 minutos)

Neste momento, os alunos acessam o ambiente virtual do NetVerse Edu, onde farão a identificação de seus avatares e, em seguida, serão direcionados para a sala de boas-vindas. Nessa sala, os discentes terão acesso às informações do projeto e aos comandos dos controles. Após interagirem com esses itens, acessarão o ambiente de aprendizagem do NetVerse Edu.

Ao entrar no ambiente de aprendizagem, o professor já estará presente e fornecerá orientações sobre a atividade do modelo OSI. Os alunos devem praticar o uso dos controles do Oculus Quest 2 durante essa atividade e, em seguida, serão direcionados ao auditório. Quando todos estiverem no auditório, haverá uma apresentação com uma introdução ao Endereçamento IP e sobre a atividade a ser realizada no laboratório de endereçamento IP. Em seguida, haverá um intervalo.

3. Intervalo (≈ 10 minutos)

4. 2ª parte no ambiente virtual (≈ 30 minutos)

Ao retornarem para o ambiente de aprendizagem, os discentes serão encaminhados para o laboratório de simulação, onde poderão interagir com diversos equipamentos de rede e acessar explicações sobre cada um e suas funções e realizar o quiz sobre Redes de Computadores. Após essa interação inicial, serão direcionados para o laboratório de endereçamento IP, onde realizarão a atividade principal. No laboratório de endereçamento IP os alunos serão orientados a escolher uma bancada e ler as informações sobre a atividade e o roteiro da atividade disponibilizados no ambiente, depois seguirão para a configuração do IP dos equipamentos e visualização do dashboard com o status da configuração dos ips nos equipamentos.

5. Passo a passo da atividade:

- Entrar no ambiente virtual.
- Identificar o nome do usuário e conectar.
- Acessar a sala de boas-vindas.
- Ler as informações "Sobre o Projeto".
- Revisar as instruções dos controles.
- Pressionar a tecla "X" do controle esquerdo.
- Escolher o avatar (opcional).
- Acessar o Ambiente Virtual de Aprendizagem.
- Ler as informações da tela de boas-vindas.
- Ler as informações sobre o Modelo OSI.
- Realizar o tutorial de uso dos controles com os blocos que representam as camadas do modelo OSI.
- Ir para o auditório.
- Participar da apresentação sobre Endereçamento IP
- Ir para a sala de equipamentos
- Interagir com as telas e objetos 3D
- Interagir com o Quis
- Ir para o laboratório de Endereçamento IP.
- Ler as informações sobre a atividade proposta.
- Verificar o roteiro da atividade (se necessário)
- Verificar as informações sobre os dispositivos.
- Configurar o gateway e ip do firewall e colocá-lo no rack.
- Configurar o IP do switch e colocá-lo no rack.
- Colocar o disco SAS no servidor.
- Configurar o IP do servidor e colocá-lo no rack.
- Configurar o IP do AP e ligá-lo.
- Ativar o Smartphone e ativar o wifi.
- Ativar o notebook e ativar o wifi.
- Configurar o IP e ativar o desktop.
- Confirmar se a conexão entre os equipamentos está ativa no painel dos dispositivos.