



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Escola Superior de Desenho Industrial

Diego de Jesus Penaforte Parreiras

**Design de heurísticas para
avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersiva**

Rio de Janeiro

2021

Diego de Jesus Penaforte Parreiras

**Design de heurísticas para
avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersiva**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Design, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. André Ribeiro de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Dercio Santiago da Silva Júnior

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/G

P259 Parreiras, Diego de Jesus Penaforte.

Design de heurísticas para avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersiva / Diego de Jesus Penaforte Parreiras. – 2021.

230 f.: il.

Orientador: André Ribeiro de Oliveira.

Coorientador: Dercio Santiago da Silva Júnior.

Tese (Doutorado em Design) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Escola Superior em Desenho Industrial.

1. Realidade virtual - Teses. 2. Designers - Teses. 3. Heurística - Teses. I. Oliveira, André Ribeiro de. II. Silva Júnior, Dercio Santiago da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Escola Superior em Desenho Industrial. IV. Título.

CDU 7.05

Albert Vaz CRB-7 / 6033 - Bibliotecário responsável pela elaboração da ficha catalográfica.

Autorizo para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Diego de Jesus Penaforte Parreiras

**Design de heurísticas para
avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersiva**

Tese apresentada, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor, ao Programa de
Pós-graduação em Design, da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 17 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Ribeiro de Oliveira (Orientador)
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Dercio Santiago da Silva Júnior (Coorientador)
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Sydney Fernandes de Freitas
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. André Soares Monat
Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Raphael Argento de Souza
Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Adriano Bernardo Renzi
Universidade Federal Fluminense

Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Roberto Penaforte Parreiras e Nelly dos Santos Parreiras, e à minha “mãe de coração” Maria Elsa, por terem me apoiado, auxiliado, e possibilitado não apenas os estudos, mas a vida. Seus conselhos e ensinamentos viverão para sempre comigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e oportunidades.

Aos meus pais, José Roberto Penaforte Parreiras e Nelly dos Santos Parreiras, por terem dedicado suas vidas à criação, tanto minha quanto de meus irmãos. Agradeço pelos conselhos e auxílios do meu pai, que sempre acompanhou meus estudos, e incentivou meu aprendizado e crescimento acadêmico, explicando pessoalmente muitos exercícios e tarefas, incentivando o hábito da leitura e do estudo constantes. Agradeço à minha mãe, por estar ao meu lado sempre, nos momentos bons e difíceis, com seus conselhos, auxílios, e por ser a pessoa que mais acreditou em mim, enfrentando tudo e todos, para que eu pudesse ter um futuro. Realmente, sem o auxílio dos dois, eu nunca teria conseguido.

À minha esposa, Giselle de Andrade, por estar sempre ao meu lado, seja nos momentos bons, ou nos momentos difíceis, por ser conselheira, compreensiva, amorosa e companheira, também por acreditar no meu potencial e capacidade. Os auxílios, momentos de paciência com as minhas questões e dificuldades, e os incentivos dados, fizeram dessa tese tanto parte dela quanto minha, e serei sempre grato pelo seu constante amor e companheirismo.

Ao meu orientador, André Ribeiro, que com toda a paciência com as minhas dificuldades, profissionais e pessoais, sendo sempre compreensivo, prestando orientações, auxílios, e indicando sempre o melhor caminho em cada momento e em cada circunstância. Muito mais que um orientador, um amigo, que compreendeu as minhas questões, sem deixar que eu parasse, desistisse ou deixasse a produção deste trabalho, e muito contribuiu, pacientemente, com ideias, caminhos, soluções e indicações, que, com certeza, auxiliaram este trabalho a ser completado.

Ao meu coorientador, Dercio, que contribuiu com seus conhecimentos, experiência, e muito boa vontade, em auxiliar esta tese a funcionar e por ser sempre solícito e amigo na hora de participar. Tendo muita paciência e sendo bastante detalhista nas suas análises e ajustes, com certeza ajudou esta tese a ser melhor e mais interessante. O excelente convívio e a amizade demonstrada tornaram este processo muito menos penoso.

Aos professores do PPD da ESDI – todos profissionais exemplares e sempre dedicados à formação de pesquisadores na área do design – em especial ao professor Luiz Vidal, que foi muito mais que um professor, mas um amigo. Suas aulas foram muito esclarecedoras, seus conselhos fora das salas, auxílios prestados, seu cuidado e carinho com os alunos, especialmente comigo, fizeram dele um “orientador de coração”, que muito auxiliou nos momentos de dúvidas

e incertezas, sempre paciente e elucidativo. Seus ensinamentos e conhecimentos ministrados me acompanharão pela vida toda.

À minha “mãe de coração” Maria Elsa, que por tudo o que fez por mim, e por todo seu amor e zelo, sem ela também não estaria aqui neste momento, e também não teria conseguido. Meu agradecimento sincero e digo, de todo o coração, que essa tese também é sua.

Ao amigo João Victor Pacheco Gomes, que auxiliou não apenas com sua amizade, mas com seus conselhos, e força nos momentos difíceis dessa jornada de realizar um doutorado, pois já tendo passado por isso antes de mim, se tornou uma âncora nos momentos de tempestade, mostrando como não se perder durante o processo.

Aos meus eternamente professores do curso de Desenho Industrial da EBA/UFRJ, Celso Pereira Guimarães, que me apresentou o universo da Realidade Virtual, Marcos Dohmann, Izis Braga, Rosa Werneck, Rui de Oliveira, Octavio Aragão e Guto Nóbrega, pois todos eles fazem parte dessa história acadêmica e foram exemplos do profissional e acadêmico que eu gostaria de ser.

Aos colegas de curso, de doutorado ou de mestrado, que nas aulas em conjunto demonstraram amizade e acolhimento, sempre foram solícitos nas dúvidas e dificuldades, e sempre acessíveis para os trabalhos em conjunto e tarefas. As aulas com certeza foram mais leves graças aos colegas e amigos que partilharam junto esse trajeto difícil que é a realização de um doutorado.

À ESDI/UERJ, que apesar de todos os problemas relativos ao estado do Rio de Janeiro, e seus governos turbulentos e problemáticos, conseguiu resistir, mantendo suas atividades de pesquisa, e excelência em ensino.

Ao programa de pós-graduação em design da UERJ/PPDESDI, por ter me dado a oportunidade de realizar este doutoramento.

A todos os que de alguma forma auxiliaram a elaboração desta pesquisa, direta ou indiretamente, visíveis ou invisíveis, pois seus esforços e auxílios também contribuíram para eu chegar ao fim dessa jornada.

“O que é Deus? Deus é a inteligência suprema, causa primária de todas as coisas.”

Allan Kardec

RESUMO

PARREIRAS, Diego de Jesus Penaforte. *Design de heurísticas para avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersivos*. 2021. 230 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Esta tese apresenta o processo de criação de heurísticas novas para avaliar aplicações de realidades semi-imersivas. Insere-se no contexto do design de interação, especificamente na parte de design de experiência de usuário - UX (user experience design) com a utilização destes conhecimentos voltados para a tecnologia da Realidade Virtual (RV), semi-imersiva, ou não imersiva, também chamada realidade virtual de desktop. O foco da pesquisa é a usabilidade destas interfaces, especificamente a avaliação de como se percebe o uso destas. Para isto, são abordadas as avaliações heurísticas e as heurísticas de domínio específico para as aplicações de RV semi-imersiva com fins educacionais. Após extensa pesquisa bibliográfica, verificou-se a insuficiência de heurísticas existentes para o domínio da RV semi-imersiva, como também poucas, para RV em geral, sendo assim constituído nosso problema de pesquisa. Partindo do problema de pesquisa, encontramos na Design Science Research (DSR), a metodologia de pesquisa adequada para estruturar, organizar e orientar este trabalho. Seguindo as etapas da DSR, buscou-se os métodos e técnicas de geração de heurísticas, artefato selecionado para solução do problema levantado. A partir dos métodos estudados, desenvolvemos um método próprio composto por 8 etapas. Assim, desenvolvemos e propusemos um conjunto de heurísticas de usabilidade para aplicações educacionais de RV semi-imersiva, baseadas em informações e problemas de usabilidade encontrados em mais de 60 artigos, pesquisados na revisão bibliográfica. Estas heurísticas foram testadas e validadas por especialistas, utilizando também uma lista de controle, com heurísticas para RV em geral, seguindo as instruções da metodologia que propomos. Após análises estatísticas, os resultados indicam que as heurísticas propostas por esta tese obtiveram desempenho melhor que as da lista de controle, tanto na quantidade de erros gerais encontrados como na especificidade e qualidade destes erros, abordando aspectos que não são contemplados pelas heurísticas de controle e que ajudam a projetar aplicações melhores no domínio da RV semi-imersiva.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Realidade Virtual semi-imersiva. Design de interação. Avaliação heurística. Heurísticas.

ABSTRACT

PARREIRAS, Diego de Jesus Penaforte. *Design of heuristics for the evaluation of semi-immersive virtual reality systems*. 2021. 230 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

This thesis presents the process of creating new heuristics to evaluate semi-immersive reality applications. Is inserted in the context of interaction design, specifically in the part of user experience design - UX (user experience design) with the use of this knowledge focused on semi-immersive, or non-immersive, Virtual Reality (VR) called desktop virtual reality. The focus of the research is the usability of these interfaces, specifically the evaluation of how to perceive their use. For this, heuristic assessments and domain-specific heuristics are addressed for semi-immersive applications for educational purposes. After extensive bibliographic research, there was a lack of existing heuristics for the semi-immersive VR domain, as well as few, for VR in general, thus constituting our research problem. Starting from the research problem, we find in the Design Science Resource (DSR), the appropriate research methodology to structure, organize and guide this work. Following the steps of the DSR, we sought the methods and techniques for generating heuristics, an artifact selected to solve the problem raised, and based on others methodologies, we developed a method composed of 8 stages. Thus we developed and proposed a set of usability heuristics for educational semi-immersiva VR applications, based on information and usability problems found in more than 60 articles, researched in the bibliographic review. These heuristics were tested and validated by specialists, also using a control list, with heuristics for VR in general, following the instructions of the methodology that we proposed. After statistical analyses the results indicate that the proposed heuristics performed better than those of the control list, both in the number of errors found and in the specificity and quality of these errors, addressing aspects that are not covered by the control heuristics and that help to design better applications in the domain of semi-immersiva VR.

Keywords: Virtual Reality. semi-immersive Virtual Reality. Interaction design. Heuristic evaluation. Heuristics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema com as etapas da Design Science Resource.....	29
Figura 2 –	Ivan Sutherland utilizando um dos primeiros HMDs na década de 60.....	42
Figura 3 –	Simulador de situação de emergência.....	43
Figura 4 –	Interação do usuário com personagem virtual.....	44
Figura 5 –	Navegação e interação em RV por um cenário em RV.....	44
Figura 6 –	Sensorama.....	46
Figura 7 –	Sistemas de realidade virtual.....	49
Figura 8 –	HMD e acessórios.....	51
Figura 9 –	Sistema CAVE.....	51
Figura 10 –	Exemplo de sistema de RV Semi-imersiva.....	53
Figura 11 –	Dataglove com sistema de force feedback.....	54
Figura 12 –	Peça de trabalho simulada e cordão de solda.....	57
Figura 13 –	A Trilha do Trillium Virtual e um cartão informativo.....	58
Figura 14 –	Imagem do laboratório virtual.....	59
Figura 15 –	Imagens do V- Frog.....	60
Figura 16 –	Escola primária virtual no Second Life.....	61
Figura 17 –	Testando um transformador virtual no ambiente de RV.....	62
Figura 18 –	Captura de tela de uma unidade de aprendizagem (sistema respiratório).....	63
Figura 19 –	Demonstração do experimento IBAS.....	64
Figura 20 –	Castelo Segeberg reconstruído em realidade virtual.....	65
Figura 21 –	Imagens do funcionamento do jogo sério.....	67
Figura 22 –	Imagens do museu virtual 3D.....	68
Figura 23 –	Capturas de tela da simulação do laboratório virtual de citogenética.....	71
Figura 24 –	Aplicações de domínio específico.....	79
Figura 25 –	Esquema do método utilizado por esta tese.....	117
Figura 26 –	Imagens do Cenário do VR-Design.....	145
Figura 27 –	Detalhes de alguns portais do V design.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dados relevantes para usabilidade de aplicações educacionais de RV semi-imersiva levantados a partir dos artigos estudados.....	72
Tabela 2 –	Tabela que compõe a quantidade de estudos que utilizaram as metodologias citadas acima, adaptada de Quinones e Russu (2017).....	87
Tabela 3 –	Trabalhos encontrados sobre criação de heurísticas para realidade virtual e mundos virtuais.....	91
Tabela 4 –	Síntese e cruzamento das principais informações obtidas na análise dos artigos sobre desenvolvimento de heurísticas para RV e mundos virtuais....	98
Tabela 5 –	Comparativo de todas as metodologias estudadas.....	106
Tabela 6 –	Dados coletados segundo a metodologia proposta.....	128
Tabela 7 –	Comparação entre heurísticas existentes.....	132
Tabela 8 –	Comparação dos atributos de usabilidade estudados separadamente.....	136
Tabela 9 –	Comparação entre os aspectos do aplicativo a serem cobertos, os atributos de usabilidade e heurísticas existentes.....	138
Tabela 10 –	Tabela de heurísticas criadas e especificadas.....	142
Tabela 11	Erros totais, específicos, graves e severos encontrados pelos especialistas utilizando as heurísticas experimentais.....	151
Tabela 12	Erros totais, específicos, graves e severos encontrados pelos especialistas utilizando as heurísticas de controle.....	152
Tabela 13	Valores de P encontrados para as variáveis das heurísticas experimentais....	158
Tabela 14	Valores de P encontrados para as variáveis das heurísticas de controle.....	158
Tabela 15	Valores de p encontrados para cada teste para verificar se as heurísticas experimentais encontraram mais erros que as heurísticas de controle	161
Tabela 16	Lista das heurísticas finais após a etapa de refinamento.....	168

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	14
1	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	25
1.1	Detalhando o método Design Science Research.....	25
1.2	Detalhando a aplicação da metodologia DSR à nossa pesquisa.....	30
1.3	Protocolos das revisões bibliográficas e etapas iniciais da DSR.....	31
1.3.1	<u>Visão geral da RV e dos conceitos de usabilidade necessários para fundamentação da pesquisa.....</u>	32
1.3.2	<u>Revisão sobre os métodos para desenvolvimento de heurísticas.....</u>	33
1.3.3	<u>Revisão sistemática sobre heurísticas de domínio específico para RV.....</u>	36
1.3.4	<u>Revisão sobre as aplicações educacionais de RV semi-imersiva.....</u>	38
1.4	Sobre o resultado das revisões.....	39
2	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	41
2.1	A Realidade Virtual.....	41
2.1.1	<u>Definições de RV.....</u>	42
2.1.2	<u>Interação.....</u>	44
2.1.3	<u>Imersão.....</u>	45
2.1.4	<u>Presença.....</u>	47
2.1.5	<u>Telepresença.....</u>	47
2.1.6	<u>Fluxo.....</u>	48
2.1.7	<u>Sistemas de realidade virtual.....</u>	49
2.1.8	<u>Sistemas imersivos.....</u>	50
2.1.8.1	RV imersiva com HMD.....	50
2.1.8.2	RV imersiva com CAVE.....	51
2.1.9	<u>Sistema semi-imersivo, não imersivo ou RV semi-imersiva.....</u>	52
2.2	Realidade virtual semi-imersiva aplicada para a educação.....	54
2.2.1	<u>Problemas e questões envolvendo aplicações educacionais.....</u>	54
2.2.2	<u>Aplicações de RV semi-imersiva e questões de usabilidade/UX.....</u>	56
2.2.3	<u>Orientações sobre usabilidade a partir dos artigos estudados.....</u>	72
2.3	Usabilidade, UX e avaliações de usabilidade/UX.....	73
2.3.1	<u>Design centrado no usuário e Experiência de usuário - UX.....</u>	73
2.3.2	<u>Usabilidade.....</u>	74

2.3.2.1	Avaliações de usabilidade.....	75
2.3.2.2	Avaliação heurística.....	76
2.3.2.3	Heurísticas de domínio geral.....	78
2.3.2.4	Heurísticas de domínio específico.....	78
3	RESULTADO DAS REVISÕES SOBRE HEURÍSTICAS PARA RV.....	80
3.1	Heurísticas de domínio geral.....	83
3.2	Heurísticas de domínio específico.....	83
3.2.1	<u>Métodos para criação de heurísticas de domínio específico.....</u>	84
3.2.1.1	Necessidade de utilizar uma metodologia formal para criação de heurísticas...	84
3.2.1.2	Metodologias para criação de heurísticas de domínios específicos.....	86
3.2.2	<u>Heurísticas para RV.....</u>	91
3.2.2.1	Heuristic evaluation of virtual reality applications.....	91
3.2.2.2	Usability heuristics for virtual worlds.....	93
3.2.2.3	Defining and validating virtual worlds usability heuristics e defining virtual worlds usability heuristics.....	95
3.2.2.4	Heuristic Evaluation for Virtual Reality Systems.....	96
3.2.2.5	Síntese dos artigos estudados sobre desenvolvimento de heurísticas para aplicações de RV e mundos virtuais.....	98
3.2.3	Heurísticas para RV Semi-imersiva voltadas para a educação.....	99
4	MÉTODO PARA CRIAÇÃO DE HEURÍSTICAS PARA RV SEMI-IMERSIVA PARA EDUCAÇÃO.....	101
4.1	Desenvolvimento do método.....	101
4.1.1	<u>Método a partir dos métodos estudados na literatura.....</u>	101
4.1.2	<u>Refinamento do método a partir das heurísticas para RV estudadas na literatura.....</u>	113
4.1.3	<u>Refinamento do método a partir das aplicações educacionais de RV de desktop estudadas e seus problemas de usabilidade/UX.....</u>	112
4.2	Detalhando o método final.....	115
5	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE HEURÍSTICAS.....	125
5.1	Desenvolvimento das heurísticas.....	125
5.1.1	<u>Passos 1 e 2 - busca de informações e Orientações, recomendações e problemas de usabilidade.....</u>	125

5.1.2	<u>Passo 3 - agrupamento e priorização de informações</u>	126
5.1.3	<u>Passo 4 - agrupamento e priorização das heurísticas</u>	132
5.1.3.1	<u>Etapa 1 - Agrupamento de heurísticas similares e etapa 2 - Priorização das heurísticas</u>	132
5.1.4	<u>Passo 5 - seleção adaptação e criação das heurísticas</u>	137
5.1.5	<u>Passo 6 - especificação das heurísticas</u>	141
5.2	Validação das heurísticas	144
5.2.1	<u>Passo 7 – validação</u>	145
5.2.1.1	O protótipo utilizado.....	145
5.2.1.2	Condução da avaliação heurística.....	146
5.2.1.3	Resultados da avaliação heurística.....	149
5.2.2	<u>Passo 8 – refinamento</u>	161
5.2.3	<u>Considerações sobre a validação</u>	163
	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	165
	REFERÊNCIAS	173
	ANEXO A – Atualização da revisão e quinones e rusu.....	189
	ANEXO B – Tabela dos dados levantados na pesquisa de RV Semi-imersiva.....	200
	ANEXO C – Heurísticas especificadas.....	217
	ANEXO D – Ficha base para avaliação heurística.....	228

INTRODUÇÃO

A revolução provocada pelo advento da informática, e das chamadas “tecnologias da informação” (TIs), causou mudanças profundas nas técnicas de produção, como também no contexto social, cultural e econômico (GADELHA, 2018). A internet quebrou barreiras em um processo constante de globalização. O cinema atingiu efeitos especiais muito convincentes, e os gráficos dos jogos eletrônicos são bastante realistas. A economia e as relações de trabalho também mudaram.

Vivemos um processo de “digitalização”. As bibliotecas vêm sendo digitalizadas. Os jornais deixaram de ser impressos. Os filmes não estão mais em mídias físicas, agora são virtuais e vistos via “streaming”. Os centros educacionais seguem o mesmo processo, onde as faculdades e cursos vêm se tornando “on-line”. Segundo dados do censo do ensino superior do INEP em 2018, as instituições de ensino superior (IES) disponibilizaram 7,1 milhões de vagas para a EAD contra 6,3 milhões para os cursos presenciais (INEP, 2018). Há um claro crescimento dos cursos não presenciais. Em relação ainda aos cursos presenciais, o Ministério da Educação permitiu que até 40% da carga horária destes seja ministrada a distância (G1, 2019)¹.

Para Gadelha (2018, p. 3): “A tecnologia faz parte da vida e do dia a dia da maioria dos alunos, principalmente para entretenimento e comunicação”.

Os avanços tecnológicos trazem atrativos e alteram a forma de consumir informações, tornando o processo mais dinâmico (CORBY, 2008). Todas estas mudanças impactam na forma como os alunos aprendem, como relatado por Kamińska et al. (2019, p. 2): “com o tempo, as necessidades dos alunos e o mercado de trabalho forçam mudanças no sistema educacional”. Porém as tecnologias da informação ainda são pouco exploradas no contexto educacional, que ainda se utiliza muito dos chamados “métodos tradicionais de ensino”, que, para Reis (2002) e Gadelha (2018), não se adapta mais aos tempos atuais.

Para Reis (2002), essa “metodologia tradicional” surgiu no século XIX e continuou ganhando força no início do século XX, sofrendo pequenas adaptações e se enquadrava ao contexto cultural, social e econômico da época.

¹ MEC diz que cursos presenciais de universidades federais podem ter 40% das aulas na modalidade EAD. *G1*. Disponível em: <https://g1.globo.com/educacao/noticia/2019/12/11/mec-diz-que-cursos-presenciais-de-universidades-federais-podem-ter-40percent-das-aulas-na-modalidade-ead.ghtml>. Acesso em: 14 set. 2020.

Este método, segundo Reis (2002) e Leão (1999), concentra o ensino em um professor, “detentor dos conhecimentos”, e alunos “sem conhecimentos” que receberão estes conhecimentos de forma passiva. Esse paradigma não leva em conta os conhecimentos prévios do aluno, o meio em que vive, suas habilidades, competências e tempo de aprendizado. Dessa forma, fica difícil competir com os atuais atrativos do “meio digital” em que o aluno está inserido, onde interage, aprendendo através da vivência de experiências. De acordo com Kamińska et al. (2019, p. 3 apud LAZAR; PANISOARA, 2018): “é sabido que o uso de tecnologias de informação e comunicação tem sido comprovado para melhorar as atitudes dos alunos em relação à aprendizagem”.

Prenski (2001) fala sobre o conceito de nativo digital, que Allmendinger (2010) também chama de “geração líquida”. Para estes autores, o nativo digital é o indivíduo que nasceu na era da internet, e que, diferente do “imigrante digital”, que nasceu quando não existia internet, tem grande facilidade e intimidade com o aparato tecnológico existente. Embora não sejam conceitos absolutos, pois há, por exemplo, imigrantes digitais que também têm grande facilidade com as novas tecnologias, as gerações de “nativos digitais” têm tido dificuldades em se conectar com metodologias tradicionais de ensino, considerando o ambiente escolar e acadêmico pouco estimulante e desinteressante (GIRAFFA, 2012).

Por conta disso, a metodologia tradicional vem sendo contestada por estudiosos da educação, seja para cursos introdutórios, técnicos ou superiores (FRANCO, 2000). Prova disso são as chamadas “metodologias ativas”, que buscam um maior nível de interação do aluno, e fazem uma melhor utilização de recursos tecnológicos nas aulas (SALES et al., 2019).

As metodologias ativas são métodos nos quais o aluno é o protagonista central do processo e aprendizado, enquanto os professores são mediadores ou facilitadores do processo (LOVATO et al., 2018). Utilizam diversos recursos, alguns tecnológicos, outros não, como as estratégias de gamificação (LOVATO et al., 2018).

Estas metodologias, em oposição à visão tradicional da educação, trabalham com a visão chamada “construtivista” (REIS, 2002; FOKIDES; ATSIKPASI, 2018). O construtivismo não é considerado um método, por assim dizer, mas sim uma corrente pedagógica (FRANCO, 1998), que trabalha a relação sujeito-objeto, em que o sujeito é aquele que pode adquirir o conhecimento, no caso o aluno, e o objeto, são os meios materiais, como livros, ferramentas, ambientes, locais, em suma, tudo o que possa produzir conhecimento. Segundo a visão construtivista, o conhecimento se constrói na interação do sujeito com o objeto, colocando essa interação como questão principal.

Os questionamentos e transformações nos métodos educacionais sofreram um processo de grande aceleração e agravamento, quando, no ano de 2020, tivemos a pandemia do novo Coronavírus, a COVID-19, que vitimou milhões de pessoas no mundo todo (PIETROCOLA et al., 2020) e matando milhares só no Brasil. Esta situação trouxe a necessidade de muitas adaptações e mudanças em diversos campos de atividades profissionais, como também nos campos pessoal e cultural, devido às normas de segurança impostas pelo isolamento social, como a quarentena, para evitar a disseminação do vírus (PIETROCOLA et al., 2020).

Neste contexto, um dos campos mais afetados foi o educacional. No Brasil, as vulnerabilidades de certos grupos de estudantes, como os de baixa renda, e dificuldades como de acesso à internet de alta velocidade, computadores com desempenho satisfatório para o desenrolar das atividades online, câmeras e microfones de qualidade, e ambiente apropriado para o estudo em casa, aumentaram o abismo que já existia em termos educacionais entre quem tem poder aquisitivo maior e quem não tem (GERALDO et al. 2020).

Grandes e rápidas adaptações foram necessárias para que se pudesse manter o semestre letivo em universidades e colégios, sem prejuízo para a saúde e o aprendizado dos alunos. Dentre as mudanças mencionadas, observou-se a necessidade de rápida transposição dos processos presenciais de ensino para a modalidade online. Na verdade, a pandemia acelerou processos que já estavam em debate sobre sua necessidade e em processos de implementação.

A necessidade de mediação tecnológica do ensino aumentou com o uso obrigatório de computadores e *softwares*, porém também se intensificaram questões que já eram problemáticas na educação presencial, como as dificuldades em manter a atenção e o interesse dos alunos, que passaram a assistir as aulas de casa, isolados dos outros alunos e do contexto educacional físico, aumentando, assim, os desafios para o aprendizado.

Como forma de contemplar estas questões, a Realidade Virtual (RV) se apresenta como potencial ferramenta a ser utilizada no ambiente educacional, pois, além de ter o poder de “imersão” o aluno no contexto do conhecimento, é tecnológica e interativa por definição.

Antes restrita aos laboratórios de pesquisa, a tecnologia vem se popularizando, graças à miniaturização dos hardwares necessários, capacidade computacional e a melhora das tecnologias de exibição (KHAROUB et al., 2019). É um campo de pesquisa em rápido crescimento, e continuamente busca desenvolver e alcançar novas soluções tecnológicas (KAMIŃSKA et al., 2019). Na última década, o uso da RV aumentou (KHAROUB et al., 2019), e diversos estudos buscaram avaliar os benefícios desta tecnologia para diversas áreas e finalidades, como: estímulo à consciência ambiental (FAUVILLE et al., 2020); terapias

(BULLOCK et al., 2020); para visualização de itens anatômicos (TOMLINSON et al., 2019), dentre outros.

O campo educacional também vem se ocupando em investigar e se apropriar dos benefícios da utilização da RV, com resultados muito positivos. Diversos autores descobriram as potencialidades da realidade virtual para impulsionar o aprendizado em diversas áreas: aprendizado musical (DEGLI et al., 2019), aprendizado de ciências (HUANG et al., 2019), ensino de engenharia (SALAH et al., 2019), ensino de matemática (SALMAN, et al., 2019) e ensino de física (IQUIRA et al., 2019). Para Gadelha (2018), “A realidade virtual (RV) tem o potencial de revolucionar a educação, uma vez que imerge os alunos em sua aprendizagem mais do que qualquer outro meio disponível”.

Para Merchant et al. (2014), a introdução da tecnologia de realidade virtual no ensino superior, médio e fundamental começou no início dos anos 1990. A RV proporciona um tipo de aprendizagem com êxito maior do que os métodos tradicionais, expositivos por parte dos professores, e passivos por parte dos alunos. São mundos ou simulações sintéticos, gerados por computador (TORI; HOUNSELL, 2018), em que o usuário pode navegar e explorar livremente o ambiente.

Com esses mundos virtuais, o aluno é participante ativo no processo, e interage, experienciando e vivenciando o aprendizado (SUN et al., 2019). Para Topu et al. (2018, p. 4 apud CARINI et al., 2006): “O envolvimento dos alunos está relacionado com a sua participação ou não nas atividades de aprendizagem e até que ponto se engajam nestas atividades”. E, segundo Borbála Berki (2020, p. 3): “O senso de presença influencia positivamente o interesse e motivação dos alunos para interagir com a simulação”. Neste contexto, a realidade virtual está muito mais alinhada com o método construtivista. Essa ligação entre a RV e o construtivismo é diretamente mencionada por Barrett e Blackledge (2012, p. 3): “Um crescente corpo de pesquisas alude ao construtivismo como o principal motor pedagógico que sustenta o uso educacional da RV.”

Porém, a ampla utilização da RV em ambientes educacionais encontra dificuldades. A necessidade de alta capacidade de processamento, com sistemas computacionais robustos, para rodar aplicações de realidade virtual de alto nível, e a capacitação do corpo docente para utilizá-la de forma satisfatória, são algumas das barreiras encontradas, pois “Ambientes de RV realistas requerem hardware poderosos em termos computacionais para renderização, que vai lado a lado com o preço” (KAMIŃSKA et al., 2019, p. 13). Merchant et al. (2014, p. 30) complementa: “O custo de aquisição e manutenção de vários dispositivos sofisticados para criar um ambiente imersivo tornavam o uso em massa dessa tecnologia proibitivo”. Problema que se reflete na

implementação da RV na educação: “Uma das muitas razões pelas quais a tecnologia de realidade virtual estava além do alcance das escolas era a viabilidade financeira” (MERCHANT et al., 2014 p. 30 apud ANDOLSEK, 1995). Esta opinião é compartilhada por Mantovani, Gaggiolo, Castelnova e Riva (2003).

Por conta da viabilidade financeira, um tipo específico de RV vem ganhando espaço e se popularizando mais rápido nos campos da educação: a Realidade Virtual (RV) Semi-Imersiva, não imersiva ou de desktop (DUBOVI et al., 2017; MERCHANT et al., 2014)

A RV semi-imersiva é uma modalidade de RV realizada com monitores comuns, não isolando totalmente o usuário do ambiente. Por conta disso, é chamada de “não imersiva” ou semi-imersiva” (TORI; HOUNSELL, 2018). A razão da popularização mais rápida nos meios educacionais do que outras modalidades de RV, é porque a RV semi-imersiva se apresenta como uma solução menos custosa e com implementação mais fácil em ambientes educacionais (MERCHANT et al., 2014).

Mesmo que venha superando as barreiras econômicas e técnicas para sua implementação, a RV semi-imersiva voltada para educação ainda necessita atingir e impactar seu usuário. Problemas como dificuldade de navegação, desorientação do usuário, falta de interatividade, problemas técnicos, ambientes virtuais confusos, falta de realismo nas simulações, dentre outros, podem comprometer o aprendizado ou os objetivos educacionais pretendidos (KAMIŃSKA et al., 2019).

Estes ambientes virtuais, além da necessidade de serem projetados corretamente, também devem ser avaliados para garantir que possam proporcionar ao usuário uma experiência positiva e atingir seus objetivos educacionais. Kamińska et al. (2019, p. 11) destacam a importância de avaliar as aplicações educacionais de RV para testar sua eficácia: “novas aplicações implementadas devem ser testadas entre relevantes stakeholders (partes interessadas ou especialistas) e um número especificado de usuários potenciais”. Avaliar é fundamental para saber se o sistema de RV realmente atingiu seus propósitos de forma relevante: “O produto deve ser avaliado, tendo sua funcionalidade, eficácia, e capacidades em consideração” (KAMIŃSKA et al., 2019, p. 11).

Entretanto, avaliar estes ambientes pode ser uma tarefa difícil, complexa e custosa, e segundo Kamińska et al. (2019), há poucos mecanismos específicos para avaliação de sistemas de RV. Dentre estes poucos métodos de avaliação, há, por exemplo, os testes com usuários. Mas estes testes são custosos e de difícil implementação (JIMENEZ; FIGUEROA, 2017).

Um método que pode ser proposto como solução mais viável para avaliar estes ambientes é a avaliação heurística. Este método de avaliação é proposto por ser barato, de fácil

implementação e de rápida aplicação por não haver necessidade de envolver o usuário, trazendo resultados relevantes (JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; QUINONES, 2018). Também pode ser aplicado em diversos estágios do desenvolvimento da aplicação. A “avaliação heurística” é um método de inspeção de usabilidade/UX em que um ou mais especialistas inspecionam uma aplicação ou interface computacional em busca de erros que comprometam a experiência do usuário. Amplamente utilizado para identificar problemas de usabilidade/UX (JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; QUINONES, 2018), que foi, a princípio, introduzido por Nielsen e Molich (1990). Um conjunto de avaliadores julga a interface do produto, através de uma inspeção, para determinar se a interface satisfaz certos princípios de usabilidade/UX (QUINONES; RUSU, 2017). Este método usa "heurísticas de usabilidade/UX ", que são regras utilizadas para guiar o processo de inspecionar e avaliar a usabilidade/UX da interface inspecionada.

Porém, as heurísticas de usabilidade/UX concebidas inicialmente (NIELSEN; MOLICH, 1998) são muito genéricas e voltadas para interfaces consideradas “tradicionais”, que são os primeiros tipos de interfaces que surgiram (RUSU et al., 2011; QUINONES et al., 2018), como sites da internet, sistemas bancários, sistemas de empresas, dentre outras. Sendo assim, não avaliam corretamente certas interfaces computacionais mais atuais, ou mais complexas, como a RV, e, portanto, necessitam de adaptações.

O campo de pesquisas da RV já é amplamente estudado pelo autor desta tese, sendo tema de sua graduação e mestrado. Em suas pesquisas, verificou que não existem heurísticas de usabilidade/UX voltadas especificamente para RV semi-imersiva, dificultando, assim, a avaliação destas aplicações. Sendo assim, nosso problema de pesquisa é a não existência de heurísticas para avaliar a RV não imersiva, e, portanto, esta pesquisa propõe a criação de heurísticas de usabilidade/UX para a realidade virtual semi-imersiva, e busca auxiliar na criação de elementos que facilitem e orientem a avaliação de ambientes para esta modalidade de RV.

OBJETIVOS

O problema de pesquisa é: a ausência de heurísticas específicas para avaliar aplicações educacionais de Realidade Virtual semi-imersivas.

Objetivo geral da tese: criação de heurísticas que auxiliem desenvolvedores a criar e testar ambientes de realidade virtual semi-imersiva.

Objetivos específicos:

1. Verificar a existência de heurísticas para realidade virtual e saber se atendem como solução para o problema de pesquisa, ou se podem ser adaptadas.
2. Pesquisar as metodologias para criação ou adaptação de heurísticas, e desenvolver uma metodologia própria para criação destas heurísticas.

3. Propor heurísticas novas, ou adaptar antigas, que respondam ao problema de pesquisa, com base nos dados obtidos sobre as heurísticas e características da RV semi-imersiva, e também nas fontes de estudo relacionadas ao tema.
4. Testar a eficácia e a validade das heurísticas novas, baseado em um estudo de caso de aplicação educacional de RV semi-imersiva, verificando se são mais adequadas que as heurísticas existentes ou similares. E, caso possível e necessário, refinar as heurísticas.

JUSTIFICATIVA

As heurísticas desenvolvidas por Nielsen e Molick (1990), e utilizadas nas primeiras avaliações heurísticas, são bastante genéricas e foram utilizadas para avaliar vários tipos de interface de interação humano-computador consideradas “tradicionais”, na maioria de sites e portais da internet, e interfaces de programas de computador (QUINONES, 2018).

Com o tempo e a evolução da tecnologia e interação humana, novos conjuntos de heurísticas surgem para contemplar novos desafios. Verificou-se que estas heurísticas iniciais são genéricas demais e, portanto, não contemplam certas características específicas de algumas interfaces humano-computador e de certas aplicações. Cada sistema ou aplicativo possui recursos que o diferenciam de outros tipos de aplicativos. Estes aplicativos, por suas características únicas, fazem parte de domínios únicos, ou específicos. Por esta razão, heurísticas muito genéricas podem não avaliar características únicas para domínios específicos, negligenciando importantes elementos que devem ser avaliados (QUIÑONES, 2018). Então surgiu a necessidade de adaptações nas Heurísticas tradicionais, como as propostas por Nielsen, ou por outros autores, para que contemplassem as características específicas destas aplicações. Assim, surgiram os primeiros conjuntos de heurísticas de domínio específico, como as que avaliam ambientes de aprendizado online (KOULOCHERI et al., 2011), mundos virtuais (RUSU et al., 2011), websites (CONTE et al., 2007), interfaces móveis (GOMÉS et al., 2014), dentre outros. São heurísticas direcionadas para um domínio em questão e, de uma maneira geral, não se aplicam aos outros domínios existentes, sendo desenvolvidas para captar a “essência” e as características únicas destas aplicações específicas.

Mas, poucos autores se dedicaram a criar heurísticas de domínio específico para a RV, e ainda nenhuma para a RV semi-imersiva. Destes autores, temos Sutcliffe e Gault (2004), e Murtza et al., (2017). Devido à escassez de heurísticas que avaliem ou orientem este tipo de ambiente, os avaliadores acabam optando por utilizar as heurísticas de Nielsen, que são insuficientes para avaliar este tipo de interface de interação humano-computador. Ou acabam optando por outros tipos de avaliação, diferente da avaliação heurística, como os testes

com usuários que são caros e difíceis (KARRE et al., 2020). Øvstegård (2019, p. 8 apud MACK; NIELSEN, 1994) relata sobre testes com usuários: “nem sempre é possível utilizar testes com usuários, e em vários projetos pode ser implementado apenas de forma limitada, ou não implementado”.

Sendo assim, esta tese propõe a criação de heurísticas específicas para avaliar aplicações educacionais de RV semi-imersiva. Com isto, visa auxiliar a avaliar e promover ferramentas que possam ser úteis para projetar estas aplicações com usabilidade/UX, se traduzindo em maior satisfação, eficiência e eficácia para o usuário.

A contribuição para o design, especificamente design de interação, e design de experiência de usuário, é a criação de Heurísticas, que vão auxiliar os designers e especialistas neste campo a avaliar, através das avaliações heurísticas, que é o foco principal nesta pesquisa, como também podem servir de guia para orientar o processo de criação destes ambientes de RV, focando, a princípio, nos ambientes de RV semi-imersiva. De acordo com Endsley et al. (2017 pg. 2-3): “a heurística pode ser usada em todos os estágios do processo de design, orientando pequenas e grandes decisões e prever o sucesso ou fracasso da usabilidade/UX em protótipos com vários níveis de fidelidade”. Portanto, esta pesquisa expande as fronteiras do conhecimento do Design, especificamente, no campo do design de interação e design de experiência de usuário (UX design), voltados para o design de aplicações de realidade virtual semi-imersiva, desenvolvendo novas heurísticas de domínio específico, compondo novas ferramentas para auxiliar os especialistas e desenvolvedores destas aplicações. Também traz avanços para a área da educação, na medida em que desenvolve e disponibiliza ferramentas que podem auxiliar no processo e adaptação de novas tecnologias ao processo ensino/aprendizado.

MÉTODO

De maneira geral, partiu-se de um levantamento dos trabalhos realizados na área da Realidade Virtual, por ser uma área de interesse e experiência prévia do autor, em que se buscou oportunidades de pesquisa e lacunas que permitissem o desenvolvimento de um trabalho relevante. A partir dessa pesquisa inicial, identificou-se no campo de design de Interações Humano-Computador (IHC) e sua relação com a RV um campo de estudo com poucos materiais e elementos já pesquisados.

Encontramos no método conhecido como Design Science Research (DSR) uma metodologia de pesquisa que atendeu às necessidades da pesquisa, e que forneceu estrutura e organização que esta pesquisa necessitava. Esta metodologia foi escolhida por conta do seu rigor científico, clareza nas suas etapas, e por orientar a produção do nosso artefato (heurísticas), sendo também mais adaptada para pesquisas no campo do design.

O ponto principal da utilização da DSR é a criação de um artefato para responder ao problema de pesquisa como proposta desta tese. O artefato em questão é o conjunto de heurísticas que servirá como ferramenta de avaliação dos ambientes educacionais semi-imersivos de RV. A DSR orienta a criação de artefatos que respondam como solução de determinado problema, sendo assim, consideramos a metodologia a mais apropriada.

Utilizou-se a versão da DSR proposta por Dresch (2015) por ser mais completa e composta por 12 etapas.

Para o método de criação do artefato, estudamos diversos autores que propõem uma metodologia para criação de heurísticas de domínio específico, desenvolvendo, a partir destes, um método próprio.

DELIMITAÇÕES DESTA PESQUISA

Este trabalho está inserido no âmbito do design de interação, mais focado na usabilidade/UX de sistemas de realidade virtual semi-imersiva. Considerando, assim, o escopo e os objetivos desta tese, apresenta-se abaixo o que não será abordado aqui, por compreender que necessita de aprofundamentos e pesquisas próprias, ou por serem temas para pesquisas futuras. Assim,

- Não são contempladas aplicações imersivas de RV, como as realizadas com HMD ou CAVES, pois o foco é na RV semi-imersiva por ser mais barata para reproduzir e utilizar em centros de estudo que possam utilizar aplicações educacionais de RV. Por não depender de dispositivos extremamente caros ou complexos, pode ser utilizada em uma escala maior, vencendo a resistência por parte dos gestores ao uso da tecnologia. Por exemplo, para pesquisar ou utilizar aplicações imersivas, deveríamos ter acesso a dispositivos como HMDs, que ainda possuem um custo elevado, e/ou CAVES, que são extremamente caras e em geral de acesso muito restrito por estarem em grandes centros de pesquisa. Assim, além de minimizar barreiras para esta pesquisa, também vislumbramos condições melhores para que possa ser replicada e utilizada. Também não nos ocupamos da Realidade Aumentada. A Realidade Aumentada (RA) faz parte do universo da RV, porém na prática é um ramo à parte, com características únicas que necessitam de toda uma pesquisa para suas características de domínio específico, e, portanto, heurísticas próprias. Deve, sendo assim, ser alvo de outras pesquisas.
- Não estamos avaliando ou tentando mensurar aprofundadamente os aspectos educacionais permeados pela RV, como também nosso foco não é o aprendizado através da RV. O foco são as heurísticas de domínio específico, e o

desenvolvimento destas, como ferramentas para melhor usabilidade/ UX, e consequentemente melhor design destes ambientes, auxiliando a avaliar sistemas educativos de RV semi-imersiva mais efetivos.

- Apenas nos limitamos às heurísticas para interação humano-computador (IHC) e no contexto de design de experiência de usuário (UX Design). Não abordamos outros tipos de heurísticas como heurísticas para soluções otimizadas para resolução de problemas, como na ciência da computação (APTER, 1970), nem as heurísticas como atalhos cognitivos para tomada de decisões, segundo os conceitos de Groner e Bischof, (1983).

ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta Tese está estruturada da seguinte maneira:

Capítulo 1: Temos a apresentação do trabalho juntamente com a explicitação e ambientação do tema e problema pesquisado; também são apresentados os objetivos gerais e específicos; suas delimitações enquanto tese; também temos sua justificativa, relevância, e contribuições, e a explicação resumida sobre a metodologia.

Capítulo 2: É apresentada a metodologia de pesquisa de forma detalhada, e também são descritos os protocolos de revisão sistemática.

Capítulo 3: Neste capítulo é feita a contextualização da nossa pesquisa, onde situamos o leitor sobre o universo da Realidade virtual, e a RV semi-imersiva, conceitos sobre usabilidade/ UX e as avaliações de usabilidade/ UX, como a avaliação heurística. Também são apresentados aplicações de RV semi-imersiva e os problemas de usabilidade/ UX encontrados nestas aplicações.

Capítulo 4: Neste capítulo é apresentado o resultado das revisões sistemáticas sobre heurísticas para RV, com as heurísticas existentes encontradas e as metodologias para criação de heurísticas existentes.

Capítulo 5: Neste capítulo detalhamos o desenvolvimento do método que utilizamos para criar as heurísticas novas, propostas como artefato para solucionar o problema de pesquisa.

Capítulo 6: Neste capítulo aplicamos, na prática, o método desenvolvido. Passamos por 7 de seus 8 passos: Busca de informações; orientações, recomendações e problemas de usabilidade/ UX; agrupamento e priorização de informações; agrupamento e priorização das heurísticas; seleção adaptação e criação das heurísticas; especificação das heurísticas; validação das heurísticas; apenas o estágio de refinamento será realizado a posteriori com mais estudos.

Anexo I: Artigos selecionados e tabela contendo os dados da revisão que atualiza a revisão de Quinones e Rusu (2016).

Anexo II: Artigos selecionados e tabela com os dados obtidos na revisão bibliográfica das aplicações de realidade virtual semi-imersiva.

Anexo III: Heurísticas especificadas. Temos as heurísticas desenvolvidas especificadas em detalhes.

Anexo IV: Ficha-base para a avaliação heurística – validação.

1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Como base para a pesquisa, utilizamos a Design Science Research (DSR). Ele forneceu o método de pesquisa ideal para o desenvolvimento do artefato proposto a construir: o conjunto de heurísticas. A seguir, detalha-se como foi atingida a conclusão de que este método era o ideal, e examina-se o método em questão.

1.1 Detalhando o método Design Science Research

A princípio, pesquisa-se uma subárea do campo do design, o design de interação focado na experiência do usuário UX – design. Em razão da realização de um curso de doutoramento em design focado na área de tecnologia, busca-se um problema de pesquisa que se enquadre na linha de pesquisa em questão.

Sendo assim, encontra-se nas investigações iniciais a recomendação de Poggenpohl e Sato, (2003), de que o problema de pesquisa deve ter um impacto relevante sobre o campo do design. Por conta disso, iniciou-se buscas na literatura para definir um problema de pesquisa que pudesse oferecer uma contribuição, mas que também fosse relevante para o campo do design. Nesse sentido, tendo como referência o trabalho de Dresch et al. (2015, p. 124), encontram-se orientações sobre como definir um problema de pesquisa. Segundo os autores: “no momento da identificação do problema, o pesquisador precisa justificar a importância de estudá-lo.”

Assim, vislumbra-se nas avaliações e usabilidade para interfaces computacionais e suas congruências com a RV um campo fértil para um problema de pesquisa que possua questões que envolvam design e tecnologia. Dando mais foco à pesquisa, concentra-se nas avaliações heurísticas como recorte do estudo.

Determina-se, assim, o problema de pesquisa, que é a ausência de heurísticas para avaliar aplicações educacionais de RV semi-imersiva. Este problema inicialmente surgiu a partir da pesquisa bibliográfica, em que se identificou alguma dificuldade para se avaliar aplicações de realidade virtual, representando, este fato, uma potencial lacuna para a pesquisa. Isto demonstrou ser um problema relevante para o design de interação e design de experiência do usuário UX.

A partir do problema definido, buscou-se a metodologia de pesquisa que melhor contemplasse o objeto de pesquisa. Como pesquisa-se questões inseridas no campo do design, procurou-se metodologias que mais se adequem a pesquisas deste campo.

Também investigou-se metodologias que auxiliassem a fundamentar e justificar o problema de pesquisa, a compreender o universo em que está inserido e como encontrar artefatos que possam solucioná-lo.

Considerou-se que a solução proposta para o problema de pesquisa levantado é um artefato, um conjunto de heurísticas de usabilidade/UX, para realizar avaliação heurística de ambientes de realidade virtual semi-imersiva, e que este artefato, caso não exista, deverá ser criado.

Também necessitou-se de um método de pesquisa que ajudasse a encontrar uma metodologia para desenvolvimento desse artefato e que por meio dessa metodologia possibilitasse testar sua funcionalidade para verificar se o artefato respondeu ao problema de pesquisa de forma satisfatória.

Por fim, buscou-se um método de pesquisa que orientasse a documentação dos resultados obtidos.

Assim, encontra-se na Design Science Research um método que contemplasse todas as condições levantadas acima: é um método de pesquisa voltado para pesquisas em design em suas múltiplas expressões; explica claramente os procedimentos que devem ser adotados para a realização da pesquisa (DRESCH et al., 2015) e escolha dos artefatos como solução de problemas. Como método de pesquisa, também auxilia a compreender, justificar e estruturar um problema de pesquisa e a entender o universo em que este se insere. Trata-se de um método que orienta, passo a passo, a criação de artefatos como solução de problemas; também orienta o pesquisador a encontrar a metodologia mais adequada para desenvolvimento e teste deste artefato para saber se o artefato selecionado realmente é satisfatório como solução para o problema de pesquisa levantado (DRESCH et al., 2015). Por fim, ensina como documentar e explicitar os resultados alcançados. Por causa destes fatores, optou-se pela DSR como metodologia de pesquisa para esta tese.

Para ter uma pesquisa viável por meio da Design Science Research é necessário observar sete critérios fundamentais, segundo Dresch et al. (2015 apud ALAN HEVNER et al., 2004):

1. A Design Science Research deve ter sempre como resultado um construto, um modelo, um método, ou uma instanciação.
2. O problema a ser resolvido deve ser importante e relevante para a área de estudo.

3. A qualidade, a eficácia, e a utilidade do artefato desenvolvido devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos de avaliação.
4. A pesquisa conduzida com a DSR deve apresentar contribuições claras nas áreas específicas dos artefatos criados, e possuir uma fundamentação clara nos princípios de design ou metodologias de design utilizadas.
5. A construção e a avaliação dos Artefatos devem ser baseadas em métodos rigorosos.
6. A procura por um artefato que satisfaça o problema de pesquisa implica utilização dos meios que estejam disponíveis para este fim, mas também que esses meios satisfaçam as regras que regem o ambiente em que o problema que está sendo estudado e este artefato encontrado como solução se inserem.
7. As pesquisas conduzidas pela Design Science Research devem ser apresentadas para o público.

Esta pesquisa possui os sete elementos. Para o item 1 – o resultado final será um modelo, no caso, um conjunto de heurísticas que pode ser aplicado para avaliação de qualquer aplicação educacional de RV semi-imersiva. Já o item 2 – levanta-se um problema de pesquisa que é relevante para o design de interação/UX design. Para o item 3 – propõe-se métodos de avaliação do artefato e realizamos a avaliação de sua eficácia. No item 4 – a pesquisa conduzida foi bem fundamentada, como se verá ao longo da tese, e apresenta contribuições claras para a área específica do artefato, no caso, o domínio específico da RV semi-imersiva. Para o item 5 – desenvolve-se um método para a criação do artefato. Já o item 6 – a busca do artefato está inserida no universo das avaliações heurísticas voltadas para aplicações de domínio específico para RV semi-imersiva e se fundamenta nos conceitos e regras propostas pelos autores que dominam este campo de estudo. E o item 7 – a publicação da tese e futuras publicações em revistas e congressos.

Para este trabalho adotamos o formato da Design Science Research proposto por Dresch et al. (2015), que é composto por 12 passos principais que são descritos abaixo:

1. Identificação do problema: nesta etapa o pesquisador define o problema.
2. Conscientização do problema: nesta etapa ocorre o esforço para a compreensão ampla sobre o problema. Ela ocorre concomitantemente com a etapa 3, e deve-se buscar o máximo de informações possíveis sobre o problema estudado.
3. Revisão sistemática da literatura: nesta etapa o pesquisador vai fazer a consulta de base de conhecimento, por meio da revisão sistemática da literatura, para

responder às questões relacionados à etapa 2, como também para a etapa 1, fortalecendo a definição do problema.

4. Identificação dos artefatos e a configuração das classes de problemas: nesta etapa, a partir da revisão sistemática realizada na etapa anterior, o pesquisador pode visualizar, caso existam, os artefatos relacionados ao problema que está tentando resolver.
5. Proposição de artefatos para resolver o problema específico: nesta etapa, a princípio, são propostos os artefatos para resolver o problema levantado. O objetivo é encontrar soluções satisfatórias para o problema.
6. Projeto do artefato selecionado: nesta etapa uma das soluções encontradas na etapa anterior deve ser escolhida. É muito importante que o método para construção e avaliação do artefato seja claro e descrito em todos os procedimentos.
7. Desenvolvimento do artefato: nesta etapa o artefato é desenvolvido com os métodos levantados na etapa anterior. É nessa ocasião que o pesquisador constrói o ambiente interno do artefato (SIMON, 1996).
8. Avaliação do artefato: nesta etapa, para Dresch et al. (2015): “o investigador vai observar e medir o comportamento do artefato na solução do problema”. Segundo a metodologia da DSR, essa avaliação pode ser feita de diversas formas, mas é necessária e importante para manter o rigor científico da pesquisa, e precisa ser realizada de maneira séria e com clareza.
9. Explicitação das aprendizagens e 10. conclusões: caso o artefato tenha atingido os objetivos esperados, nestas duas etapas o pesquisador faz uma explicitação das aprendizagens realizadas durante o desenrolar da pesquisa, detalhando os pontos de sucesso e insucesso, os resultados obtidos, as decisões tomadas durante o processo, as limitações da pesquisa e os trabalhos futuros.
10. Generalização para uma classe de problemas.
11. Comunicação dos resultados – Nestas duas etapas os resultados alcançados podem ser generalizados para uma classe de problemas, permitindo que haja um avanço do conhecimento em Design Science. É recomendado a comunicação dos resultados por meio de publicações em jornais ou revistas especializados.

Figura 1 - Esquema com as etapas da Design Science Resource



Fonte: adaptado de DRESCH et al., 2015.

Com a estruturação e organização fornecida por esta metodologia de pesquisa, pode-se saber como organizar a pesquisa, quais dados levantar, como levantar e organizar estes dados e como estruturar a forma de utilizá-los, e construir o artefato que se pretende. Sendo assim, para o levantamento desses dados, de acordo com os conhecimentos fornecidos pela DSR, inicia-se

as pesquisas iniciais e as revisões sistemáticas para o levantamento das informações necessárias à pesquisa.

1.2 Detalhando a aplicação da metodologia DSR à pesquisa

A partir da formalização do problema de pesquisa, partimos para a formalização das faces do problema, compreensão do ambiente externo e requisitos do artefato. Para estas três etapas, revisamos os artigos sobre realidade virtual e suas relações com usabilidade/UX, para compreender melhor o campo da RV, e suas interconexões com o UX Design para melhorar a experiência do usuário.

Ao conhecer e se aprofundar nos campos citados, obteve-se a compreensão de quais revisões deveriam ser realizadas para saber qual artefato serviria como solução para o problema de pesquisa e como construí-lo. Já na revisão sobre realidade virtual e UX, compreende-se qual artefato serviria para solução do problema levantado – heurísticas de domínio específico para RV semi-imersiva voltadas para educação, constituindo essa proposta de artefato como parte da etapa 3 da DSR – artefatos identificados.

A partir da proposição deste artefato como solução do problema, houve a necessidade de realizarmos revisões sistemáticas (ver item 2.3) para compreender: 1 – se não havia artefatos prontos para solucionar o problema (soluções satisfatórias explicitadas; 2 – os problemas de usabilidade/UX encontrados em aplicações educacionais de RV semi-imersiva relatados na literatura (classes de problemas estruturadas e configuradas); e 3 – métodos para desenvolver o artefato. A partir do resultado das revisões desta etapa, obtivemos a “proposta de artefato formalizada” concluindo a etapa 5 da DSR: proposição de artefatos para resolver o problema específico.

Na próxima etapa, projeto do artefato selecionado, desenvolve-se, a partir das revisões da etapa anterior, um método para criação do artefato. Este método desenvolvido contempla as técnicas para criar e avaliar o artefato, assim como detalha os requisitos do artefato – heurísticas, com suas especificações técnicas. O método é explicitado desde a sua concepção, e isto conclui a etapa 6 da DSR – projeto do artefato selecionado.

Com o desenvolvimento e a explicitação dos métodos e técnicas para criação do artefato, e como detalhar seus requisitos, parte-se para a construção do artefato utilizando o método desenvolvido na etapa anterior, realizando a etapa 7 da DSR – desenvolvimento do artefato –

quando tem-se o artefato em seu estado funcional, desenvolvendo as heurísticas para o domínio específico da RV semi-imersiva voltada para educação. Estas heurísticas saem desta etapa prontas para serem aplicadas.

A partir de então, estas heurísticas estão prontas para serem avaliadas, cumprindo a etapa 8 da DSR – avaliação do artefato. Após a avaliação, tem-se a explicitação das aprendizagens e a conclusão com os resultados da pesquisa, principais decisões tomadas e limitações da pesquisa – etapa 10 da DSR.

Por fim, tem-se a comunicação de resultados, que é a publicação da pesquisa para disseminação deste conhecimento adquirido.

1.3 Protocolos das revisões bibliográficas e etapas iniciais da DSR

Nas etapas 1, 2 e 3 da DSR, ocorreu a compreensão e definição do problema pesquisado, assim como a delimitação do objeto de estudo. A princípio, seguindo a etapa 1 da metodologia Design Science Research, a intenção era buscar as informações importantes que permeiam o universo da realidade virtual, por exemplo, suas definições e características, e relacionar estas informações com as questões pertinentes no universo da usabilidade/UX, de onde foi extraído o problema de pesquisa. Também busca-se compreender melhor os requisitos necessários ao artefato (heurísticas de usabilidade/UX para RV semi-imersiva) para solução do problema de pesquisa. Essa busca por informações foi uma pesquisa mais ampla e geral, apenas para que se pudesse ter um vislumbre da área da realidade virtual e da experiência do usuário UX.

Nas etapas 2 e 3 da DSR (que ocorrem concomitantemente), busca-se pesquisar de forma mais sistemática, e profunda, para obter informações sobre as definições do problema, as faces do problema, o ambiente do problema e seu contexto. Na etapa 3 foram realizadas as revisões sistemáticas que alimentaram de informações as etapas 4 e 5 da DSR.

Para fornecer informações para a etapa 4 da DSR – identificação dos artefatos e classes de problemas – e afinando mais nosso tema de pesquisa, focado na realidade virtual semi-imersiva para aplicações educacionais, e heurísticas, para avaliar estes ambientes, era necessário conhecer o estado da arte com relação a estes dois aspectos.

Detalhando melhor a questão quanto às heurísticas, o objetivo é encontrar artefatos que já existam, como, em nosso caso, heurísticas de usabilidade/UX para RV, ou RV semi-imersiva existentes, que possam servir como solução total ou parcial para o problema. Assim, a partir

dessa revisão, obteve-se o estado da arte das heurísticas para o domínio específico da RV. Ainda na mesma etapa da DSR, também pesquisamos as aplicações educacionais de RV semi-imersiva, para validar nossa hipótese de pesquisa, conhecer suas características e seus aspectos específicos. Assim, obteve-se o estado da arte das aplicações educacionais da RV semi-imersiva, e, com isto, uma visão ampla destas aplicações. Esta última revisão sistemática se tornou fundamental para esta tese, na medida em que não apenas alimentou de informações para a etapa 3 e 4 da DSR, porém, mais à frente, se tornou a grande fonte de informações, para o método escolhido para o desenvolvimento do artefato (etapa 5 em diante da DSR).

Para fornecer informações para a etapa 5 da DSR – proposta dos artefatos formalizada – realizou-se a revisão dos métodos existentes para criação de heurísticas, em que também analisou-se cada método encontrado, comparando e adotando o considerado melhor. Os protocolos de revisão, e como foram conduzidas as pesquisas em cada etapa, estão detalhados abaixo.

1.3.1 Visão geral da RV e dos conceitos de usabilidade/UX necessários para a fundamentação da pesquisa

Durante a etapa 1 a pesquisa foi sobre realidade virtual, com termos em inglês e em português. O termo “virtual reality” é muito genérico, pois agrupa muitos estudos e experimentações em diversas áreas, retornando milhares de artigos e textos acadêmicos. Por isso, esse termo sempre foi acompanhado de outro, ou outros termos, para refinar mais as buscas e os resultados. Lembrando que nessa etapa não foi bem uma revisão sistemática. Tratou-se mais de uma pesquisa exploratória para entender os conceitos, definições e a teoria de fundo do nosso contexto de estudo.

Os termos para essa fase foram pesquisados na base Capes e no Google Acadêmico. O objetivo foi encontrar os principais trabalhos que baseiam e referenciam a usabilidade/UX, a RV e as avaliações heurísticas, e coletar as principais definições sobre estes campos e suas inter-relações. Os resultados dessa etapa estão explicitados no capítulo 3 – “conceitos importantes”. Os termos pesquisados foram:

- “Virtual reality”, retornando em torno de 107.222 (sem filtro de data), retornando em torno de 43.161 apenas nos últimos 5 anos.

- “Virtual reality” AND “heuristics”, retornando em torno de 1.125 trabalhos (sem filtro de data).
- “Virtual reality” AND “usability heuristic”, apresentando em torno de 7 trabalhos (sem filtro de data).
- "Virtual reality" AND "usability" mostrando em torno de 6.045 trabalhos (sem filtro de data) e cerca de 2.845 trabalhos nos últimos 5 anos.
- Trabalhou-se sobre os 2845 trabalhos nos últimos 5 anos, a partir de seus títulos e verificando os que se enquadravam na pesquisa.
- Técnica bola de neve a partir dos principais trabalhos.

1.3.2 Revisão sobre os métodos para desenvolvimento de heurísticas

O método para desenvolvimento do artefato selecionado, de acordo com a DSR, deve ser rigoroso, claro e descrito em todos os procedimentos. É também muito importante que o método para construção realize a avaliação do artefato. Sendo assim, uma nova pesquisa se fez necessária, para que se levantasse as metodologias para desenvolvimento de heurísticas para domínios específicos, e fosse possível escolher a que melhor se enquadrasse neste trabalho.

Antes de partir para uma revisão sistemática, uma pesquisa rápida com alguns termos de busca como “methodology” AND “heuristics” foi feita. Encontrou-se um importante trabalho de revisão sistemática que serviu de base para esta etapa. O trabalho de Quinones e Rusu (2017) intitulado *How to develop usability heuristics a systematic literature review* já continha uma revisão desses métodos, e foi realizada com critérios rigorosos e claros. Porém, essa pesquisa encontrava-se desatualizada. Sua revisão, que foi bem extensa, contemplando 10 anos de estudos, foi iniciada com trabalhos publicados em 2006, indo até a trabalhos publicados em abril de 2016. Como este campo de estudo avança muito rápido, e pela possibilidade de que tenham surgido novos métodos para criação de heurísticas após abril de 2016, houve a necessidade de atualizar esta revisão dentro dos mesmos critérios utilizados por Quinones e Rusu (2017). O protocolo de revisão proposto por estes autores foi seguido rigorosamente, assim como seus critérios, métodos, e técnicas para a revisão que realizaram. Descreve-se em detalhes o que foi feito para esta pesquisa.

Termos de busca:

- (“usability heuristics” OR “usability heuristic”) AND (methodology OR design OR "formal process" OR process) AND (“heuristic evaluation”);
- (“usability heuristic” OR “usability heuristics” OR “usability guidelines”) AND (“methodology” OR “design” OR “formal process” OR “heuristic evaluation”);
- (“usability heuristics” OR “usability heuristic”) AND (methodology OR design OR “formal process” OR process);
- (usability) AND (heuristics) AND (“usability heuristics”) AND (process OR developing OR methodology OR “formal methodology” OR “formal process” OR “informal process” OR “developing usability heuristics” OR design OR “usability design” OR create)
- (heuristic OR heuristics OR pattern) AND (usability) AND (methodology OR “design process” OR “heuristic evaluation”)

Bases de dados:

- Computer Science; Science Direct; ACM Digital Library; IEEE Xplore Digital Library; Springer Link; Scopus; Google Scholar; e portal de periódicos da Capes.

Critérios de inclusão e exclusão dos artigos

Critérios de inclusão:

1. Trabalhos de pesquisa.
2. Estudos que contêm proposições para heurísticas de usabilidade em um determinado domínio.
3. Estudos que propõem uma abordagem, processo ou metodologia para estabelecer heurísticas de usabilidade.
4. Estudos publicados entre janeiro de 2016 e abril de 2020 (atualização para nossa pesquisa).
5. Artigos escritos em inglês, espanhol ou português.

Critérios de exclusão:

1. Estudos que contêm heurísticas propostas para outros aspectos (por exemplo: estética, automação, hiper-heurística).
2. Estudos que não explicam como as heurísticas de usabilidade foram desenvolvidas.
3. Teses (por exemplo, dissertações de mestrado) que não foram publicadas.

4. Artigos não focados principalmente na definição de heurísticas de usabilidade, como: relatórios de estudos de caso de usabilidade ou testes de usabilidade.

Também foram utilizados critérios para selecionar estudos de qualidade com uma validade maior:

1. Artigos descrevendo detalhadamente as heurísticas de usabilidade desenvolvidas e a abordagem usada para criar heurísticas.
2. Artigos que seguem um processo claro e são baseados em elementos críveis para desenvolver heurísticas.
3. Artigos que apresentem heurísticas bem projetadas, com informações suficientes para entendê-los.
4. Artigos que documentam adequadamente as atividades realizadas para criar as heurísticas.

Foram encontrados 172 artigos a partir das leituras do título e do resumo, restando apenas 39 artigos após a leitura dos artigos completos. Destes, 37 estudos são relacionados ao desenvolvimento de heurísticas para um domínio específico e 2 estudos desenvolveram processos ou metodologias para o desenvolvimento de heurísticas de domínio específico.

Para extração dos dados, os autores estudados e de onde foi a base para esta pesquisa, organizou-se a informação conforme apresentada abaixo:

Para os artigos relacionados ao desenvolvimento de heurísticas de usabilidade:

1. Os autores e ano do estudo.
2. O domínio das heurísticas de usabilidade propostas.
3. Como as heurísticas foram desenvolvidas (com base na abordagem, etapas ou a. metodologia utilizada no estudo).
4. O modelo usado para especificar as heurísticas de usabilidade propostas.
5. O método de validação usado para validar a usabilidade proposta nas b. heurísticas (se as heurísticas foram validadas).

Para os artigos incluídos relacionados às metodologias para o desenvolvimento das heurísticas de usabilidade, as informações foram organizadas da seguinte forma:

1. Os autores e ano do estudo.
2. As etapas ou fases definidas para desenvolver heurísticas de usabilidade.
3. As tarefas ou atividades de cada etapa ou fase.
4. O número de estudos que utilizaram uma metodologia para desenvolver.

Os resultados podem ser conferidos na tabela resumida que consta no Anexo 1, já os dados utilizados para esta pesquisa são analisados no capítulo 4 – O estado da arte – Métodos para desenvolvimento de heurísticas.

1.3.3 Revisão sistemática sobre heurísticas de domínio específico para RV

As buscas foram realizadas em inglês por ser o idioma base das pesquisas científicas, por retornar os resultados mais relevantes e em razão de encontrar resultados insignificantes em português. Os trabalhos foram pesquisados no Portal de periódicos da Capes sem filtro de data. Para a busca, foram formados os seguintes termos de busca:

- "heuristics" AND "virtual reality";
- “heuristic” AND “virtual reality”.
- (“usability heuristics” OR “usability heuristic”) AND (“virtual reality”);
- (“design guideline”) AND (“virtual reality”);
- (“usability heuristic” OR “usability heuristics” OR “usability guidelines”) AND (“virtual reality”);
- (“design guideline” OR “formal process” OR “heuristic evaluation”) AND (“virtual reality”);
- (“usability heuristics” OR “usability heuristic”) AND (methodology OR design OR “formal process” OR process) AND (“virtual reality”);
- (usability) AND (heuristics) AND (“usability heuristics”) AND (process OR developing OR methodology OR “formal methodology” OR “formal process” OR “informal”) AND (“virtual reality”);
- (“developing usability heuristics” OR design OR “usability design” OR “create”) AND (“virtual reality”)
- (heuristic OR heuristics OR pattern) AND (usability) AND (methodology OR “design process” OR “heuristic evaluation”) AND (“virtual reality”)

Como critérios de inclusão e exclusão, utilizou-se:

Inclusão:

1. Artigos que desenvolveram ou utilizaram heurísticas de domínio específico para realidade virtual, qualquer tipo de RV, ou para mundos virtuais, excetuando-se realidade aumentada.
2. Artigos que explicam claramente os métodos utilizados para obter as heurísticas, ou a forma de utilização destas.

Exclusão:

1. Realidade aumentada.
2. Trabalhos que se utilizam de heurísticas de domínio geral.
3. Artigos confusos, que não explicam, ou não deixam claro os métodos ou processos utilizados.

Foram encontrados 63 artigos que relacionam heurísticas à realidade virtual. Após a inspeção mais detalhada dos artigos, terminamos com 6 artigos que desenvolveram heurísticas específicas para avaliações heurísticas para o domínio de sistemas de RV ou semelhantes. Tem-se o trabalho de Alistair Sutcliffe e Brian Gault, intitulado: *Heuristic evaluation of virtual reality applications* (2004); os trabalhos de Muñoz e Chalegre: *Defining and validating virtual worlds usability heuristics* (2011) e *Defining virtual worlds usability heuristics* (2012); a pesquisa de Rusu et al (2011): *Usability heuristics for virtual worlds*; de Rabia Murtza, Stephen Monroe e Robert J. Youmans (2017), intitulado: *Heuristic Evaluation for Virtual Reality Systems*; e, por fim, também encontramos o trabalho de Heather Desurvire e Max Kreminsk (2018): *Are game design and user research guidelines specific to virtual reality effective in creating a more optimal player experience yes vrplay*, porém não incluímos este por tratar-se de heurísticas para jogos eletrônicos, ainda que, segundo os autores, sirvam para jogos em realidade virtual, o que foge do escopo desta tese.

Os resultados e as considerações detalhadas desta revisão sistemática estão explicitados no capítulo 4 – O estado da arte – heurísticas para RV.

A partir desta revisão, de acordo com a etapa 5 da DSR – Proposição de artefatos para resolver o problema específico – precisaríamos de um método para desenvolvimento das heurísticas propostas, no caso das heurísticas encontradas nesta revisão, não se adequassem como solução para o problema proposto.

Como ainda não encontramos heurísticas específicas para RV semi-imersiva, seguimos com a revisão dos métodos de criação.

1.3.4 Revisão sobre as aplicações educacionais de RV semi-imersiva

Nesta fase foi feita uma revisão sistemática bastante aprofundada e rigorosa a respeito das aplicações educacionais de realidade virtual semi-imersiva. Foi realizado um levantamento geral, a princípio, só para compreender o panorama das publicações sobre RV semi-imersiva voltadas para educação, porém também aproveitou-se a mesma revisão para levantar dados sobre problemas ou orientações de usabilidade/UX relatados a respeito destas aplicações. Os resultados foram refinados pelos critérios de inclusão e exclusão especificados abaixo.

Os termos de busca utilizados foram: "semi-imersiva virtual reality" OR "semi-imersiva ve" OR "semi-imersiva vr" OR "semi-imersiva virtual environment", tendo inicialmente retornado em torno de 661 trabalhos sem filtro de data no portal de periódicos da Capes. Foram encontrados poucos resultados em pesquisas realizadas em português. Os critérios de inclusão e exclusão foram:

Inclusão:

1. Qualquer aplicação educacional que envolva aprendizado de uma matéria, processo, treinamento ou técnica.
2. A aplicação deve ser realizada nos moldes da realidade virtual semi-imersiva.
3. Artigos que descrevam o treinamento ou aprendizado de alguma técnica (com fins educacionais).
4. Que descrevam como a realidade virtual semi-imersiva foi aplicada.
5. Que apliquem um método de validação para que os artigos sejam relevantes.
6. Que descrevam com clareza seus métodos e técnicas.
7. Que possuam problemas, orientações ou questões de usabilidade/UX relatados.

Exclusão:

1. Realidade aumentada.
2. Reabilitações e tratamentos.
3. Artigos que apenas apresentem ou proponham alguma tecnologia.
4. Qualquer aplicação não educacional.
5. Que apenas realizem a apresentação de dispositivos.
6. Simulações para exames médicos, ou outra área, que não tratem de aprendizado, apenas da visualização.

7. Outros tipos de RV que não semi-imersiva.
8. Aplicações para aumentar habilidades cognitivas que não sejam necessariamente voltadas para educação ou aprendizado.
9. Artigos que não possuam algum tipo de validação, ou que a validação não esteja clara.
10. Artigos que não apresentem nenhuma informação sobre usabilidade/UX que possa ser aproveitada nesta pesquisa.

Após filtragem dos artigos com os critérios de inclusão e exclusão aplicados, a partir da leitura dos títulos e resumos somente, atingiu-se o total de 148 trabalhos (sem filtro de data). Limitou-se então a pesquisa de 2012 a 2020 (últimos 8 anos). Para manter a atualidade dos dados, foram selecionados 65 artigos, que foram analisados na íntegra. Os resultados desta revisão podem ser encontrados no capítulo 4 - O estado da arte e no anexo 2.

Como já explicado, necessitava-se de informações sobre heurísticas para RV semi-imersiva existentes, para saber se estas existem, e se existem, se servem como solução para o problema de pesquisa. Sendo assim, uma revisão neste sentido foi realizada.

1.4 Sobre o resultado das revisões

A partir do método de pesquisa e das revisões realizadas, foi possível levantar os dados para a pesquisa. Passou-se a ter um vislumbre das pesquisas sobre realidade virtual e das lacunas em que era possível contribuir. E entendeu-se melhor o campo de pesquisa em que atuava, e estruturou-se melhor o problema de pesquisa.

Foi possível investigar a necessidade de novas heurísticas para o domínio da realidade virtual semi-imersiva para aplicações educacionais e sua importância para a realização de avaliações de aplicações deste tipo. Conseguiu-se o entendimento do estado atual das aplicações educacionais de RV semi-imersiva, quais as áreas que se utilizam desta tecnologia, com quais propósitos e quais resultados estão sendo alcançados.

Passou-se, então, a entender melhor os conceitos que conectam o universo da Realidade Virtual com os princípios de UX/ usabilidade e as avaliações heurísticas, como forma de avaliação destes ambientes.

Tivemos a possibilidade de levantar os métodos para desenvolvimento de heurísticas de domínio específico e assim ter as bases para estruturar um método para criação e

desenvolvimento de novas heurísticas, a partir da revisão sistemática sobre os métodos para desenvolvimento de novas heurísticas de domínio.

Por fim, os dados obtidos nestas revisões sistemáticas forneceram os dados necessários para alimentar os parâmetros em cada passo do método para criação de heurísticas escolhido na etapa de desenvolvimento das heurísticas propostas.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Este capítulo aborda o contexto da pesquisa. Pela ordem em que os assuntos são apresentados, inicia-se com a realidade virtual e os tópicos necessários para compreender a tecnologia e seu funcionamento. Ainda dentro da RV, vale destacar que se aborda também, além de seus conceitos basilares, a definição sobre o que é RV semi-imersiva e suas diferenças para a RV totalmente imersiva, também detalhando suas características próprias.

Também falaremos sobre a aplicação das RV semi-imersiva na educação e suas aplicações educacionais, incluindo um estudo sobre problemas e questões de usabilidade/-UX envolvendo estas aplicações relatados na literatura.

Por fim, entraremos no campo do UX e usabilidade com suas definições e conceitos, nos detendo em particular nas avaliações de usabilidade/UX e mais particularmente ainda nas avaliações heurísticas. Ainda dentro deste tópico de avaliações heurísticas, vale também ressaltar que explicaremos as diferenças entre heurísticas de domínio geral e heurísticas de domínio específico, ponto-chave para esta pesquisa.

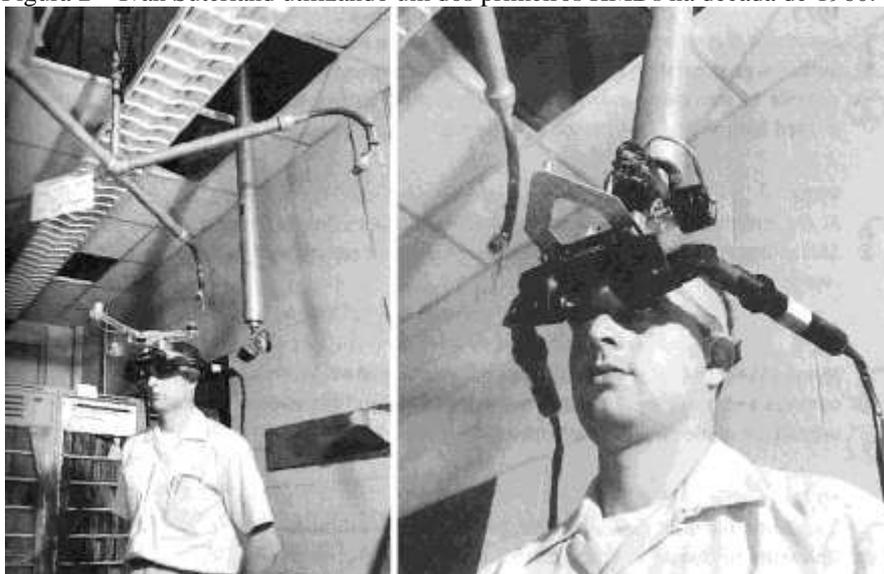
2.1 Realidade Virtual

A realidade virtual é como um guarda-chuva sobre o qual concentram-se diversas tecnologias e aparatos. Por conta disso, diversos conceitos e definições estão relacionados às aplicações de RV e são necessários para seu entendimento. Questões como presença, imersão e interação são vitais para uma experiência em RV (KIRNER, 2006). Através de nossas pesquisas iniciais buscando compreender melhor o universo da RV, encontramos suas definições e os conceitos necessários para compreender como estas tecnologias funcionam e que são detalhadas abaixo.

2.1.1 Definições de RV

O termo Virtual Reality, em português Realidade Virtual (RV), é creditado a Jaron Lanier (ESPINHEIRA, 2004; BARILLI, 2007), que nos anos 1980 sentiu a necessidade de um termo para diferenciar as simulações tradicionais por computação dos mundos digitais que ele experimentava. A RV começou na indústria de simulação com os simuladores de voo que a força aérea dos Estados Unidos passou a construir depois da Segunda Guerra Mundial (ESPINHEIRA, 2004). Na figura 2 temos exemplos de equipamentos dos primórdios da tecnologia.

Figura 2 – Ivan Sutherland utilizando um dos primeiros HMDs na década de 1960.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Ivan-Sutherlands-head-mounted-3D-display-c-1968-The-display-had-a-suspending_fig1_337438550.

A RV tem crescido rapidamente devido ao grande desenvolvimento dos computadores e dispositivos, que proporcionam simulações cada vez melhores (TORI et al., 2006). Porém, apesar do crescimento da utilização da tecnologia da RV, esta ainda possui obstáculos a serem vencidos.

Por concentrar muitas tecnologias e aparatos, não é fácil conceituar a Realidade Virtual (HOAREAU et al., 2017), e por isso possui muitas definições. Em 1987, uma das primeiras definições de RV foi dada pelo próprio Jaron Lanier junto com Steve Bryson: “RV é o uso de

tecnologia de computador para criar o efeito de uma simulação de mundo tridimensional em que os objetos passam uma sensação de presença espacial” (BRYSON, 2013, p. 4)

A partir de então, outras definições surgiram. Biocca (1992) definiu realidade virtual como “um ambiente mediado por computador no qual o usuário tem uma sensação de presença” (KERREBROECK et al., 2017, p. 2). A realidade virtual foi definida por Fuchs (1996), a partir de um ponto de vista técnico, como “um campo científico e técnico que utiliza tecnologia da informação e interfaces comportamentais a fim de simular em um ambiente virtual os comportamentos de entidades 3D, interagindo em tempo real entre si e com um ou mais usuários, através de imersão pseudo-natural, via canal sensório-motor” (HOAREAU et al., 2017 apud ARNALDI; FUCHS; TISSEAU, 2003, p. 8). Para Burbules (2006, p. 37), a RV pode ser definida como “uma simulação mediada por computador que é tridimensional, multissensorial e interativa, para que a experiência do usuário seja como se habitasse e agisse dentro de um ambiente externo”. Lee e Wong (2014) complementam ao conceituar que a RV é uma forma de simular ou replicar um ambiente que uma pessoa pode explorar e interagir. Na Figura 3 temos dois exemplos de ambientes de RV.

Figura 3 – Simulador de situação de emergência



Fonte: <https://vrmaster.co/intense-virtual-reality-simulation-teaches-to-survive-a-water-crash-landing/>.

Outra definição de RV bastante encontrada na literatura é a definição dos 3 “Is”, ou I3, em que, segundo alguns autores, a RV é a soma de Interação, Imersão e Imaginação (BURDEA; COIFFET, 2003, HUANG et al., 2016; HUANG et al., 2015; SUN et al., 2019). Também há a definição proposta por Tori e Kirner (Tori et al., 2018, p. 18), em que a realidade virtual é “uma interface avançada do usuário para acessar aplicações executadas no computador, tendo como

características a visualização de, e movimentação em, ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente”.

Em várias destas definições, observamos a interação e a presença como os conceitos mais importantes para a RV.

2.1.2 Interação

Para a RV, a ideia de interação está ligada com a capacidade de o computador detectar as entradas do usuário modificando instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele, de acordo com a vontade desse usuário em tempo real (ESPINHEIRA, 2004; HUANG et al., 2016). Na figura 4, por exemplo, vemos o usuário interagindo com um personagem virtual. Neste contexto, certos dispositivos conectam ações do usuário com elementos de cena do ambiente virtual (MACHADO et al., 2006).

Figura 4 – Interação do usuário com personagem virtual



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Augmented_realityinteraction.jpg.

Assim, segundo PINHO et al. (2006) e TORI e HOUNSELL (2018), a Interação inclui as técnicas que se utilizam de dispositivos de dois tipos: os chamados dispositivos convencionais e os chamados não convencionais. Como dispositivos convencionais, temos equipamentos como: teclado, mouse, joysticks, pedais, caixas de som, monitores, projetores etc. Já os dispositivos não convencionais são os que transmitem os comandos do usuário de forma mais natural, como se estes dados partissem diretamente de seu corpo. Em geral, mãos, braços ou cabeça. Agrupam-se nesta classe dispositivos como: Head Mounted Displays (HMDs), luvas de captura de movimentos das mãos, roupas especiais e equipamentos de

rastreio da posição do corpo. Para que possam transmitir os comandos do usuário, é necessário que o sistema de realidade virtual possua funções de suporte e reconhecimento para estes dispositivos (PINHO et al., 2006, TORI; HOUNSELL, 2018).

Tradicionalmente, a RV foi descrita como consistindo em quatro tipos de interação: navegação (figura 5a), seleção (figura 5b), manipulação (figura 5c) e controle do sistema (BLOM; BECKHAUS, 2014; LAVIOLA et al., 2017; OSTERGARD, 2019; TORI; HOUNSELL, 2018). A navegação descreve maneiras como um usuário pode transitar nos ambientes virtuais e o seu deslocamento representado por seu avatar no ambiente virtual (PINHO et al., 2006). Inclui, entre outras metáforas, caminhar, voar e elementos de orientação. A seleção e a manipulação descrevem como um usuário pode selecionar objetos em um ambiente e como este objeto pode ser manipulado (OSTERGARD, 2019; TORI; HOUNSELL, 2018). O controle do sistema descreve as maneiras pelas quais o usuário pode controlar o sistema, geralmente por meio de vários menus ou comandos (BOWMAN et al., 2017; OSTERGARD, 2019; TORI; HOUNSELL, 2018).

Figura 5 – navegação e interação em RV por um cenário em RV.



Legenda: (a) Navegação por um cenário em RV; (b) Usuário agarrando e atirando elemento virtual.
 Fonte: <https://www.lynda.com/Unreal-Engine-tutorials/Navigation-RV/550569/586541-4.html> - ;
<https://www.youtube.com/watch?v=x-NaOaJp0xc>.

A interação, quando bem realizada, leva o usuário à sensação de imersão e à sensação de presença.

2.1.3 Imersão

Huang (et al., 2016, p. 4 apud SHERMAN; CRAIG, 2003) se refere à Imersão como “a extensão em que os níveis sensoriais são imersos e com que sucesso um usuário se comunica

com um mundo virtual”. Já para Martirosov e Kopecek (2017, p. 7 apud BUCHANAN, 2006), a imersão é “a experiência semi-voluntária de ser transportado para um contexto alternativo por um período prolongado”. Para exemplificar a imersão temos o Sensorama (figura 6), que isola o indivíduo do mundo exterior e estimula vários sentidos, como: olfato, tato e visão. É considerado uma das primeiras experiências imersivas semelhantes à realidade virtual.

Figura 6 – Sensorama – equipamento que simula um ambiente com estímulo a vários sentidos, como visão, audição, tato e olfato.



Fonte: https://www.reddit.com/r/RetroFuturism/comments/5jtirf/sensorama_virtual_reality_sixties_style_1962/.

A imersão também considera o quão bem a tecnologia aproxima ações e movimentos do usuário no espaço virtual do mundo real. Por exemplo, uma experiência altamente envolvente rastreia os braços ou pernas de uma pessoa com altos níveis de precisão e mapeia seus movimentos para o espaço virtual de forma natural. A intenção da RV mais básica é a imersão, no sentido de o indivíduo se sentir transportado para o mundo virtual, como se estivesse, com efeito, dentro dele, envolvido, esquecendo-se completamente do mundo real (BRAGA, 2007).

Outro fator importante para a imersão é a sensação de presença. Presença e imersão estão inter-relacionadas. Para Martirosov e Kopecek (2017, p. 7), “níveis mais elevados de imersão são associados a níveis mais altos de presença”. Para Saadatzi et al. (2018), e Markowitz et al. (2018 apud BIOCCA et al., 2003), “o nível de imersão do usuário é determinado pelo nível de estimulação sensorial e impressão de presença dentro do ambiente”.

2.1.4 Presença

A presença, assim como a imersão, é um elemento de extrema importância nas simulações de realidade virtual. A presença também possui definições diferentes dadas por diversos autores. Witmer e Singer (1998, p. 225) definem a presença como “a experiência subjetiva de estar em um lugar ou ambiente, mesmo quando se está fisicamente situado em outro”. Lombard e Ditton (1997) definem a presença como “a ilusão perceptiva de que um ambiente mediado não é mediado”. Para Martirosov e Kopecek (2017, p. 7 apud DEDE, 2005), a presença é “o grau de impressão subjetiva de que alguém está participando de uma experiência abrangente e realista”. Martirosov e Kopecek (2017), Tori e Hounsell (2018), Borbála Berki (2020) e Markowitz et al. (2018) definem o sentido de presença de forma semelhante entre si, como um estado de consciência, a sensação psicológica de estar no ambiente virtual. Para alcançar esta sensação de presença, alguns fatores devem ser considerados: controle por parte do usuário, interação natural com o ambiente de RV, realismo dos gráficos e respostas realistas aos comandos do usuário (DUBOVI et al., 2017). Outro fator que aumenta a sensação de presença na RV, sobretudo na RV semi-imersiva, é o Fluxo.

2.1.5 Telepresença

A telepresença é parecida com a presença em termos de definições. Sua existência extrapola os limites da Realidade Virtual, podendo ser encontrada em outros meios, como na educação online, em aplicações realizadas apenas com câmeras e computadores. Para Tori e Hounsell (2018 apud STEUER, 1992), a telepresença é definida como “a experiência de presença num ambiente mediado por algum meio de comunicação”.

Segundo Renzi et al (2020), o termo “telepresença” foi “introduzido pela primeira vez por Marvin Minsky, um professor de ciência da computação no MIT, em seu artigo publicado na revista OMNI em 1980”. Ainda segundo Renzi (2020), Minsky previu como funcionaria o trabalho a distância, hoje chamado de trabalho remoto, que se tornou peça-chave para o desenrolar das atividades de certas empresas durante a pandemia de COVID-19, devido ao

isolamento social imposto pela pandemia. Segundo Minski (1980), as pessoas poderiam desenvolver suas atividades a distância, sem sair de casa, formando “clubes de trabalho”. De acordo com Renzi et al. (2020), o maior desafio da telepresença é alcançar o senso de “estando lá”, como se estivesse fisicamente presente.

2.1.6 Fluxo

Apesar da realidade virtual semi-imersiva ser classificada ou tipificada como “não imersiva”, na prática, ela apresenta diversos graus de imersão. Existem outros fatores que influenciam a imersão do usuário em uma aplicação virtual, e estes, independem do “isolamento” desse usuário do mundo real. Um desses fatores de grande impacto e importância para uma experiência imersiva é o fluxo.

Para Csikszentmihalyi (1990, p. 4), a definição de fluxo é um estado em que as pessoas estão tão intensamente envolvidas em uma atividade que nada mais parece importar; a experiência em si é tão agradável que as pessoas farão, pelo simples fato de fazê-lo. É um estado de concentração profundo, quase como um “transe”, induzido por uma atividade que é motivante e extremamente prazerosa e agradável para o indivíduo que a executa. Topu et al. (2018 apud CSIKSZENTMIHALYI, 1977) relatam que, quando no estado de fluxo, os jogadores em um *game* mudam para um modo comum de experiência quando se tornam absorvidos em sua atividade: “Este modo é caracterizado por um estreitamento do foco de consciência, de modo que percepções e pensamentos irrelevantes são filtrados” (TOPU et al., 2018, p. 3). Sendo assim, estão, portanto, imersos na experiência (CUNHA, 2007).

O fluxo pode ser alcançado em diversas atividades (HOFFMAN; NOVAK, 2009): no cinema ao assistir um filme de animação, ao ler um livro, ao jogar um RPG, na prática de esportes ou ao ler uma história em quadrinhos.

Alguns fatores devem estar presentes na aplicação ou atividade para que esta seja indutora do fluxo, e são relatados por diversos autores. Fatores como: objetivos definidos com clareza, uma sensação de controle sobre o meio ambiente, fornecer feedback sobre os efeitos de suas ações, feedback imediato, tarefas com níveis de dificuldade diferentes, interatividade, consistência e continuidade nos padrões, prazer e desafios (TOPU et al, 2018; CHOI; BAEK, 2011; OBERDÖRFER et al., 2019). Choi e Baek (2011) apontam que existem correlações

significativas entre o fluxo e as características da mídia como interação, fidelidade representacional, controle, imediatismo de comunicação, consistência e continuidade.

Sendo assim, o fluxo é um elemento importante para a sensação de presença, e Faiola et al. (2013) também contribuem para um aprendizado efetivo em ambientes de Realidade Virtual. O fluxo facilita a percepção sincrônica e se torna um determinante importante na vontade individual de usar o ambiente virtual (TOPU apud SHIN, 2009).

Para que todos estes elementos funcionem em conjunto, deve-se pensar em um sistema de Realidade Virtual.

2.1.7 Sistemas de realidade virtual

Para entender as classificações quanto à imersão e presença, primeiro é necessário entender o conceito de sistema de Realidade Virtual. A SRV se refere ao uso de uma variedade de hardwares, softwares, tecnologias e ferramentas projetadas para permitir que os usuários possam alcançar interação, imersão e presença através de múltiplos sentidos, e possam navegar e manipular o mundo virtual (PALLAVICINI et al., 2019). Resumindo: o que os autores estão dizendo é o conjunto entre o computador, que gera a aplicação, faz a integração de todo o sistema, os dispositivos de entrada e saída, como: telas, óculos, luvas, mouses e o sistema de RV (software) no qual a aplicação 3D é gerada (PALLAVICINI et al., 2019; LIANG, 2019). A figura 7 ilustra os sistemas de RV.

Figura 7 – Sistemas de realidade virtual.



(a)

(b)

Legenda: (a) Sistema de realidade virtual da Embraer; (b) Sistema de RV com dispositivo para caminhada, HMD e arma.

Fonte: <https://brasilsobranoelivre.blogspot.com/2012/10/para-crescer-embraer-foca-na-tecnologia.html> - virtual.jpg (588×316) (cienciasecognicao.org).

Na literatura, os autores apresentam classificações diferentes para os sistemas de RV. A classificação é feita em relação aos seus níveis de imersão ou presença, ou relacionado aos modos de visualização do ambiente virtual. Assim, alguns autores como Dubovi et al. (2017), García et al. (2016), Ayala et al. (2016) e Borbála Berki (2020) classificam em 2 tipos: imersivos e não imersivos. Encontramos em Li et al. (2012 apud MUJBER et al., 2004) a classificação em 3 tipos: semi-imersivos ou semi-imersiva, sistemas de projeção e sistemas totalmente imersivos. Também podemos encontrar diversos autores como VALDEZ et al. (2013), Pellas (2014) e Liang (2019) que classificaram os sistemas de RV em quatro categorias, quanto à imersão. Liang (2019) classificou os sistemas de RV em: sistema de realidade virtual semi-imersiva, sistema de realidade virtual imersivo, sistema de realidade virtual distribuída e realidade aumentada; enquanto Pellas (2014) e Valdez et al. (2013) classificaram de acordo com a tecnologia de exibição utilizada: imersiva, semi-imersiva, projetada e Área de Trabalho.

2.1.8 Sistemas imersivos

A RV chamada imersiva fornece um alto grau de imersão, com o auxílio de dispositivos de entrada especiais que isolam o usuário do ambiente real. Para García et al. (2016, p. 28): “essas interfaces especiais possuem dispositivos que isolam os usuários do mundo físico e fornecem uma sensação mais profunda de presença e imersão”. Denomina-se interface a toda parte do sistema com a qual o usuário mantém contato ao utilizá-lo e por onde ocorre a comunicação entre o usuário e o sistema ou computador (BOWMAN et al., 2017). A interface abrange hardware (teclados, mouse, monitor, impressora etc.), acessórios tais como luva, capacete, headphone etc. E a parte de software, que são os programas computacionais (BARILLI apud PRATES; BARBOSA, 2003).

2.1.8.1 RV imersiva com HMD

O dispositivo de interação mais conhecido, praticamente um ícone da RV imersiva, é o capacete HMD - *Head Mounted Display* ou dispositivo montado na cabeça, ou dispositivo BOOM – *Binocular Omni-Orientation Monitor* – monitor binocular omni orientado (BRAGA,

2007). O HMD possui duas telas embutidas e lentes, fornecendo uma visão de 360°, ao mesmo tempo em que detecta os movimentos da cabeça do usuário, atualizando seu ponto de vista no ambiente virtual (BERKI, 2020; TORI; HOUNSELL, 2018)). Na figura 8, temos um exemplo de HMD. Um HMD bastante popular, é o Oculus Rift – Figura 8 b (<http://www.oculusvr.com/>) –, desenvolvido pela empresa Facebook, e que contribuiu para um crescente interesse em dispositivos de RV por conta de seu baixo custo (FOMINYKH et al., 2014)

Figura 8 – HMD e acessórios.



Legenda: (a) HMD e acessórios (b) Oculus Rift

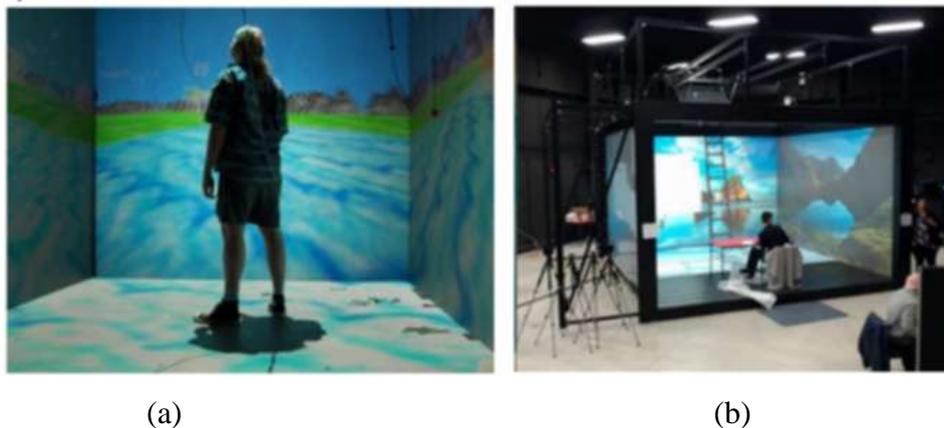
Fonte: (a) <https://news.samsung.com/br/samsung-apresenta-o-novo-hmd-odyssey-no-brasil>;

Fonte: (b) https://pt.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift.

2.1.8.2 RV imersiva com CAVE

Também temos o sistema com visualização avançada CAVE – mostrados na figura 9. A CAVE, ou *Cave Automatic Virtual Environment* (KIRNER et al., 2006), é normalmente um espaço com um arranjo de telas, com 4, 5 ou 6 telas, dispostas em forma de cubo, com um projetor para cada tela, conectados a um sistema imersivo gerado por computador. O sistema fornece integração entre as telas e som espacializado. O usuário entra no espaço entre as telas, ficando cercado por estes elementos, como numa caverna, e isolado do mundo real.

Figura 9 – Sistema CAVE.



Legenda: (a) Usuário utilizando uma CAVE; (b) esquema de montagem e projetores detrás das telas de uma CAVE.

Fonte: (a) Wikipédia:

https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment;

(b) <https://www.wavin.ca/vr-cave.html>;

<https://www.simutechgroup.com/blog/simutech-partners-ontario-and-tech-leaders-virtual-reality-cave>.

A CAVE envolve o usuário, excluindo outras distrações e permitindo que o participante se mova sem restrições dentro do limite do espaço. O amplo campo de visão permite a observação periférica natural e o controle do olhar. Além disso, a interação com o ambiente virtual é alcançada usando rastreadores de movimento e outros dispositivos que captam os comandos do usuário (PALLAVICINI et al., 2019).

Esses dispositivos imersivos como HMDs e CAVES são caros, de difícil manipulação, e raramente estão disponíveis em uma instituição educacional comum, em empresas menores ou ao público em geral (BERKI, 2020). Por isso, como alternativa, surgiu a RV na modalidade não imersiva.

2.1.9 Sistema Semi-imersivo, não imersivo ou RV semi-imersiva

A realidade virtual semi-imersiva utiliza aparatos mais tradicionais para realizar a experiência de RV (LEE; WONG, 2014; LEE et al., 2010) e não isola totalmente o usuário do ambiente real. Diversos autores definem a RV para semi-imersiva como um ambiente virtual 3-D gerado em um computador pessoal ou notebook, ou estação de trabalho de baixo nível para simular este ambiente, e visualizá-lo através de um ou mais monitores comuns de computador (OGBUANYA et al., 2018; CHEN et al., 2004; PALLAVICINI et al., 2019; MAKRANSKY

et al., 2019). Na figura 10, tem-se o exemplo de RV semi-imersiva. Esta modalidade de RV necessita que os participantes usem dispositivos de saída para visualizar o ambiente virtual em 360 graus, e este pode ser explorado de forma interativa usando equipamentos de informática comuns, como teclado, mouse, joystick, tela de toque e fones de ouvido.

Figura 10 – Exemplo de sistema de RV semi-imersiva.



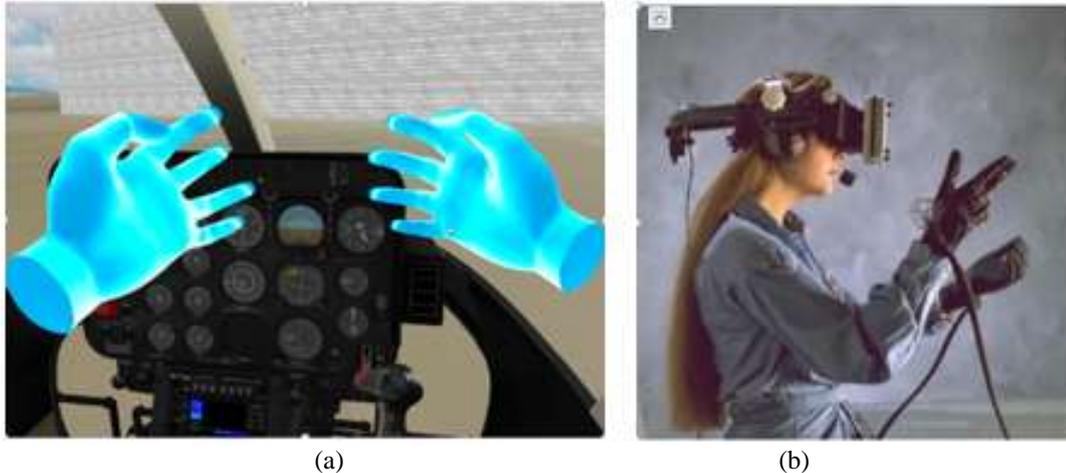
Fonte: <https://envirotecmagazine.com/2019/10/16/liverpool-company-develops-virtual-reality-tool-to-save-sellafield-20-million/>.

A tela do computador funciona como uma janela para observação do mundo virtual, que ainda pode ser perturbado pelo mundo real circundante, e daí o sentido de ser chamada de “semi-imersiva” (PALLAVICINI et al., 2019; OGBUANYA et al., 2018). Ainda segundo estes autores, a maior desvantagem da realidade virtual semi-imersiva é a falta de experiência real por conta da suposta “baixa imersão”, mas seu custo é relativamente baixo, mais versátil e muito mais simples que as versões “totalmente imersivas”, e, por conta disso, seu escopo de uso é mais amplo (PELLAS, 2014; PALLAVICINI et al., 2019).

Também pode-se oferecer suporte para dispositivos especiais, ou não convencionais, como forma de aumentar a imersão. O hardware para RV imersiva e RV semi-imersiva engloba uma grande variedade de dispositivos, tais como: óculos com obturador, trackball, bola de torque, sistema de rastreamento da cabeça e do corpo como o Kinect da Microsoft, e luvas de dados (LEE; WONG, 2014; MAKRANSKY et al., 2019; CHEN et al., 2004; GAZIT; CHEN, 2006; STRANGMAN; HALL, 2003; PALLAVICINI et al., 2019). As luvas de dados, ou *data gloves* (figura 19), são bastante utilizadas em sistemas de RV imersivos e semi-imersiva, como forma de reconhecer e capturar os movimentos dos dedos e da mão do usuário, como ilustrado nas figuras 11 (a e b) (MACHADO et al., 2006). Podem estar acompanhadas de dispositivos hápticos ou de force feedback – Figura 11 - b. Estes dispositivos dão ao usuário um retorno

mecânico, para que este tenha alguma resposta física com relação à sua interação com elementos, objetos ou com o próprio ambiente virtual, aumentando a sensação de imersão (TORI et al., 2006).

Figura 11 – Dataglove com sistema de force feedback.



Legenda: (a) Representação virtual das mãos do usuário; (b) usuário com a data glove e luvas com sistemas hápticos de “force feedback”.

Fonte: (a) <https://vrgineers.com/10-examples-how-virtual-reality-can-drive-your-business/> (b) https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology.

A seguir, será desenvolvido como a RV semi-imersiva se aplica à educação, com exemplos retirados da revisão sistemática realizada nesta pesquisa sobre as aplicações educacionais de RV semi-imersiva. Também aborda-se os problemas concernentes ao uso desta tecnologia no ambiente educacional de uma forma geral e seus problemas de usabilidade/UX no que envolve a relação aplicação-usuário.

2.2 Realidade virtual semi-imersiva aplicada para a Educação

2.2.1 Problemas e questões envolvendo aplicações educacionais

O termo educação geralmente se refere ao processo de facilitar a aprendizagem, adquirir conhecimento, habilidades ou valores positivos. Segundo Kamińska et al (2019 apud DEWEY, 2007, p. 1): “A tarefa do educador é melhorar as qualificações, competências e habilidades dos graduados durante o percurso educacional”.

Atualmente, as soluções educacionais são tecnologias modernas, como: cursos online (RICHARDSON; SWAN, 2003; MAGDALENE et al. 2018), blended learning (SINGH, 2003; STOCKWELL et al., 2015), utilização de e-board (MARIKAR et al., 2017), diferentes plataformas baseadas em computador (BALACHEFF; KAPUT, 1996; ZHANG et al., 2018), realidade virtual (DEGLI et al., 2019; HUANG et al., 2019; SALAH et al., 2019) e muitas outras, que permitem aos alunos repetir várias vezes o mesmo tópico, cometer erros e aprender com eles (KAMIŃSKA et al., 2019). Numerosos exemplos de hardware e software que tiveram sucesso em processos educacionais indicam que a educação mediada pela tecnologia pode melhorar o aprendizado para a maioria dos alunos (COLLINS et al., 2018; KAMIŃSKA et al., 2019). Mais e mais centros educacionais em todo o mundo estão começando a introduzir novas ferramentas de tecnologia poderosas que os ajudam a atender as necessidades de diversas populações estudantis (KAMIŃSKA et al., 2019).

Porém, ainda há uma dificuldade em implementar certas tecnologias. Necessidade de um suporte técnico (MARIKAR et al., 2017), falta de treinamento apropriado do suporte para ajustar os equipamentos e solucionar problemas, reduzindo a viabilidade técnica para utilização das tecnologias (MARIKAR et al., 2017), dificuldades dos alunos em utilizar equipamentos (KIRNER; SISCOOTTO, 2007), resistência de facilitadores e gestores que têm dificuldades com novas tecnologias (MAKRANSKY et al., 2019), e até mesmo problemas de saúde como náuseas e enjoos ao utilizar equipamentos, como no caso da Realidade Virtual (KAMIŃSKA et al. 2019).

Para a utilização da Realidade Virtual na educação, foco desta tese, abre-se um capítulo à parte de problemas. Há um conservadorismo por parte de empresas e organizações educacionais para implementar soluções em RV por não desejarem arcar com os altos custos e dificuldades de implementação (MAKRANSKY et al., 2019; KAMIŃSKA et al., 2019), o que as torna uma alternativa relativamente difícil de implementar em relação aos métodos convencionais de ensino (CHRISTOU, 2010). Questões tecnológicas, como acesso à internet, necessidade de computadores poderosos para suportar as aplicações, manipulação e manutenção de equipamentos não convencionais como HMDs e Data Gloves, espaço físico, restrições orçamentárias e o treinamento de professores são importantes considerações práticas que precisam ser tratadas antes que intervenções educacionais de RV possam ser amplamente adotadas nas salas de aula (MAKRANSKY et al., 2019; CHRISTOU, 2010; KIRNER; SISCOOTTO, 2007; KIRNER, 2006).

Nesse sentido, a realidade virtual semi-imersiva tem crescido e ganhado adeptos, por ser mais simples, mais barata, mais fácil de implementar e de gerar aplicações. Tem crescido

muito, sobretudo nos campos educacionais, e aumentando a aceitação de aplicações de realidade virtual, como auxiliares ou substitutas de rotinas tradicionais de aprendizado (KAMIŃSKA et al., 2019).

Mas, a RV semi-imersiva ainda pode ser difícil de usar para alunos e professores. Assim surgem as questões de usabilidade/UX e os problemas de usabilidade/UX, que, se estudados e solucionados, pode-se melhorar a relação aplicação-usuário e aumentar a aplicabilidade de soluções em RV para fins educacionais. Na próxima seção, discute-se as aplicações educacionais de RV semi-imersiva e levanta-se problemas, questões ou orientações de usabilidade/UX relatadas pelos autores destas aplicações.

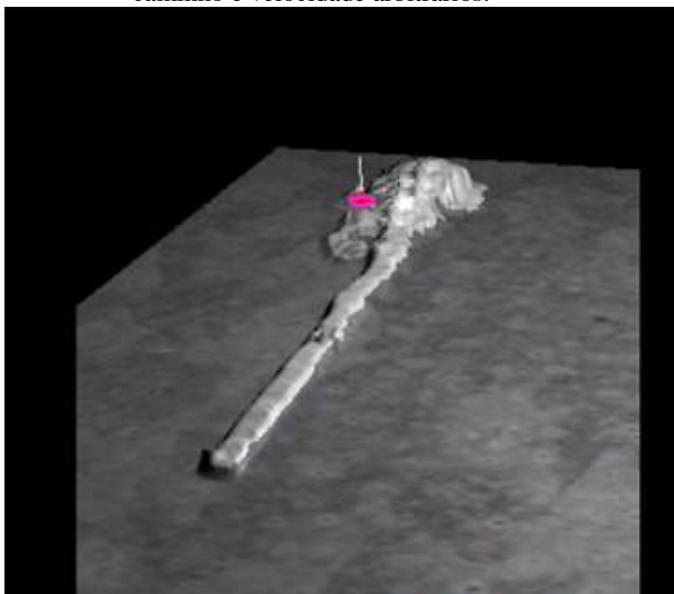
2.2.2 Aplicações de RV semi-imersiva e questões de usabilidade/UX relatadas

Apresenta-se aqui o resultado da revisão sistemática sobre aplicações educacionais de RV semi-imersiva. Essa revisão tem por finalidade entender como as aplicações de RV semi-imersiva são utilizadas na educação para encontrar problemas de usabilidade/UX relatados na literatura, e/ou orientações de usabilidade/UX que possam contribuir com esta pesquisa.

Chambers et al. (2012) desenvolveram uma simulação de soldagem em tempo real, através da realidade virtual semi-imersiva (Figura 12). Simularam um sistema de treinamento de soldagem de gás inerte e metal, que define a forma do cordão de solda, a profundidade de penetração e a distribuição de temperatura na peça de trabalho, com base em entradas do sistema de rastreamento de movimento. Após realizar alguns testes para verificar se o protótipo funcionava em tempo real, os autores concluíram que o protótipo funcionou como o esperado, oferecendo uma simulação realista de procedimento de solda. Com o problema de usabilidade/UX encontrado, os autores relataram as limitações de hardware do computador utilizado, e que, por conta disso, tiveram que desabilitar certas funcionalidades no simulador, resultando em uma simulação menos realista e mais imprecisa. Com isso, o simulador passou a apresentar diferenças importantes em relação à tarefa de soldagem real, como a redução da qualidade de simulação da temperatura da solda, resultando em pontos de solda que não correspondiam aos pontos de solda no mundo real, impactando na qualidade do treinamento. Por ser o tipo de hardware que os pesquisadores dispunham na época da pesquisa, informaram que a solução do problema seria a melhoria do hardware (processador, placa de vídeo,

memórias) do computador utilizado na simulação. Como orientação em termos de questão de usabilidade/UX encontrada, temos a qualidade do hardware utilizado.

Figura 12 – Peça de trabalho simulada e cordão de solda com caminho e velocidade arbitrários.



Fonte: CHAMBERS et al., 2012.

Harrington (2012) apresenta a Trilha do Trillium Virtual (Figura 13), um novo tipo de aplicativo de realidade virtual semi-imersiva que cruza dados para as áreas de simulações geoespaciais e educacionais. As descobertas do autor apoiam que o uso de alta fidelidade visual, com gráficos realistas ou o uso de fotografias combinado com alta liberdade de navegação levam a um maior conhecimento adquirido do que ao se utilizar estas características sozinhas. O autor encontrou uma relação entre a fidelidade visual (fidelidade representacional) com a atenção dos usuários e sua capacidade de extrair informações. Também relatou que a alta liberdade de navegação, estimulou os usuários a explorarem melhor o ambiente virtual por conta própria (autoeficácia). Sendo assim, a fidelidade representacional e a liberdade de navegação são dois pontos importantes a serem considerados nesta pesquisa.

Figura 13 – A Trilha do Trillium Virtual e um cartão informativo.



Fonte: HARRINGTON, 2012.

Merchant et al. (2012) examinaram um modelo do impacto de um ambiente de realidade virtual semi-imersiva 3D nas características perceptivas e psicológicas dos alunos com o intuito de melhorar o aprendizado relacionado à química, utilizando uma disciplina introdutória de química na faculdade. Para isso, uma aplicação para ensinar conceitos de química foi utilizada. Concluíram após um teste com alunos, que consistiu na visualização de estruturas 3D de moléculas, que o sistema aumentou a capacidade de visualização espacial dos alunos e seu aprendizado. Durante os testes, foram relatadas questões referentes ao grau de controle dos usuários em relação à manipulação das moléculas (controle do usuário), em que os usuários sentiram dificuldade de estar no controle, dominando as operações com as moléculas. Também foram relatadas questões referentes ao realismo (fidelidade representacional), quando o realismo do sistema foi considerado um fator positivo pelos usuários. Também houve o relato de dificuldades em aprender como interagir com o sistema e em interagir com as moléculas (interações claras). A falta de possibilidade de interação maior com as moléculas também foi relatada (interatividade), e a percepção de utilidade do sistema melhorou o entendimento e aprendizado do conteúdo da matéria por parte dos usuários (utilidade percebida).

Chen e Mo (2013) apresentam um protótipo de Realidade Virtual semi-imersiva (semi-imersiva RV) desenvolvido para aumentar a conscientização de segurança elétrica. O modelo apresentado tem potencial para ser usado como uma ferramenta educacional para alunos do terceiro ano, uma ferramenta de design para a indústria ou como um manual de segurança elétrica virtual para o público em geral. Segundo os autores, o protótipo ofereceu uma experiência de interação aceitável. Além disso, a partir dos resultados desta pesquisa, há indícios de que a RV pode ter um forte impacto motivacional nos usuários. Esta pesquisa sugere

que isso leva a um maior efeito de aprendizagem, que evolui para uma compreensão potencialmente maior do conceito ou tarefa em questão. No quesito de usabilidade/UX, relataram diversos problemas relacionados à(ao): atratividade do sistema; flexibilidade do sistema; ação mínima necessária para as atividades; carga mínima de memória; operabilidade do sistema; orientação do usuário; consistência dos padrões; autodescrição; precisão do sistema; integridade do sistema; legibilidade das informações; controlabilidade; navegabilidade; simplicidade; familiaridade; tempo de carregamento; eficácia do site de ajuda; autoeficácia do usuário; documentação; tempo de resposta do sistema. Utilizaram um modelo como base, o modelo Quimm (SEFFAH, 2006), que contém estes critérios como uma base para encontrar estes problemas de usabilidade/UX.

Valdez et al. (2013) discutem a contribuição efetiva de um Objeto de Aprendizagem (OA) para ensinar a teoria dos circuitos com base em pesquisas realizadas com alunos do ensino superior, e sua interação com um professor de teoria dos circuitos. Para isto, apresenta um modelo de protótipo de Realidade Virtual semi-imersiva (Figura 14) cujo objetivo é desenvolver habilidades e competências sobre a teoria dos circuitos, e tem a capacidade de ser usado como um manual elétrico virtual e ferramenta educacional para alunos do primeiro ano de um curso de Engenharia Elétrica. Quanto à usabilidade/UX, os autores introduziram dicas e pistas visuais para auxiliar os usuários a saber o que é interativo no sistema, saber o que fazer e como realizar as tarefas.

Figura 14 – Imagem do laboratório virtual.



Fonte: VALDEZ et al., 2013.

Lee e Wong (2014) realizaram um estudo que tem como objetivo verificar a eficácia de aprendizagem de um ambiente baseado em Realidade Virtual semi-imersiva (semi-imersiva RV), investigando os efeitos do ambiente de aprendizagem baseado em RV semi-imersiva em

alunos com diferentes habilidades espaciais. Segundo os autores, as habilidades espaciais são a capacidade de se orientar em um espaço tridimensional. Um programa de Realidade Virtual para semi-imersiva, V-Frog™ (Figura 15), foi usado para fornecer o ambiente de aprendizagem virtual aos alunos. Este software foi desenvolvido e fornecido pela Tactus Technologies. Os alunos podem cortar, puxar, sondar e examinar um espécime virtual usando ferramentas de dissecação, como o bisturi e a pinça. Concluíram que o efeito positivo do ambiente de aprendizagem baseado em RV semi-imersiva, evidencia que a tecnologia apoia e aprimora o aprendizado no ensino de biologia. Consideraram a abordagem no modo de aprendizagem de RV centrada no aluno, superior à abordagem centrada no professor no modo de aprendizagem sem RV. Sobre questões de usabilidade/-UX, os autores relataram questões envolvendo a redução da carga cognitiva para melhorar o desempenho dos usuários. Também introduziram pistas visuais ressaltando elementos para auxiliar na realização das tarefas, e a necessidade do controle das atividades por parte do usuário (controle do usuário) para aumentar sua autoeficácia.

Figura 15 – Imagens do V-Frog.



Fonte: LEE; WONG, 2014.

Cho (2015) investiga as influências das diferenças individuais, como a idade, gênero e crenças epistemológicas sobre a presença física e social. Este estudo também investiga as influências da presença física e social no interesse situacional e na percepção de realização de tarefas no ambiente virtual. Todo este estudo é voltado para aplicações de aprendizado e ensino em ambientes de RV semi-imersiva baseadas em mundos virtuais (Figura 16). O experimento

realizado permitiu que professores em formação ensinassem seus colegas em uma sala de aula realista no Second Life e pudessem refletir sobre o uso da língua como professores. Os autores concluíram que mais atenção deve ser dada às funções físicas e presença social no ensino e aprendizagem em mundos virtuais. Este estudo descobriu que a idade e as crenças epistemológicas influenciaram significativamente a presença física e social. Quanto a questões de usabilidade/UX, os autores constataram a necessidade da sensação de presença para um aprendizado efetivo. Também encontra-se neste trabalho que a fidelidade representacional e o imediatismo de controle fornecido para o usuário influenciaram positivamente a sensação de presença física. Os autores também constataram que ambientes de RV aumentam automaticamente a carga cognitiva no aprendizado por seus muitos elementos e acessórios, e, sendo assim, é importante pensar na redução da carga cognitiva ao planejá-los para uma aprendizagem significativa.

Figura 16 – Escola primária virtual no Second Life.

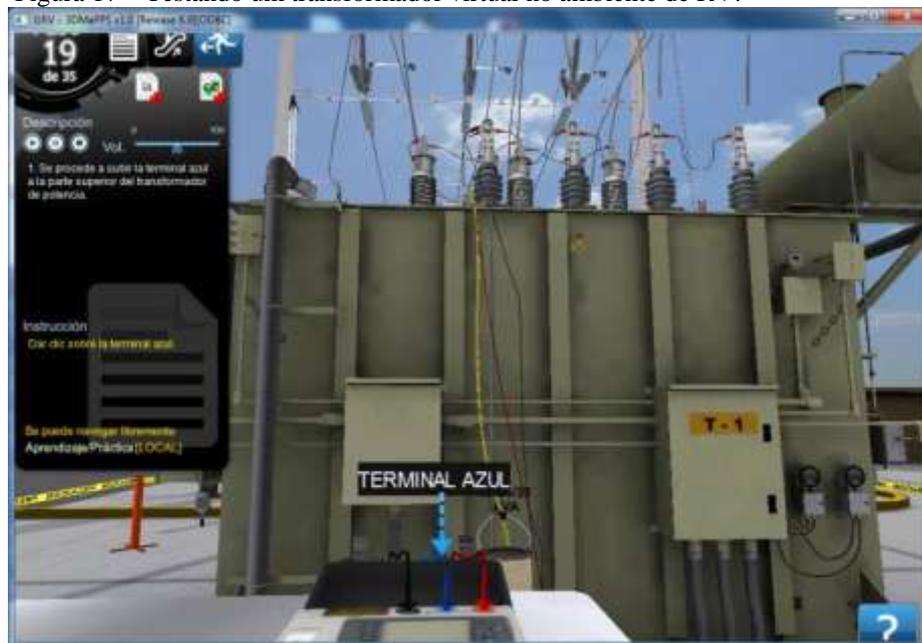


Fonte: CHO, 2015.

Hernández et al. (2016) propuseram um modelo de e-learning para apoiar treinamentos adaptativos e a distância com a utilização de RV semi-imersiva. O sistema de treinamento de Realidade Virtual semi-imersiva foi projetado para apoiar a aprendizagem de testes elétricos em equipamentos primários de subestações de distribuição de energia elétrica. Possui alto grau de realismo, tanto visual como interativo nas tarefas a serem desempenhadas (Figura 17). O sistema é baseado em aprendizado através do estímulo de fatores afetivos, como geração de empatia. Um dos componentes principais é um agente pedagógico virtual animado que orienta os estagiários e dá instruções. O agente desenvolve diferentes expressões faciais, transmitindo

emoção e empatia aos estagiários. Concluíram que embora os eletricitistas participantes reclamassem de algumas das expressões animadas do “agente virtual”, este foi bem aceito, e a pesquisa obteve resultados positivos. Quanto a questões de usabilidade/UX, foi relatado que a empatia provocada pelo agente virtual, de fato, auxiliou no processo de aprendizado. Porém, os usuários reclamaram da baixa qualidade visual do agente virtual e que isso poderia distrair o aprendiz (fidelidade representacional). Os autores também constataram em seus testes que quanto mais os usuários percebem a utilidade do sistema (utilidade percebida), mais eles confiam no aprendizado através deste. A carga cognitiva também afetou os usuários testados, pois onde foi percebida em excesso, os estudantes demoraram mais na realização das tarefas.

Figura 17 – Testando um transformador virtual no ambiente de RV.



Fonte: HERNÁNDEZ et al., 2016.

Huang et al. (2016) partem da premissa de que avaliar a aceitação do aluno dos ambientes de aprendizagem de Realidade Virtual (RV) é uma questão crítica para garantir que tais tecnologias sejam usadas com maior efeito. Sendo assim, sua pesquisa descreve o Sistema de Ensino Auxiliar de Estruturas de Corpo Virtual (VBS-ATS) - Figura 18 - que é um sistema 3D baseado na web e é um sistema de aprendizado interativo de RV, projetado para instruir estudantes de medicina em fisiologia humana, especificamente os órgãos do corpo. O VBS-ATS foi construído para ser usado com RV semi-imersiva e RV baseado em projeção, de modo a acomodar tanto a autoaprendizagem quanto espectadores nas configurações gerais da sala de aula. Como fatores de usabilidade/UX a relatar, tem-se que a utilidade percebida do sistema por parte dos usuários impacta o aprendizado. Os autores também encontraram em seus testes a relação entre a fidelidade representacional e a aprendizagem. O design deficiente da RV em

seus recursos 3D limita a eficácia da entrega do conteúdo. A sensação de imersão foi considerada um fator igualmente importante para o aprendizado, assim como a interatividade e simplicidade do sistema.

Figura 18 – Captura de tela de uma unidade de aprendizagem (sistema respiratório).



Fonte: HUANG et al., 2016.

Parmar et al. (2016) criaram uma simulação de circuito interativo (IBAS) - Figuras 19, em que os participantes poderiam aprender sobre eletricidade, instrumentos de medição, como o amperímetro, voltímetro e multímetro em um sistema simulador de placa de ensaio em RV. O intuito do experimento era comparar o desempenho dos alunos utilizando RV imersiva, com HMDs, e não imersiva, ou RV semi-imersiva. Concluíram que em ambas as condições de visualização, os participantes efetivamente aprenderam as habilidades psicomotoras em todos os níveis pesquisados. No entanto, houve níveis de aprendizagem mais altos relativos à avaliação nos participantes que realizaram o experimento na versão imersiva com HMD, denotando que, neste caso, aprenderam a tarefa significativamente melhor do que os participantes na condição semi-imersiva.

Figura 19 – Demonstração do experimento IBAS.

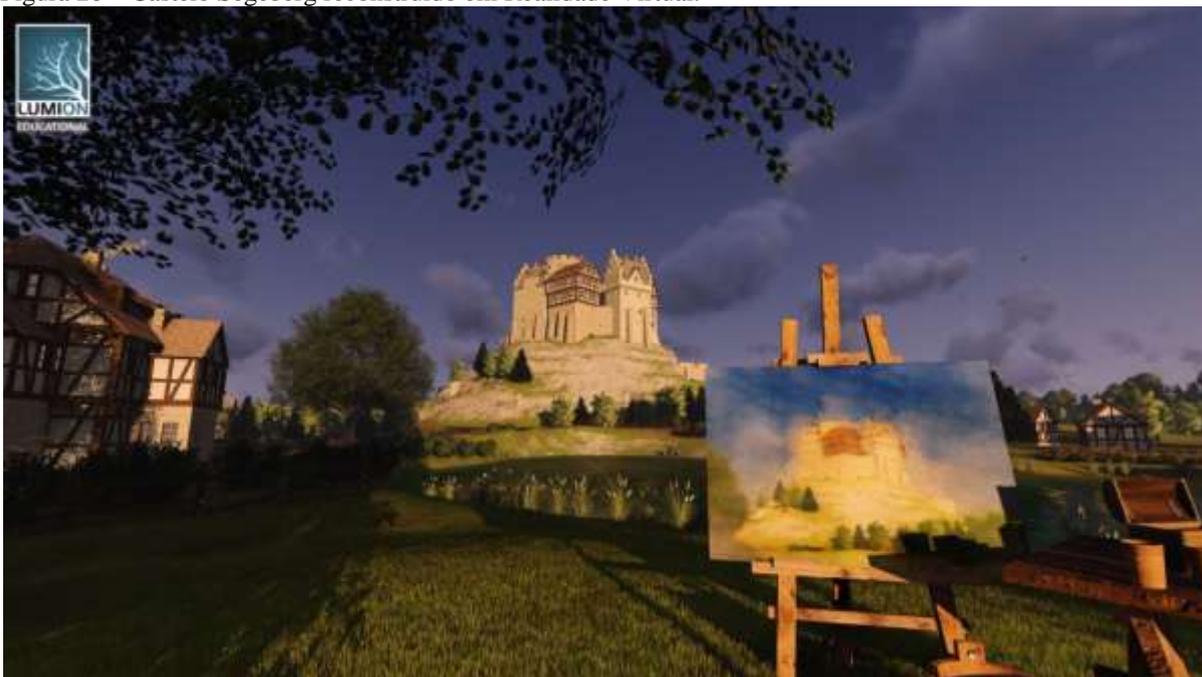


Legenda: (a) Configuração do experimento para a simulação de atividade da placa de ensaio interativa na condição RV semi-imersiva; (b) configuração do experimento para a simulação de atividade da placa de ensaio interativa na condição feita com HMD.

Fonte: PARMAR et al., 2016.

Deggim et al. (2017) apresentam o desenvolvimento de uma reconstrução virtual 3D de duas cidades, Segeberg (Figura 20) e Gieschenhagen (hoje: Bad Segeberg), em Schleswig-Holstein, na Alemanha no início da Idade Moderna por volta de 1600. A paisagem histórica e sua conversão em um modelo de cidade virtual reconstruído em um aplicativo de RV interativo e semi-imersiva também é descrito. A reconstrução é baseada em um recente modelo digital do terreno, bem como dados de levantamento de edifícios sobreviventes, informações visuais históricas com base em desenhos históricos e relatos escritos daquela época. Todos os conjuntos de dados são combinados em um único mundo virtual percorrível, que abrange aproximadamente 3 km². Como conclusão, o aplicativo de realidade virtual Segeberg 1600 foi implementado com sucesso usando as cidades históricas reconstruídas. A questão referente à usabilidade/UX importante de ressaltar neste artigo é que os autores criaram uma função de “teletransporte” para o usuário pular por partes do modelo, que é gigante, e poder ter um controle maior sobre a navegação (controle da navegação e imediatismo do controle).

Figura 20 – Castelo Segeberg reconstruído em Realidade Virtual.



Fonte: DEGGIM et al., 2017, castelo Segeberg reconstruído em realidade virtual.

Já Ogbuanya et al. (2018) compararam a eficiência da Realidade Virtual semi-imersiva com a prática convencional de aprendizagem em sala de aula para o ensino e aprendizagem de tecnologia elétrica/eletrônica. A pesquisa foi medida por meio de desempenho acadêmico, interesse de aprendizagem e engajamento. Quatro universidades foram utilizadas para o estudo. Um programa de realidade virtual para semi-imersiva, VD-Circuit, foi usado para fornecer o ambiente de aprendizagem para os alunos. Este software foi desenvolvido e fornecido pela Mastersoft Technologies, Abakaliki. É baseado em um simulador de Realidade Virtual de circuito eletrônico, que foi desenvolvido usando projeto de circuito virtual (T. C. OGBUANYA E N. OGBONNA ONELE Tecnologia) para o aprendizado sobre circuitos elétricos. Os resultados deste estudo apoiaram algumas descobertas anteriores de que a RV pode melhorar o desempenho acadêmico, o interesse e o envolvimento. Os alunos do grupo de Realidade Virtual não apenas alcançaram resultados mais altos, mas também mostraram atitudes mais positivas ao aprender com RV, resultando em maior engajamento em suas atividades de aula. Quanto a questões de usabilidade/UX a relatar, os autores concluíram que a interatividade e a satisfação em utilizar o sistema de RV causaram engajamento dos usuários. A possibilidade dos estudantes poderem se autogerir durante o processo de navegação e execução das tarefas também foi relatado como importante para o engajamento dos estudantes.

Ibrahim e Ali (2018) fornecem uma estrutura conceitual que orienta o design de um ambiente facilitando a aprendizagem cultural para usuários casuais. A abordagem exploratória

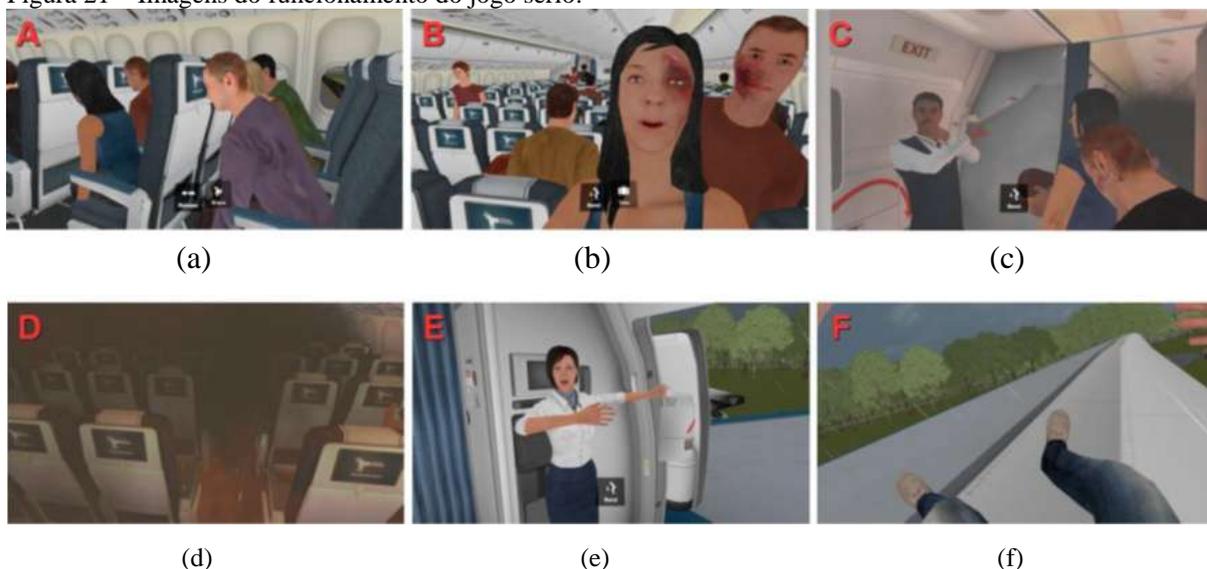
de design de método misto sequencial foi usada como base para o desenho geral da pesquisa. Um protótipo foi desenvolvido em RV semi-imersiva para demonstração de conceito a ser usado durante a fase de avaliação. O protótipo foi desenvolvido usando a plataforma de desenvolvimento Unity 3D e consistiu em um ambiente de uma casa malaia tradicional para promover a herança virtual. Concluíram com suas pesquisas que quatro fatores contribuem para o design dos ambientes em questão: design de informação, apresentação de informação, mecanismo de navegação e configuração do ambiente.

No quesito usabilidade/UX, podemos destacar que os autores utilizaram um sistema de minimapa interativo para auxiliar os usuários a navegarem pelo cenário e se localizarem (clareza na navegação). Também criaram um sistema de teletransporte para que os usuários pudessem pular para outras partes do cenário (controle da navegação e imediatismo do controle). Também criaram um painel com a localização atual do usuário e descrição do local (localização do usuário). Os autores também criaram mecanismos para reduzir a carga cognitiva sobre o usuário, com informações sendo dadas de forma progressiva e ao comando do usuário (carga cognitiva). Os autores consideraram a liberdade e controle dos usuários importantes para a exploração do cenário (liberdade e controle do usuário para exploração livre). Ressaltaram a importância da qualidade gráfica para as atividades a serem realizadas (fidelidade representacional). Relataram, também, a necessidade de mostrar informações de forma organizada com textos curtos e simples, título do tema, ênfase e agrupamentos, e também a necessidade de apresentar estas informações de forma clara, com esta clareza no menu de navegação e no menu de instruções. Apresentaram camadas de informação para reduzir a carga cognitiva, dando informações de forma progressiva, indo de informações gerais a informações detalhadas. Os autores também utilizaram informações provocativas para aguçar o interesse e instigar o aluno e múltiplos estímulos aos sentidos, como: texto, imagens, ilustração, animação e vídeos. Os usuários relataram problemas de usabilidade/UX na falta de algo mostrando para onde os usuários poderiam se teletransportar, e a falta de instruções sobre como usar e manipular o sistema com relação à sua interface geral e suas interações.

Já Buttussi e Chittaro (2018) estudaram três tipos diferentes de visores de HMDs para RV, usados pelos participantes do estudo para treinamento em procedimentos de segurança da aviação com utilização de um jogo sério. Os três monitores eram respectivamente representativos de: 1 - RV semi-imersiva (um monitor semi-imersiva padrão), 2 - RV imersivo usado na literatura (um HMD com campo de visão estreito e um rastreador 3-DOF), e 3 - novas configurações para RV doméstico imersivo (um HMD com amplo campo de visão e rastreador 6-DOF). Avaliaram os efeitos sobre o ganho de conhecimento com base em diferentes critérios

(autoeficácia, engajamento e presença). O ambiente de RV semi-imersiva e para os demais testes em questão é um simulador para procedimentos de evacuação (figura 21), que permite que os jogadores experimentem uma evacuação de emergência total de um avião comercial, passando por todos os procedimentos que ocorreriam em uma situação real. O ambiente virtual foi baseado em um acidente real, e visa o aprendizado e treinamento destes procedimentos. Os autores descobriram que mudar o tipo de tela de exibição afetou o envolvimento e a sensação de presença dos usuários, embora não tenha afetado significativamente o aumento do conhecimento e da autoeficácia. Quanto a questões de usabilidade/UX importantes de ressaltar neste trabalho, pode-se afirmar que a fidelidade visual dos displays são importantes para a sensação de presença nos usuários, assim como captar os movimentos da cabeça dos usuários na versão semi-imersiva também aumentou a sensação de presença.

Figura 21 – Imagens do funcionamento do jogo sério.



Legenda: (a) Passageiros assumindo a posição de suporte; (b) Um passageiro ferido diz ao jogador que a saída mais próxima está na direção oposta; (c) Fogo e fumaça começam a chegar à saída mais próxima; (d) Fogo começa a chegar ao local do jogador; (e) Um assistente de voo controla a evacuação na saída da asa; (f) O avatar do jogador cai da asa.

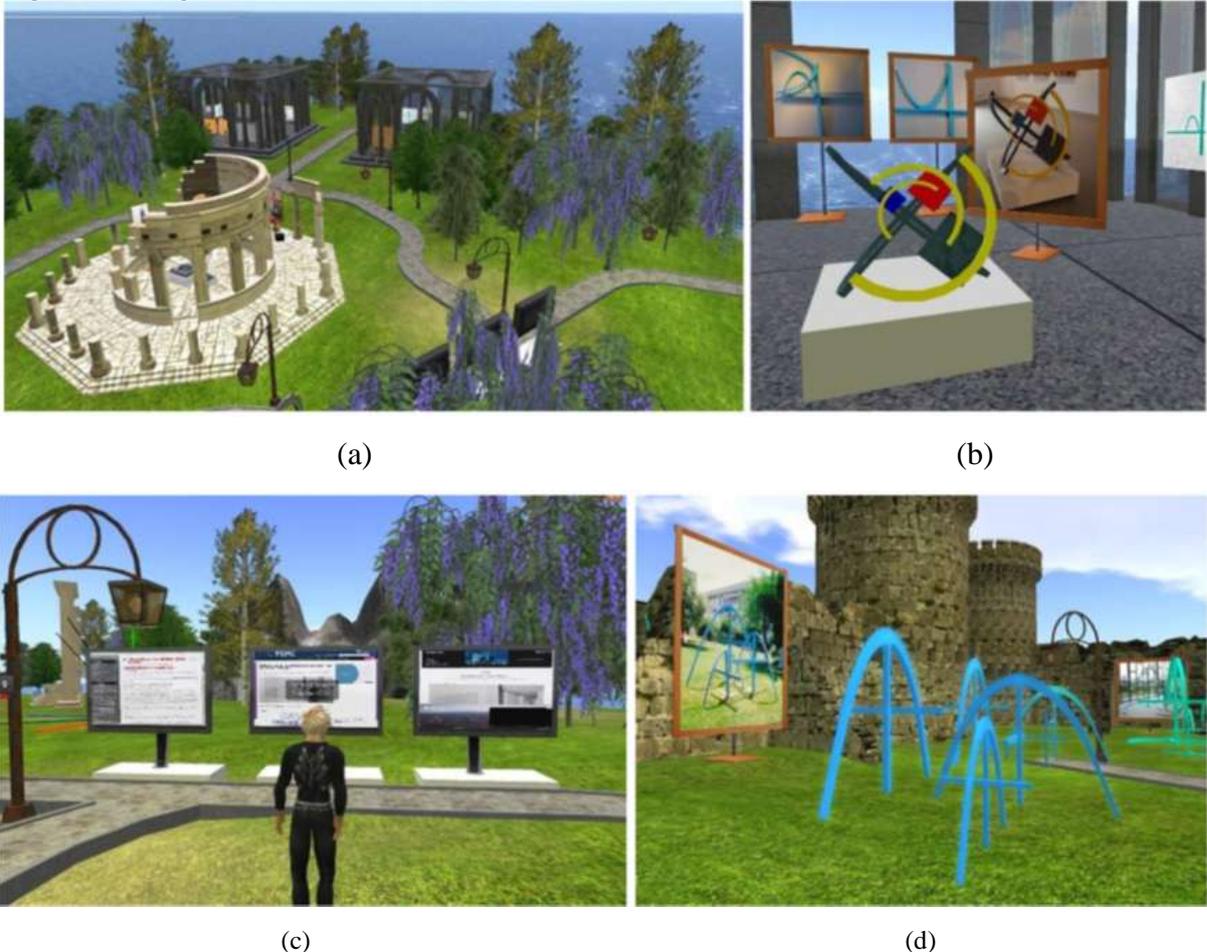
Fonte: BUTTUSSI; CHITTARO, 2018.

Topu et al. (2018) examinaram a correlação de diferentes variáveis e sua relação com a retenção de informações em ambientes virtuais de aprendizagem 3D, empregando três projetos experimentais. Desenvolveram um ambiente virtual de aprendizagem de esportes de inverno em 3D, usando a plataforma Second Life (SL) como base. O ambiente contém duas áreas diferentes de esportes de inverno, além da área social comum e área de ajuda. Cada área de esporte possui quatro diferentes subseções (informações, roupas, exercícios e prática). A área de ajuda, neste ambiente foi elaborada de forma a explicar aos alunos como utilizar os botões e permitindo que eles se movam dentro dos ambientes virtuais de aprendizagem de esportes de

inverno 3D. Sobre a usabilidade/UX, pode-se destacar que os autores verificaram que o prazer e a atenção focada em estado de “fluxo” foram medidos por uma correlação significativa com a retenção de informações com a retenção da atenção dos alunos. Os autores conseguiram encontrar uma relação direta entre o fluxo e o engajamento, retenção de informações e a sensação de presença dos usuários em ambientes de RV.

Por outro lado, Fokides e Atsikpasi (2018) apresentam o desenvolvimento e teste de um modelo para explicar o resultado de aprendizagem quando os indivíduos usam ambientes virtuais 3D (VEs) na aprendizagem informal. Para isto, foi desenvolvido um ambiente virtual semi-imersivo, apresentando a obra de uma escultora chamada Nausica Pastra (Figura 22). Os seguintes fatores de usabilidade/UX foram considerados para a construção do ambiente virtual: utilidade percebida, facilidade de uso percebida, motivação, presença, aplicação percebida, realismo, bem como o prazer ao usar VEs. Os autores concluíram que estes fatores impactam positivamente no aprendizado dos alunos.

Figura 22 – Imagens do museu virtual 3D.



Legenda: (a) Panorama do cenário; (b) Detalhe da área interna; (c) Detalhe do avatar; (d) Detalhe de uma obra do autor.

Fonte: FOKIDES; ATSIKPASI, 2018.

Makransky e Lilleholt (2018), em sua pesquisa, exploram se existem diferenças em relação ao uso de RV imersiva ou semi-imersiva para administrar uma simulação virtual de aprendizagem de ciências. Também investigam como o nível de imersão impacta os resultados de aprendizagem percebidos usando modelagem de equações estruturais. A simulação de aprendizagem RV usada neste experimento foi desenvolvida pela empresa Labster e foi projetada para facilitar a aprendizagem no campo da biologia em nível universitário. A simulação de RV foi baseada em um caso de assassinato realista em que os participantes foram incumbidos de investigar a cena do crime, coletar amostras de sangue e realizar análises de DNA em um laboratório de alta tecnologia para identificar e incriminar o assassino. O principal objetivo de aprendizagem foi desenvolver uma compreensão do perfil de DNA e pequenas repetições. A simulação tem alto nível de realismo (fidelidade representacional) e de interatividade. Concluíram que os estudantes preferiram utilizar a RV imersiva ao invés da semi-imersiva. Também elaboraram um modelo de equação que descreve a relação entre o nível de imersão em uma simulação científica de RV e resultados de aprendizagem percebidos. Concluíram que a versão imersiva era mais divertida e, portanto, levava a uma sensação de prazer maior, causando maior imersão.

Oberdörfer et al. (2019) comparam a eficácia e eficiência da RV semi-imersiva em respeito ao resultado de aprendizagem alcançado. Para isso, desenvolveram um “jogo” em RV semi-imersiva, que é uma espécie de quebra-cabeças chamado GEtiT, em que o usuário/jogador tem que brincar com as formas dos objetos para ir abrindo portas e ganhando pontos. O “jogo” apresenta um ambiente de RV com objetos básicos e formas básicas. Os resultados do presente estudo mostraram que o aprendizado através do jogo foi efetivo, demonstrando os efeitos positivos da gamificação no aprendizado. Quanto aos aspectos de usabilidade/UX, obteve-se informações sobre um sistema de ajuda para informar os usuários sobre as funcionalidades, interações e objetivos do sistema de RV em conjunto com informações dadas de forma clara. Também foi implementado um sistema de “undo” para desfazer as ações dos usuários auxiliando na recuperação de erros. Há um sistema de pontos para dar uma forma de recompensa aos usuários e aumentar o prazer e o engajamento destes. Em conjunto com o sistema de pontos, os autores também criaram o Feedback do progresso nas tarefas para aumentar a satisfação dos usuários, assim como há feedbacks dados pelo sistema, o estímulo a mais de um sentido através de sons e avisos sonoros, e interações fáceis com o ambiente de RV. Sobre as interações, houve uma preocupação de emular o máximo possível o comportamento dos objetos no mundo real, dando um sentido de naturalidade nas ações e reações ocorridas no sistema de RV.

Já Abichandani et al. (2019) desenvolvem um novo sistema pedagógico de realidade virtual (RV) baseado em nuvem, que fornece aos alunos os fundamentos de células solares ou fotovoltaicas, módulos solares e configurações de instalação de painéis solares. O sistema RV foi desenvolvido usando o software Unity3d, e foi integrado com um Learning Management System (LMS). O sistema foi hospedado no Google Cloud Platform. Alunos/usuários acessaram o sistema de RV usando um navegador da web padrão, tornando-o amplamente acessível. O sistema RV consistia em módulos de laboratório autoguiados cobrindo engenharia elétrica e fundamentos de células solares, como: perdas de potência de saída em função do comprimento, largura, profundidade e espaçamento. Os autores utilizaram *prompts* visuais como avisos e como forma de avaliação dos alunos. Esses prompts forneciam avisos quando os alunos fizessem algo errado (prevenção de erros), forneciam saídas após os erros (recuperação de erros), avisavam quando algo estava correto (feedback do sistema) e auxiliavam os alunos a escolher um caminho de solução das atividades e trilhá-lo (orientação). Concluíram que houve aumento no conhecimento dos alunos através do sistema.

Liang (2019) trata do ensino através de ambiente de realidade virtual semi-imersiva com técnicas de VRML. Apresentou diversas técnicas para otimização de aplicações RV, como: redução da quantidade de polígonos dos modelos, redução de detalhes das texturas e dos objetos à medida que se distanciam e compressão de arquivos. Estas técnicas auxiliam a aplicação ficar mais leve e melhoram sua usabilidade/UX em geral.

Makransky e Petersen (2019) investigaram os fatores afetivos e cognitivos que desempenham um papel na aprendizagem com uma simulação de RV semi-imersiva. A amostra consistiu de 199 estudantes universitários (120 mulheres), que aprenderam com uma simulação de genética RV semi-imersiva como uma parte obrigatória de um curso de graduação em genética médica. A simulação de genética médica de RV para semi-imersiva foi desenvolvida em cooperação entre o departamento de medicina molecular e celular da Universidade de Copenhague e a empresa de desenvolvimento de simulação Labster. A simulação permite que os alunos trabalhem virtualmente por meio de procedimentos genéticos relevantes em um laboratório (Figura 23), usando e interagindo com o estado da arte dos equipamentos de laboratório, aprendendo, assim, o conteúdo essencial por meio de uma abordagem de aprendizagem baseada em investigação. A simulação começa apresentando os alunos ao ambiente de laboratório virtual. Em seguida, os alunos são apresentados a um jovem casal, com uma grávida, em que o feto pode sofrer de uma síndrome causada por uma anomalia cromossômica. Os alunos são capazes de fazer uma análise molecular do genoma e análise citogenética do DNA fetal, parental e cariótipos no laboratório virtual. Também podem pôr em

prática o processo de comunicação de suas conclusões para o casal usando uma abordagem simulada de aconselhamento genético. Os autores concluíram que incluir fatores afetivos e cognitivos em seu modelo foi importante e perceberam que esses fatores desempenham um papel fundamental na aprendizagem com RV. Quanto a questões de usabilidade/UX relatadas no artigo, tem-se a fidelidade representacional do sistema e o imediatismo do controle por parte do usuário, impactando na sensação de presença. O prazer percebido e a utilidade percebida impactam a motivação intrínseca dos usuários para aprender. A necessidade de autoeficácia para aprender também foi relatada.

Figura 23 – Capturas de tela da simulação do laboratório virtual de citogenética (Labster, 2019).



Legenda: (a) Detalhes da interação com mulher grávida; (b) Detalhes do laboratório.
Fonte: MAKRANSKY; PETERSEN, 2019.

Borbála (2020) examina a sensação de presença na Realidade Virtual semi-imersiva. Seu texto expõe as vantagens da Realidade Virtual para a educação. A plataforma de RV utilizada é a Realidade Virtual “*MaxWhere*”. Esta aplicação semi-imersiva RV permite que professores e alunos criem e compartilhem espaços de aprendizagem 3D, em que qualquer conteúdo da web, documento, vídeo ou imagem podem ser exibido. O arranjo espacial ajuda o aluno a entender a estrutura do material de aprendizagem. Além disso, também existem laboratórios virtuais para estudantes de engenharia. O autor verificou que a sensação de presença foi fundamental para um melhor aprendizado, assim como um maior controle por parte do usuário. Também percebeu que a sensação de presença espacial foi maior em usuários experientes.

2.2.3 Orientações sobre UX a partir dos artigos estudados

Após essa revisão sistemática de trabalhos, foi possível vislumbrar as aplicações de Realidade Virtual semi-imersiva aplicadas na educação, conhecer problemas e orientações de usabilidade/UX relatados. Estas orientações forneceram importantes insights para o desenvolvimento das heurísticas propostas como artefato nesta tese. Abaixo, tem-se a Tabela 1 com a síntese dos dados encontrados:

Tabela 1 com os dados relevantes para usabilidade/UX de aplicações educacionais de RV semi-imersiva levantados a partir dos artigos estudados. (continua)

Autores	Dados sobre usabilidade/UX obtidos
Chambers et al. (2012)	Limitações de hardware.
Harrington (2012)	Fidelidade representacional. liberdade de navegação.
Merchant et al. (2012)	Controle do usuário; fidelidade representacional; interações claras. Interatividade. Utilidade percebida.
Chen e Mo (2013)	Atratividade do sistema; simpatia ou empatia provocada pelo sistema; flexibilidade do sistema; ação mínima; carga mínima de memória; operabilidade do sistema; orientação do usuário; consistência dos padrões; autodescrição; precisão do sistema; integridade do sistema; legibilidade das informações; controlabilidade; navegabilidade; simplicidade; familiaridade; tempo de carregamento; eficácia do site de ajuda; autoeficácia do usuário; documentação; tempo de resposta do sistema.
Valdez et al. (2013)	Pistas visuais.
Lee e Wong (2014)	Redução da carga cognitiva; pistas visuais; controle do usuário; autoeficácia.
Cho (2015)	Redução da carga cognitiva.
Hernández et al. (2016)	Simpatia ou empatia provocada pelo sistema; fidelidade representacional; utilidade percebida; redução da carga cognitiva.
Huang et al. (2016)	Fidelidade representacional; imersão; interatividade; simplicidade do sistema
Parmar et al. (2016)	Feedback do sistema; capacidade de imitar a tarefa real; problemas com a utilização e equipamentos; engajamento do usuário; autoeficácia; dificuldade de interação com o sistema; clareza de interações do sistema.
Deggim et al. (2017)	Facilidades de navegação (teletransporte).
Ogbuanya et al. (2018)	Interatividade; satisfação em utilizar o sistema (prazer); autoeficácia; engajamento.
Ibrahim e Ali (2018)	Clareza das informações; informações de forma progressiva; facilidade de navegação; clareza na navegação; imediatismo do controle; facilidade de localização do usuário; redução da carga cognitiva; controle por parte do usuário; fidelidade representacional; clareza no padrão do ambiente; múltiplos estímulos aos sentidos; instruções claras.
Buttussi e Chittaro (2018)	Qualidade visual dos displays; captura dos movimentos da cabeça para maior imersão.
Topu et al. (2018)	Fluxo; engajamento do usuário.
Fokides e Atsikpasi (2018)	Utilidade percebida e facilidade de uso percebida.
Makransky e Lilleholt (2018)	Fidelidade representacional; interatividade; imersão; motivação para utilizar o ambiente virtual; presença; aplicação percebida; fidelidade representacional; prazer ao usar o ambiente virtual.
Oberdörfer et al. (2019)	Recuperação de erros; sistema de ajuda; sistema de pontos (gamificação); feedback do progresso nas tarefas (gamificação); estímulo de múltiplos sentidos; feedback do sistema; naturalidade das ações; facilidade das interações; clareza das informações

Tabela 1 – Dados relevantes para usabilidade/UX de aplicações educacionais de RV semi-imersiva levantados a partir dos artigos estudados. (conclusão)

Autores	Dados sobre usabilidade/UX obtidos
Abichandani et al. (2019)	Prevenção de erros; recuperação de erros; feedback do sistema; orientação para os usuários.
Liang (2019)	Otimização dos elementos 3D do sistema de RV.
Makransky e Petersen (2019)	Fidelidade representacional; imediatismo do controle; prazer percebido; sensação de presença; utilidade percebida; autoeficácia para aprender; motivação intrínseca para aprender.
Borbála (2020)	Sensação de presença.

Fonte: O autor, 2021.

A partir desta tabela, unem-se os itens semelhantes, criando uma lista única, para que fosse possível entender quais são e quantas são estas orientações de usabilidade/UX encontradas. Esta lista única serviu de base como uma das fontes de alimentação de informações para a aplicação do nosso método de criação de heurísticas para RV semi-imersiva.

A próxima seção detalhará melhor os conceitos de usabilidade/UX para melhor compreender estes problemas e orientações encontrados, assim como também explicará as avaliações de usabilidade/UX.

2.3 Usabilidade, UX e avaliações de usabilidade/UX

As avaliações de usabilidade/UX são partes de um esforço com o intuito de melhorar o desempenho de um determinado produto. No caso desta pesquisa, interfaces computacionais, frente aos seus usuários, são partes de uma linha de pensamento no Design que é o User Centered Design (UCD), ou design centrado no usuário.

2.3.1 Design centrado no usuário e Experiência de usuário - UX

O Design Centrado no Usuário – *User Centered Design* (UCD) é um processo que leva em conta o usuário de determinado produto, ou serviço, na hora de projetar (BAXTER; COURAGE, 2005). De acordo com Øvstegård (2019, p. 6): “pode ser visto mais como uma filosofia do que uma técnica”, e para o mesmo autor, esta abordagem é extremamente importante em projetos de diversas disciplinas, mas principalmente para o design de interação.

Logo, leva-se em conta: as opiniões dos usuários, seus gostos, tendências e características através de um “modelo mental de usuário” que representa as características do usuário ideal. Também são comuns os testes com usuários, em que um produto ou interface é apresentado aos seus usuários potenciais, testados por estes, e são anotadas suas considerações, reclamações e sugestões. São diversos os tipos de testes com usuários ou especialistas que podem ser realizados com variadas metodologias. Assim, todos visam fornecer feedbacks sobre o produto em desenvolvimento ou em estágio final (ØVSTEGÅRD, 2019). O objetivo do UCD é projetar um produto ou serviço altamente funcional, utilizável e agradável para o usuário final e com alto grau de usabilidade (ØVSTEGÅRD, 2019).

2.3.2 Usabilidade

O conceito de usabilidade da ISO 9241:11 (2018) é: satisfação, eficiência e eficácia, porém este não é o único. Existem várias definições de usabilidade propostas por vários autores (JIMENEZ, 2017). Para Quiñones et al. (2016) ainda não há uma definição clara e totalmente aceita para usabilidade, uma vez que sua natureza complexa torna difícil ser descrita em uma única definição. Porém, para Markus e Keil (1994), a usabilidade é a chave para garantir o sucesso de um sistema.

O termo “usabilidade” foi apresentado pela primeira vez em 1985, quando Gould e Lewis (1985) foram os primeiros a utilizar este termo em seu trabalho intitulado “Projetando para usabilidade: Princípios Chave e o que os designers pensam” (JIMENEZ, 2017). Já o Nielsen Norman Group (www.nngroup.com) define usabilidade por cinco componentes de qualidade: capacidade de aprendizagem, eficiência, memorização, erros e satisfação (NIELSEN, 2012). Estes componentes são mais atributos de usabilidade que uma definição em si. Usabilidade, conforme descrito pelo dicionário Merriam-Webster (2018), é “algo sendo utilizável”; ou “algo que é capaz de ser usado ou conveniente ou prático de usar” (MERRIAM-WEBSTER, 2018).

A norma ISO 9241-11 foi uma tentativa de unificar o conceito de usabilidade e fornece uma solução internacional em termos de definição. Esta definição é aceita de uma maneira geral e aplicada em vários campos. Conforme definido no padrão ISO 9241-11, a usabilidade pode ser declarada da seguinte forma: “a extensão em que um produto pode ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos, com eficácia, eficiência e satisfação em um

contexto de uso específico” (HERMAWATI; LAWSON, 2016, p. 1). Esta norma explica como identificar as informações necessárias a serem consideradas ao especificar ou avaliar a usabilidade em termos de desempenho e satisfação do usuário. A norma é constantemente atualizada (2011, 2012, 2018) e ainda está em revisão (ABNT, 2020).

A usabilidade pode ser projetada no produto e pode ser avaliada por inspeções de usabilidade, chamadas “avaliações de usabilidade” ou testes de usabilidade (JIMENEZ, 2017). Estas inspeções, ou testes de usabilidade, são realizados com o intuito de identificar problemas de usabilidade e/ou medir o grau de conformidade com as métricas de usabilidade e a satisfação do usuário. A avaliação de usabilidade pode ser realizada em diferentes estágios de desenvolvimento do sistema. Desde o inicial até o final, porém, geralmente é aplicada no final (NIELSEN, 1994; HERMAWATI; LAWSON, 2016).

2.3.2.1 Avaliações de usabilidade/UX

Segundo Lorés (2002), as avaliações de usabilidade e UX são cada vez mais utilizadas para detectar problemas de interação de usuários com sistemas. Estas avaliações visam: fornecer feedback para obter uma melhor experiência para o usuário; verificar a conformidade com os objetivos do usuário e da organização; controlar o uso de longo prazo de um produto ou sistema. Para Jimenez (2017), as avaliações de usabilidade/UX são atividades que incluem um conjunto de métodos para analisar a qualidade da experiência ao se utilizar um sistema interativo. Existem diversos métodos para realizá-las. Podem conter uma equipe com usuários ou especialistas, e também podem auxiliar a garantir a qualidade dos produtos, impactando positivamente na satisfação dos usuários (QUIÑONES; RUSU, 2017; JIMENEZ, 2017; QUIÑONES et al., 2016).

As avaliações de usabilidade/UX podem ser classificadas em duas categorias: 1. Inspeções de usabilidade/UX - que são revisões feitas por avaliadores, geralmente especialistas, com base em seu julgamento próprio, sem a participação dos usuários; 2. Testes de usabilidade/UX - são exames que incluem usuários reais, que são solicitados a avaliar um protótipo de um sistema IHC com o objetivo de coletar informações para melhorar o produto em termos de usabilidade de software (QUIÑONES et al, 2016; ØVSTEGÅRD, 2019).

Embora as abordagens mais robustas para avaliação de usabilidade/UX envolvam usuários, as inspeções de usabilidade/UX também são comumente aplicadas (HERMAWATI; LAWSON, 2016).

Ao listar os métodos de avaliação de usabilidade/UX empregados, tem-se: Protocolo think-aloud (VILLANUEVA et al., 2004), avaliação cooperativa (MARSH; WRIGHT, 1999), inventário de medição de usabilidade/UX de software – SUMI (ROSLI et al., 2008) e avaliação heurística (MOLICH; NIELSEN, 1990).

2.3.2.2 Avaliação heurística

Segundo o dicionário Michaelis (2015), o significado de heurística para o ramo da informática diz respeito aos: “procedimentos e normas usados em pesquisa feita por meio da quantificação de proximidade a um determinado objetivo”. Em psicologia, “heurística” refere-se a atalhos cognitivos que ajudam (ou prejudicam) os humanos na tomada de decisões (GRONER; GRONER; BISCHOF, 1983). Na ciência da computação e no desenvolvimento de algoritmos, uma heurística é uma função que se aproxima de uma solução, que pode não ser ótima, mas troca velocidade por otimização ao retornar uma solução (APTER, 1970). No design de interface do usuário, o termo heurística é quase sinônimo de regras gerais, ou “*guidelines*”, criadas previamente, que podem ser usadas por designers e avaliadores, tanto para orientar o processo de design e criação como o processo de avaliação de interfaces IHC (ENDSLEY et al., 2017). Estas orientam o processo chamado avaliação heurística.

O conceito de avaliação heurística foi introduzido por Rolf Molich e Jakob Nielsen em 1990 como uma maneira informal de avaliar a usabilidade/UX de interfaces de usuário (UIs), pois os métodos formais utilizados até então eram caros e difíceis de serem aplicados. Estes autores descreveram o processo de realizar uma avaliação heurística, em que um número pequeno de especialistas (geralmente o recomendado é de 3 a 5), irá inspecionar a usabilidade/UX da interface e seguirá “procurando” por problemas. Estes avaliadores serão orientados por um conjunto de “heurísticas”, e com base nestas, em seu conhecimento próprio, e experiência, julgam a qualidade da interface (MOLICH; NIELSEN, 1990; JIMÉNEZ; FIGUEROA, 2017; JIMENEZ, 2017).

As vantagens de realizar uma avaliação heurística de acordo com Quiñones e Rusu (2017) são:

1. É menos custoso comparado a outros métodos em termos de dinheiro, tempo, número de especialistas em usabilidade/UX e recursos;
2. Não requer planejamento extenso;
3. É aplicável nos estágios iniciais de desenvolvimento de software (de protótipos em papel a sistemas executáveis);
4. É possível encontrar muitos problemas (críticos e menos críticos);
5. Pode não envolver o usuário;

Algumas desvantagens, de acordo com Quiñones e Rusu (2017), são:

1. Os avaliadores devem ter experiência adequada e conhecimento para avaliar a interface do produto;
2. Os avaliadores podem não compreender as tarefas realizadas pelo produto, por isso pode ser difícil identificar problemas de usabilidade/UX;
3. Problemas de usabilidade/UX são identificados sem dar uma ideia direta de como resolvê-lo (não existe uma forma sistemática de gerar soluções para os problemas encontrados).

Durante a avaliação heurística, cada avaliador julga a interface separadamente para os parâmetros de: frequência, gravidade e criticidade de cada problema. Atribuem valores geralmente de 0 a 4, em que 4 é: muito grave, ou muito frequente; 2: de gravidade média, ou de frequência média; e 0: pouco grave ou pouco frequente. A criticidade é a soma dos valores de gravidade e de frequência. Problemas muito graves e que aparecem frequentemente são considerados críticos (MOLICH; NIELSEN, 1990).

Portanto, cada avaliador prepara uma lista individual de problemas de usabilidade/UX associados a uma heurística. Assim que todas as atividades forem realizadas, os resultados dos diferentes avaliadores são comparados, é feita uma sessão de debate sobre os resultados, e é compilado um único relatório que resume esses resultados. A partir desse relatório, os designers podem revisar os problemas de interface e realizar melhoramentos. O processo pode ser repetido quantas vezes forem necessárias (QUIÑONES et al., 2016).

Molich e Nielsen (1990), ao proporem a avaliação heurística, basearam-se em autores que propuseram guidelines anteriormente, refinando e aprimorando essas guidelines existentes, propondo 10 heurísticas, que consideraram mais adequadas para avaliar heurísticamente interfaces IHC (MOLICH; NIELSEN, 1990). As 10 “heurísticas de Nielsen”, como ficaram conhecidas, foram amplamente utilizadas para avaliar a usabilidade/UX, por meio de avaliações heurísticas, para os mais variados domínios de aplicações IHC (ØVSTEGÅRD 2019). São

genéricas, servindo para qualquer interface computacional e por isso são chamadas de heurísticas de domínio geral.

2.3.2.3 Heurísticas de domínio geral

Nielsen e Molich não foram os únicos a propor heurísticas de usabilidade/UX, que também foram desenvolvidas e propostas por outros autores (HERMAWATI; LAWSON, 2016). Porém, estes conjuntos de heurísticas de domínio geral têm a característica comum de serem extremamente genéricos como princípios gerais, que servem para qualquer tipo de interface computacional. Sendo assim, foram aplicadas na maioria das aplicações existentes, muitas vezes, para sites da internet e em programas de computador considerados “tradicionalis”. O mesmo conjunto de heurística servia para qualquer aplicação sem distinção.

2.3.2.4 Heurísticas de domínio específico

Desde que foram propostas por Nielsen e Molich (1990), as heurísticas utilizadas na maioria das avaliações são as 10 heurísticas chamadas popularmente de “heurísticas de Nilsen” (JIMÉNEZ; FIGUEROA, 2017). As heurísticas de Nielsen e as heurísticas de domínio geral, como as mencionadas acima, tornam possível avaliar aspectos de usabilidade/UX de qualquer aplicativo como prevenção de erros do utilizador, controle e liberdade, flexibilidade e eficiência de uso, entre outros. No entanto, como são heurísticas gerais, ignoram elementos críticos e muitas características únicas de aplicações mais específicas, e, sendo assim, podem deixar de avaliar e de encontrar problemas mais específicos destas interfaces (QUIÑONES et al., 2016).

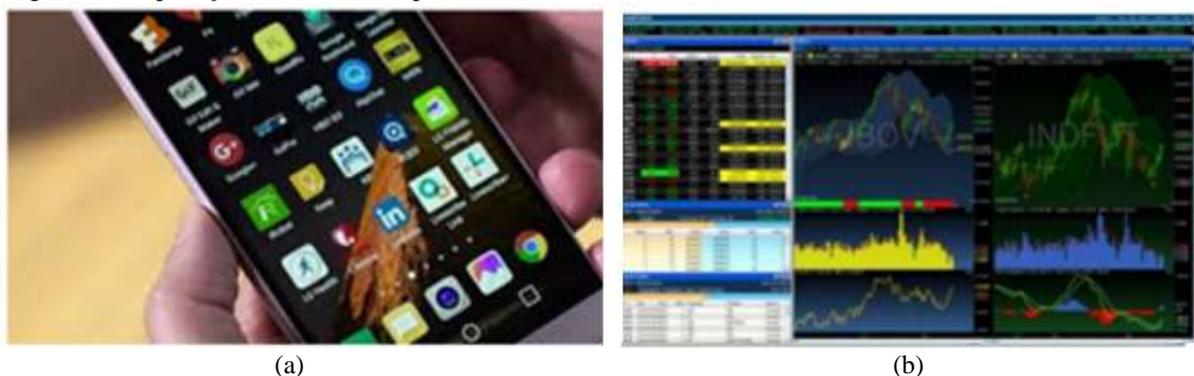
Quiñones e Rusu (2017, p. 90) confirmam este fato:

Cada sistema, software e/ou aplicativo possui características que os diferenciam dos demais. Assim, heurísticas tradicionais - visam avaliar as interfaces de usuário tradicionais - podem não avaliar certos recursos exclusivos para domínios específicos, ignorando elementos importantes a serem considerados quando estas interfaces são avaliadas.

De forma bem clara: um domínio específico é um grupo de aplicações, ou interfaces de interação humano-computador. Possuem características únicas, que se destacam dos outros

grupos (figuras 24 a e b), como softwares para smartphones (figura 24), aplicações de RV, aplicações de Realidade Aumentada, programas que realizam traduções, ambientes virtuais de aprendizado, interfaces de toque (*touchscreens*), dentre outros. Estas aplicações por terem características muito particulares, necessitam de heurísticas mais voltadas para seus recursos e suas necessidades na hora de realizar uma avaliação heurística. Assim, surgem as heurísticas de domínio específico. (HERMAWATI; LAWSON, 2016; QUIÑONES et al., 2016; JIMENEZ, 2017).

Figura 24 – Aplicações de domínio específico.



Legenda: (a) Sistema para dispositivo móvel; (b) Sistema utilizado no mercado financeiro.

Fonte: (a) <https://www.tecmundo.com.br/android/106881-horizontal-vertical-mudar-exibicao-gaveta-apps-android.htm>; (b) <https://investcharts.com/>.

As heurísticas de domínio específico são desenvolvidas, portanto, para uma aplicação ou grupo de aplicações específico. Com os avanços da tecnologia, as heurísticas de domínio geral vão se tornando obsoletas e as de domínio específico mais necessárias (JIMÉNEZ; FIGUEROA, 2017). Assim, os pesquisadores vêm percebendo cada vez mais a importância e a necessidade de heurísticas para domínio específico, e propostas de heurísticas novas estão em contínuo desenvolvimento (JIMENEZ, 2017).

Comumente, estudos consideram as heurísticas específicas mais eficazes do que as heurísticas de propósito geral (MANKOFF et al., 2003, JOYCE; LILLEY, 2014; CARTER; POTTER, 2016). Fato comprovado pela revisão sistemática sobre heurísticas de domínio específico realizada por Jimenez (2017), que analisou cerca de 57 trabalhos e concluiu que as heurísticas de domínio específico obtiveram resultado melhor que as de domínio geral estudadas.

3 RESULTADO DAS REVISÕES SOBRE HEURÍSTICAS PARA RV

3.1 Heurísticas de domínio geral

Nesta seção detalha-se as heurísticas de domínio geral encontradas em nossa pesquisa sobre usabilidade/UX. Para esta pesquisa, não foi realizada uma revisão sistemática, visto que não era necessário. Estes trabalhos foram encontrados com a técnica conhecida como “bola de neve”, em que ao pesquisar alguns termos de busca nas bases de dados, parte-se dos trabalhos mais relevantes, publicados em periódicos de alto impacto, e em suas referências bibliográficas foram encontrando outros trabalhos sobre o assunto estudado levantando novas fontes de informação.

O objetivo desta pesquisa foi conhecer as heurísticas de domínio geral e seus principais autores, para que se entendesse como e o porquê do surgimento das heurísticas de domínio específico.

Apresenta-se, a seguir, as heurísticas de domínio geral mais importantes, com os seus respectivos autores.

1. **Laussen & Younessi (1988) - Cinco Fatores de Usabilidade de Laussen & Younessi:** fácil de lembrar; facilidade de aprendizagem; entendimento; eficiência na tarefa; satisfação subjetiva.
2. **Nielsen & Molich (1990) - Heurísticas de usabilidade de Nielsen & Molich:** minimizar a sobrecarga de memória do usuário; ajuda e documentação; atalhos; visibilidade de status do sistema (feedback); diálogos simples e naturais; falar a linguagem do usuário; boas mensagens de erro; controle do usuário; consistência e padrões; prevenção de erros.
3. **Dul & Weerdmeester (1991) - Diálogo Homem-Máquina de Dul & Weerdmeester:** o diálogo deve ser tolerante a erros; faça o diálogo autodescritivo; o diálogo deve ser adaptável a indivíduos; faça o diálogo controlável; o diálogo deve ser adaptável à aprendizagem; o diálogo deve atender as expectativas do usuário; o diálogo deve ser adequado à tarefa.
4. **Alan Dix (1993) - Princípios de Usabilidade de Alan Dix:** robustez de informação: tempo de resposta; conformidade de tarefas; reconhecimento; recuperação de erros; facilidade de aprendizagem: generalidade; consistência;

previsibilidade; visibilidade; familiaridade; flexibilidade de interação: migração de tarefas; substituição; customização; iniciativa de diálogo; multitarefa.

5. **Bastien & Scapin (1993) - Critérios ergonômicos para avaliação de interfaces humano-computador de Bastien & Scapin:** condução; feedback imediato; agrupamento; presteza; legibilidade; carga de trabalho: brevidade (concisão, ações mínimas); densidade informacional; compatibilidade: homogeneidade/coerência; controle explícito: controle do usuário; gestão de erros; qualidade das mensagens; critério de correção e erros; adaptabilidade: consideração da experiência; significado dos códigos e denominações.
6. **Preece et al. (1994) - Interação Humano-Computador de Preece:** permitir flexibilidade de entrada; engenharia de erros; fornecer quantidade adequada de resposta; projeto para o crescimento do usuário; fornecer um comando “reset”; reduzir a carga cognitiva; fornecer atalho; certificar-se de ter facilidade de compreensão; manter a consistência e clareza; adaptar-se a diferentes níveis de usuários e estilos; uso de metáforas apropriadas.
7. **Liker & Majchrzak (1994) - Processo de design para bem conceber a infraestrutura homem tecnologia de Liker & Majchrzak:** avaliação do design e refinamento; facilitar a modificação do design; adequação com o envolvimento; envolvimento do utilizador no ciclo de vida; design integrado da infraestrutura humana; especificidade; facilitar o design da aprendizagem da equipe; design simultâneo da infraestrutura humana e do sistema técnico; geração de cenários múltiplos.
8. **Apple Computer, Inc. (1995 / 2014) - Guia de Interface Humana Macintosh - Apple Computer Inc:** feedback; integridade estética; metáforas; consistência; controle do usuário; manipulação direta.
9. **Vanderheiden (1997) - Projeto Universal de Vanderheiden:** tolerância ao erro; flexibilidade de uso; mínimo esforço físico; uso simples e intuitivo; dimensão e espaço para uso na interação; captação da informação; tolerância ao erro.
10. **Mandel (1997) - Requisitos não funcionais de Mandel:** educacionais: relação entre a teoria e prática; aprendizagem; adequação de conteúdo; clareza de conteúdo. Lúdicos: atratividade; interatividade; presença de elementos gráficos genéricos: facilidade de uso; confiabilidade; documentação; encadeamento de ideias; - usabilidade.

- 11. Jordan (1998) - Recomendações de usabilidade de Jordan:** controle do usuário; transferência adequada de tecnologia; consideração sobre a habilidade do usuário; explicitação; coerência; retorno das ações; priorização da funcionalidade e da informação; compatibilidade; prevenção de erro e recuperação; clareza visual.
- 12. ISO 9241:10 (1998) - Princípios de Diálogo da ISO 9241:10:** facilidade de individualização; adaptação à tarefa; tolerância aos erros; facilidade de aprendizagem; autodescrição (feedback); conformidade às expectativas do usuário; controle ao usuário.
- 13. Shneiderman (1998) – 8 regras de ouro do design de interfaces**
Strive for Consistency; Enable frequent users to use shortcuts; Offer informative feedback; Design dialogue to yield closure; Offer simple error handling; Permit easy reversal of actions; Support internal locus of control; Reduce short-term memory load.
- 14. Keith Cogdill (1999) - Sete Heurísticas - avaliação de MEDLINEplus de Cogdill:** prevenir erros; consistência interna; minimizar a carga de memória do usuário; feedback; diálogo simples; local de controle interno; atalhos.
- 15. Talarico Neto et al. (2000) - Desenvolvimento e avaliação de interfaces multimodais web de Talarico:** as interfaces multimodais devem se adaptar ao ambiente do usuário; retorno; as múltiplas modalidades devem compartilhar o estado de interação; grande gama de usuários e contextos de uso; tratamento e prevenção de erros; as interfaces multimodais devem ser previsíveis; projeto da entrada e saída multimodal; as múltiplas modalidades precisam estar sincronizadas; consistência na interação; transição entre diálogos em uma interação multimodal.
- 16. Preece, Rogers & Sharp (2002) - Design de Interação - Além do Humano-Computador e Interação de Preece, Rogers & Sharp:** usuário; memória; eficiência; apreensibilidade; eficácia; segurança.
- 17. Kent Norman (2003) - Design de Interface e funcionalidade de K. Norman:** funcionalidade: objetivos claros de aprendizagem; reforços efetivos; direto ao ponto; informações sobre os alunos; ferramenta de auxílio; complexidade apropriada; funções de editar; ferramenta desfazer e de backup; multimídia; manutenção e upgrade; design de interface; feedback; uso efetivo de gráficos, cores e áudio; navegação clara; manipulação direta; layout da tela.

18. Torres & Mazzoni (2004) - Dez Princípios de Usabilidade e Acessibilidade de Torres & Mazzoni: autoexplicação; controle do usuário; feedback; transferência de tecnologia; consistência; prevenção e recuperação de erros; priorização da funcionalidade e da informação; compatibilidade; clareza da informação; consideração dos recursos do usuário.

A característica comum que une todos estes conjuntos de heurísticas é serem genéricas. Não encontra-se dentre estas heurísticas gerais, características voltadas para RV, ou RA, ou outra aplicação mais específica. Por isso, além de dependerem muito da interpretação do especialista ao utilizá-las, também podem deixar passar erros e problemas que são muito específicos de certas aplicações, como no caso deste estudo, a realidade virtual semi-imersiva.

Portanto, além destas, como já explicado, existem as heurísticas de domínio específico criadas especificamente para certos tipos de aplicações.

A próxima seção aprofunda-se neste tipo de heurísticas, com uma passagem rápida sobre os tipos de domínios que avaliam os métodos para criá-las, e o detalhamento sobre as heurísticas de RV, que são o foco deste estudo.

3.2 Heurísticas de domínio específico

Diversas heurísticas para os mais variados domínios específicos foram criadas por diversos autores devido às deficiências das heurísticas gerais em avaliar estes domínios. Segundo Hermawati e Lawson (2016), analisando os dados obtidos por sua revisão sistemática sobre métodos para criação de heurísticas, as heurísticas criadas foram em sua maioria – 83% dos casos – para avaliar a usabilidade/UX de aplicações ou software. Dos outros casos, 14 % dos estudos eram da criação de heurísticas para dispositivos e 3% para construções.

Dentro das aplicações e softwares, tem-se, por exemplo, os domínios: e-learning (REEVES et al., 2002; ARDITO et al., 2004, 2005; DRINGUS; COHEN, 2005), mundos virtuais (RUSU et al., 2011; MUÑOZ; CHALEGRE, 2012; MUÑOZ et al., 2011), websites transacionais (PAZ et al. 2014), Redes Sociais (ALROOBAEA et al., 2013; ALMEIDA et al., 2016), aplicativos para dispositivos móveis (NETO; PIMENTEL, 2013; JOYCE; LILLEY, 2014), realidade virtual (SUTCLIFFE; GAULT, 2004; MURTZA et al., 2017), computação em grid (RUSU et al., 2011), sistemas para smartphones (INOSTROZA, et al. 2016), TV digital

(SOLANO, et al., 2011), portais de administração pública (HUB; ČAPKOVÁ, 2010), simuladores de direção (CAMPOS et al., 2016), dentre outros.

Os métodos para criação de heurísticas de domínio específico variam. Abaixo, entra-se de forma mais aprofundada nos métodos, em que investiga-se quais são, quantos e de que forma foram estruturados.

3.2.1 Métodos para criação de heurísticas de domínio específico

Após entender o que são heurísticas para domínios específicos, a partir de agora será estruturado um método para a criação de novas heurísticas para o domínio específico da RV semi-imersiva voltado para aplicações educacionais. Nesta etapa, pesquisa-se sobre a importância e a necessidade de uma metodologia para desenvolver novas heurísticas de domínio específico, e as metodologias existentes que se enquadrem para a criação das heurísticas para o domínio estudado. Adiante, investiga-se os diferentes métodos para desenvolvimento de heurísticas. Por fim, será explicado o método adotado para a criação de heurísticas para RV semi-imersiva.

3.2.1.1 Necessidade de utilizar uma metodologia formal para criação de heurísticas

Para desenvolver heurísticas de domínio específico, existem diversas técnicas e métodos (QUINONES et al., 2017). Alguns métodos mais informais são baseados na experiência dos pesquisadores na hora de desenvolver heurísticas novas. Outros adaptam heurísticas existentes, como as de Nielsen, e outros aplicam uma metodologia formal, constituída de passos ou etapas para criação de heurísticas para um determinado domínio específico de aplicação.

Cada abordagem segue um processo diferente. Esta pesquisa refer-se a "processo" como etapas ou atividades necessárias para criar heurísticas de usabilidade/UX (QUINONES; RUSU, 2017).

Quiñones e Rusu (2017, p. 90) também se referem à “metodologia” como um processo formal e sistemático para criar heurística de usabilidade/UX: “Uma metodologia inclui etapas ou atividades para criar heurísticas, mas essas etapas são formalmente definidas”. Existem

processos formais com etapas sistemáticas preestabelecidas e processos informais com etapas que realizam as atividades de maneira não sistemática.

Hermawati e Lawson (2016) realizaram uma extensa revisão bibliográfica com 70 artigos analisados relacionados à elaboração de heurísticas de usabilidade/UX para domínios específicos. O objetivo foi revisar os processos que foram aplicados para estabelecer heurísticas em domínios específicos e identificar lacunas a fim de fornecer recomendações para pesquisas futuras e melhorias na área. Concluíram que a maioria dos estudos não fornece um raciocínio específico sobre o porquê da utilização dos métodos que foram usados (HERMAWATI; LAWSON, 2016). Fato confirmado por Jimenez et al. (2017) em outra revisão sistemática com o intuito de desenvolver uma metodologia própria para criar heurísticas. Para os autores: “a análise dos artigos mostrou que nenhuma metodologia ou processo explícito foi usado para desenvolver os conjuntos de heurísticas” (JIMENEZ et al., 2017, p. 14).

Para Quinones e Rusu (2017), as heurísticas são em geral desenvolvidas e baseadas na experiência dos pesquisadores, ou da adaptação de métodos utilizados para outros fins. A maioria dos estudos não documenta ou explica em detalhes como a abordagem foi aplicada, ou o processo que eles seguiram para desenvolver novas heurísticas (QUINONES, 2018). Isso ocorre, de acordo com Quinones (2018), não por falta de teorias ou modelos apropriados, mas por falta de consenso sobre a metodologia mais eficaz.

A maioria dos conjuntos mencionados de heurísticas foi desenvolvida por combinação ou adaptação de outros conjuntos diferentes existentes (como as heurísticas de Nielsen) ou mesmo pela adição de recursos relativos ao domínio de aplicativo específico (QUINONES; RUSU, 2017, JIMENEZ, et al., 2017). Analisando os pontos mais comuns e características que mais se repetem é possível resumir o processo de desenvolvimento das heurísticas de usabilidade/UX em duas etapas: 1 - extração de informações; e 2 - transformação das informações extraídas em heurísticas (QUINONES, 2018; HERMAWATI; LAWSON, 2016; QUINONES; RUSU, 2017).

De acordo com Quinones e Rusu (2017), é necessário ter uma metodologia clara para projetar e especificar formalmente heurísticas de usabilidade/UX, uma vez que se estas não são projetados corretamente, elas podem não avaliar corretamente a usabilidade/UX de um aplicativo, ou podem ser um instrumento de avaliação difícil de aplicar. Pelo fato de: 1 - é difícil de entender pelos avaliadores; 2 - não é eficaz e/ou eficiente; ou 3 - a especificação das heurísticas está incorreta ou incompleta (QUINONES et al., 2016). Sendo assim, os conjuntos de heurísticas devem ser bem projetados, devem ajudar a avaliar de forma eficaz e eficiente a

usabilidade/UX dos aplicativos, e devem ser fáceis de usar para os avaliadores (QUINONES; RUSU, 2017).

Para Hermawati e Lawson (2016), a validação das heurísticas novas também é importante. Para estes autores, há uma indicação inicial de que as heurísticas específicas possuem um desempenho melhor que as gerais, porém a falta de qualidade de validação não deixa claro em que medida são melhores em desempenho (HERMAWATI; LAWSON, 2016).

Portanto, seguir uma metodologia para criar, especificar e validar heurísticas torna o desenvolvimento mais fácil e mais efetivo, pois fornece etapas bem definidas e já testadas para orientar este processo. Auxilia a criar heurísticas mais claras e fáceis de entender, e aumenta a validade destas através da proposta de métodos para avaliá-las (QUINONES, 2018). A orientação metodológica é claramente necessária, pois garante que as heurísticas propostas sejam criadas com base em processo rigoroso que pode ser replicado (HERMAWATI; LAWSON, 2016). Portanto, seguir uma metodologia formal é crucial para o desenvolvimento de um conjunto eficaz e eficiente de heurísticas (QUINONES et al., 2018).

3.2.1.2 Metodologias para criação de heurísticas de domínios específicos

Em sua revisão, Quinones e Rusu (2017) encontraram 17 estudos que usaram uma metodologia para o desenvolvimento de heurísticas para diversos domínios específicos. A partir destes estudos, 7 tipos diferentes de metodologias foram identificados. Os estudos de Rusu et al. (2011), Van Greunen et al. (2011), Hermawati e Lawson (2015) e Lechner et al. (2013) propuseram metodologias para estabelecer heurísticas de domínio específico. A metodologia proposta por Hevner et al. (2004), orientada para a concepção de heurísticas de design, foi adaptada a fim de estabelecer novas heurísticas de usabilidade/UX. Por fim, os trabalhos de Hub e Capková (2010) e Franklin et al. (2014) elaboraram metodologias que fizeram parte de estudos para criação de Heurísticas para um domínio único, que é para portais da internet.

Na revisão sistemática realizada, atualizando a revisão proposta por Quinones e Rusu (2017), encontram-se duas outras metodologias propostas para criação de heurísticas de domínio específico: as propostas de Jimenes e Figueroa (2017), e de Quinones et al. (2018).

Verificou-se tanto em nossa revisão sistemática quanto na revisão sistemática de Quinones e Rusu (2017), que a metodologia proposta por Rusu (2011) foi a mais amplamente utilizada entre os pesquisadores para desenvolver heurísticas para domínios específicos

(QUINONES, 2017). Encontram-se nos trabalhos de Bashir et al. (2019) a utilização da metodologia de Rusu (2011) para o desenvolvimento de Heurísticas para aplicações de smartphones; no trabalho de Sengupta et al. (2017), a metodologia de Rusu (2011) foi empregada para heurísticas de avaliação para interface controladas pelos olhos dos usuários; No trabalho de DÍAZ et al. (2017), a utilização da mesma metodologia serviu para criação de heurísticas para web sites de e-commerce; já no trabalho de Inostroza et al. (2016), a metodologia de Rusu et al. (2011) foi empregada também para gerar heurísticas de usabilidade/UX para avaliação de aplicações para smartphones; e no trabalho de Quiñones et al. (2016), a mesma metodologia citada foi empregada para produção de heurísticas para aplicações de computação de grid. Quinones e Rusu (2017) em sua revisão sistemática, dos 17 trabalhos que utilizaram uma metodologia formal para o desenvolvimento de heurísticas, 13 utilizaram a metodologia de Rusu et al. (2011). A tabela 2 lista os números encontrados em ambas as revisões de Quinones (2017) e da revisão realizada pelo autor desta tese sobre a revisão proposta por Quinones.

Tabela 2 – Tabela que compõem a quantidade de estudos que utilizaram as metodologias citadas acima, adaptada de Quinones e Russu (2017) e complementada pela revisão sistemática mais atualizada realizada por esta pesquisa.

Metodologia aplicada	Número de estudos encontrados na revisão de Quinones e Russu (2017) – artigos de 2006 a 2016	Número de estudos encontrados na revisão feita pelo autor desta tese: 2016 a 2020	Total de estudos que aplicam a metodologia
Rusu et al. (2011)	13	5	18
Van Greunen et al. (2011)	1	0	1
Hub e Capková (2010)	1	0	1
Hevner et al. (2004)	1	0	1
Franklin et al. (2014)	1	0	1
Hermawati e Lawson (2015)	0	0	0
Lechner et al. (2013)	0	0	0
Figueroa (2017)	Não contemplou	1	1
Quinones (2018)	Não contemplou	1	1

Fonte: O autor, 2021.

Van Greunen et al. (2011) propuseram um processo de três fases para a criação de heurísticas para aplicações de domínios específicos. Quinones e Rusu (2017) identificaram apenas um estudo para desenvolver novas heurísticas em que esta metodologia foi usada: o trabalho de Yeratziotis et al. (2012). Os autores apresentam um processo formal de desenvolvimento de heurísticas com grande detalhamento das etapas e das atividades a serem realizadas. Também possui uma etapa de validação bem complexa e sugere o refinamento das heurísticas. Mas, a metodologia é muito focada em websites e redes sociais. De acordo com Quinones et al. (2018, p. 4): “a etapa de validação não explica claramente como usar a ferramenta que é proposta pelos autores”. Foi verificado que a metodologia não informa um template que ajude a especificar as heurísticas.

Hub e Čapková em (2010) propuseram uma metodologia para a criação de um conjunto de heurísticas para um único domínio específico de aplicação em um portal de administração pública. A metodologia possui seis passos e os autores consideraram papéis definidos com relação aos participantes para todo o processo. Apenas um estudo utilizou-se desta metodologia para criação de heurísticas: o próprio trabalho de Hub e Čapková (2010). Não é a princípio uma metodologia aplicável em outros domínios, pois foca em “sistemas informacionais”, como portais da web, e por ser muito focada no domínio estudado, não serve, a princípio, para criar heurísticas para RV. Não foi possível identificar no trabalho de Hub e Čapková (2010) uma validação formal das heurísticas. As indicações de validação são vagas e não indicam claramente como testar a eficácia das heurísticas. Também não há etapa de refinamento, e os autores não indicam um template claro para especificar as heurísticas.

Hevner et al. (2004) não desenvolveram uma metodologia para criar heurísticas (QUINONES; RUSU, 2017). A princípio, são 7 orientações que servem de guia para solucionar problemas de design (HEVNER et al., 2004). Abrahão et al. (2014) adaptaram e utilizaram este método para desenvolver heurísticas para telas de toque e interação por gestos (QUINONES; RUSU, 2017). Portanto, não é indicada, a princípio, para desenvolver heurísticas para RV.

Franklin et al. (2014) propuseram uma metodologia para estabelecer heurísticas de domínio para uma aplicação particular: sistemas remotos colaborativos de realidade aumentada e, sendo assim, não servindo para heurísticas de RV. A metodologia não foi aplicada e, a princípio, não serve para outros domínios de estudos (QUINONES; RUSU, 2017). Os autores propõem uma metodologia composta por oito etapas, que servem mais para adaptar heurísticas que para criá-las. Estas etapas tem fases como o levantamento através de revisão sistemática, seleção e exclusão, alinhamento de similares, fusão, agrupamento e adaptação. Para validação, eles propõem o uso do método “focus group” em que especialistas em interação Humano-Computador (IHC) debatem por algumas horas para revisar as heurísticas. Não há uma etapa clara de refinamento, e não explica com clareza como especificar as novas heurísticas.

Lechner et al. (2013) apresentaram uma metodologia em duas fases para criação de heurísticas para domínios específicos. Na revisão para esta pesquisa e na de Quinones e Rusu (2017), não foram encontrados estudos que se utilizaram dessa metodologia, que, portanto, não foi validada nem pelos próprios autores. Na primeira fase, os especialistas trabalham juntos para definir o novo conjunto de heurísticas com base em heurísticas existentes. Então, na segunda fase, as heurísticas são validadas com os usuários. Esta é a primeira metodologia encontrada que não inclui os especialistas na etapa de validação. Quinones (2018) considera isso um problema, pois usuários, mesmo os mais experientes, podem deixar passar problemas

que somente um especialista poderia notar. Também é difícil encontrar usuários que são verdadeiramente representativos do utilizador (modelo mental de usuário) de certos domínios de aplicação, como no caso da Realidade virtual. Também não há instruções para o refinamento das heurísticas, não explica claramente como validá-las e não tem um template claro para especificar e detalhar as heurísticas criadas.

Hermawati e Lawson (2015) também apresentaram uma metodologia em duas etapas: a primeira trata sobre como expandir conjuntos heurísticos para um domínio do aplicativo; a segunda em como validá-los. Basearam-se no trabalho de Ling e Salvendy (2005), que propuseram 3 etapas para modificar heurísticas para domínio específico, utilizando principalmente a primeira etapa: expansão do conjunto de heurísticas. A metodologia consiste basicamente em levantar informações sobre heurísticas existentes, problemas de usabilidade/UX, listas com guias de design melhores e práticas, mapear e agrupar estas informações, e então organizar ou propor novas heurísticas. Na segunda etapa, ocorre a validação das heurísticas encontradas contra uma lista de heurísticas de controle, no caso, as dez heurísticas de Nielsen (HERMAWATI; LAWSON, 2015). Porém, além de nunca ter sido utilizada, e, portanto, validada, Quinones (2018, p. 5) traz fortes críticas ao método de Hermawati e Lawson (2015):

Algumas atividades não são claras, ou seja, faltam informações sobre como realizar certas ações: (1) as etapas não explicam claramente as atividades a serem realizadas e em que ordem para realizá-las; (2) não há explicação sobre como definir ou especificar as novas heurísticas (um modelo não fornecido); (3) os autores não indicam como refinar o conjunto de heurísticas após a validação; (4) os métodos de validação que devem ser aplicados não são claramente propostos; e (5) não há recomendação sobre o tipo de usuários que devem participar do processo de validação.

Rusu et al. (2011) propõem uma metodologia constituída de seis estágios para o desenvolvimento de heurísticas de usabilidade/UX para avaliar um domínio específico. Os autores que utilizaram esta metodologia (BASHIR et al., 2019; SENGUPTA et al., 2017; DÍAZ et al., 2017; INOSTROZA et al., 2016; QUIÑONES et al., 2016), a descrevem como sendo facilitadora para o design de heurísticas, e que optaram por ela, pois suas etapas suportam todo o processo de desenvolvimento, do início ao fim, de forma eficiente e clara, e por descrever um template claro para especificar as heurísticas. Também por possuir um estágio de validação e um estágio de refinamento, etapas que faltam na maioria dos métodos de criação de heurísticas para domínios. Porém, de acordo com Quinones et al. (2018, p. 4): “alguns estágios não explicam claramente quais atividades devem ser realizadas, especificamente, os estágios descritivos e correlacionais”. Os mesmos autores afirmam que esta metodologia apresenta

deficiências na explicação das etapas e gera confusão sobre como iterar e aplicá-la corretamente (QUINONES et al., 2018).

A partir da revisão sistemática de literatura desta pesquisa, mais duas metodologias novas foram encontradas, que não foram contempladas na revisão de Quinones e Rusu (2017): as metodologias propostas por Jimenes e Figueroa (2017) – PROMETHEUS, e por Quinones et al. (2018). São as duas metodologias que se mostraram mais atuais, mais completas, melhor elaboradas, melhor explicadas, e que aprimoram as outras metodologias propostas anteriormente.

Jimenez e Figueroa (2017) propuseram uma metodologia a qual nomearam “PROMETHEUS”. É uma metodologia que refina a metodologia de Rusu et al. (2011), para, segundo os autores: “dar maior qualidade, rigor e precisão no processo de construção de novas heurísticas de domínio” (JIMENEZ; FIGUEROA, 2017, p. 541). Esses refinamentos foram baseados nos resultados de questionários aplicados por Herawati e Lawson (2016) com pesquisadores que se utilizaram da metodologia de Rusu et al. (2011). PROMETHEUS possui 8 estágios: busca de informações específicas; busca de heurísticas de usabilidade/UX; especificidade das heurísticas; normalização das heurísticas; priorização das heurísticas; descrição detalhada das heurísticas; validação; e refinamento.

A metodologia proposta por Quinones (2018) também foi baseada no método de Rusu et al. (2011). Na verdade, a metodologia de Rusu et al. (2011) foi testada por Quinones e aprimorada em seus pontos fracos, sendo acrescentado alguns elementos novos e melhorando outros elementos que foram mantidos. Segundo Figueroa et al (2019, p. 134): “é semelhante em origem e em espírito a PROMETEUS”, e complementa: “no geral, seu trabalho é bastante semelhante à nossa proposta PROMETHEUS”.

Ao desenvolver sua metodologia, Quinones et al. (2018) faz críticas pontuais às outras metodologias, como apresentado acima, mas também críticas gerais sobre os métodos destes autores citados ao também fazer suas revisões: “as metodologias revisadas apresentam abordagens interessantes, novas e úteis para o desenvolvimento de heurísticas. No entanto, elas carecem de especificações formais de etapas e atividades e a maioria não apresenta um quadro claro, adequado, e processo definido para validação das heurísticas” (QUINONES et al., 2018, p. 5). E conclui a partir destes autores estudados que as metodologias ainda não se apresentam como uma boa solução para desenvolver heurísticas de domínio específico.

A metodologia de Quinones (et al 2018) possui 8 etapas: estágio exploratório; estágio experimental; estágio descritivo; estágio correlacional; estágio de seleção; estágio de especificação; estágio de validação; e estágio de refinamento.

Estas metodologias estudadas serviram de base para o método estruturado e utilizado nesta pesquisa para a criação das novas heurísticas.

3.2.2 Heurísticas para RV

Como explicado no capítulo 2 – Metodologia de pesquisa, esta pesquisa realizou uma revisão sistemática para saber se existem heurísticas criadas para o domínio específico da Realidade Virtual, ou para a Realidade Virtual semi-imersiva. Foram encontrados 5 trabalhos: 3 que tratam de heurísticas para mundos virtuais e 2 especificamente para realidade virtual conforme a Tabela 3. Os artigos estão organizados por ordem cronológica, do mais antigo ao mais recente, tanto na tabela quanto na análise feita abaixo.

Tabela 3 – Trabalhos encontrados sobre criação de heurísticas para Realidade Virtual e mundos virtuais.

	Autor	Título	Ano
1	A. Sutcliffe and B. Gault.	Heuristic evaluation of virtual reality applications	2004
2	R. Muñoz, T. Barcelos and V. Chalegre	Defining and validating virtual worlds usability heuristics	2011
3	C. Rusu et al.	Usability heuristics for virtual worlds.	2011
4	R. Muñoz and V. Chalegre.	Defining virtual worlds usability heuristics	2012
5	R. Murtza, S. Monroe and R. J. Youmans.	Heuristic Evaluation for Virtual Reality Systems	2017

Fonte: O autor, 2021.

Será detalhado a seguir cada conjunto de heurísticas, assim como suas características e a forma como foram criadas.

3.2.2.1 Heuristic evaluation of virtual reality applications

De acordo com Gault e Sutcliffe (2004), suas 12 heurísticas para avaliação heurística de aplicações de RV são as primeiras propostas para este domínio específico. Eles argumentam que os pesquisadores anteriores apenas utilizaram adaptações das heurísticas de Nielsen, não produzindo heurísticas próprias (NIELSEN, 1994). São focadas em aplicações com HMD, e

mesmo que sejam para o domínio específico da RV, ainda possuem itens muito abrangentes. Devido ao avanço rápido das tecnologias de RV, elas estão obsoletas em alguns aspectos, não contemplam novos arranjos, e estas novas tecnologias de RV necessitam de atualizações. Não abordam características de domínio específico para Realidade Virtual semi-imersiva ou CAVES. Seguem abaixo as heurísticas:

- H1. Natural engagement (Engajamento natural);
- H2. Compatibility with the user's task and domain (Compatibilidade com a tarefa e o domínio do usuário);
- H3. Natural expression of action. (Expressão natural da ação);
- H4. Close coordination of action and representation (Coordenação estreita de ação e representação);
- H5. Realistic feedback (Feedback realista);
- H6. Faithful viewpoints (Pontos de vista fiéis);
- H7. Navigation and orientation support (Suporte de navegação e orientação);
- H8. Clear entry and exit points (Clareza dos pontos de entrada e saída);
- H9. Consistent departures. (Partidas consistentes);
- H10. Support for learning (Suporte para aprendizado);
- H11. Clear turn-taking (Retorno claro);
- H12. Sense of presence (Sentido de presença).

Sutcliffe e Gault (2004) desenvolveram as heurísticas segundo seu próprio método. Partiram das heurísticas de Nielsen em conjunto com os estudos de princípios de design para RV de Sutcliffe e Kaur (2000), e baseado nos trabalhos de Witmer e Singer (1999), de Johnson (1998) e no trabalho de Gabbard e Hix (1997). Sutcliffe e Gault (2004) realizaram a validação das heurísticas com dois estudos de casos.

Estudando as descrições das heurísticas no trabalho de Sutcliffe e Gault (2004), percebe-se que algumas heurísticas como H9 - Consistent departures - Partidas consistentes e H11 - Clear turn-taking - Retorno claro, são ainda muito genéricas, sendo muito dependentes do critério subjetivo do especialista que está avaliando. Isto pode ocorrer por falta de instruções ou um checklist, que oriente melhor quem for realizar uma avaliação com estas heurísticas, apesar do fato de os autores realizarem estudos de caso para exemplificar a aplicação das heurísticas. Também temos heurísticas redundantes na descrição do que fazem (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). As heurísticas (H4) Close coordination of action and representation - Coordenação estreita de ação e representação e (H6) Faithful viewpoints - Pontos de vista fiéis são extremamente semelhantes para o que servem e no que avaliam em suas descrições. Ainda,

segundo os autores, a heurística “clear entry and exit points” é irrelevante para a RV semi-imersiva (SUTCLIFFE; GAULT, 2004).

3.2.2.2 Usability heuristics for virtual worlds

O conjunto heurístico de Rusu et al. (2011) não se destina à RV, se preocupa exclusivamente com os mundos virtuais – *virtual worlds* (VWs), e, portanto, não possui heurísticas para questões-chave da RV, como para seus dispositivos não convencionais, ou para questões como presença e imersão. Por conta disso, são incompletas e insuficientes para avaliar sistemas de RV, e, sobretudo, RV semi-imersiva. Os autores não declararam se assumem ou não se essas heurísticas poderiam ser aplicáveis à RV além do conceito exclusivo dos VWs.

Mundos virtuais (VWs) são um tipo muito específico de ambiente virtual. Os mundos virtuais são ambientes simulados persistentes, ou seja, funcionam mesmo quando o usuário está offline, baseados em computador, que suportam comunicação sincronizada entre usuários em tempo real, que são representados por avatares (BELINGARD; PERUCH, 2000; JUNG; KANG, 2010; HOLMSTROM; JAKOBSSON, 2001). Os usuários devem escolher ou criar seus avatares, que serão capazes de interagir com objetos, com o ambiente virtual, e com outros avatares. A identidade do avatar frequentemente difere da identidade do usuário. Podem ser “mundos abertos”, ou seja, cenários praticamente infinitos, que podem ser explorados interminavelmente pelos usuários, ou dedicados a determinado tema ou tarefa. (JUNG; KANG, 2010; HOLMSTROM; JAKOBSSON, 2001). Nestes ambientes virtuais se pode construir casas, prédios e executar tarefas das mais variadas, vivendo uma espécie de “vida virtual”. Second Life (LINDEN LAB, San Francisco) é um exemplo popular de mundo virtual, onde os indivíduos representados por seus avatares podem interagir com outros por meio de bate-papo por voz e texto em um ambiente 3D (TOKEL, 2015).

VWs não são exatamente Realidade Virtual, embora tenham muito em comum com a RV. São constituídos, a princípio, para lazer e divertimento. Porém, foram abordados em pesquisas e ganhando fins sérios, sobretudo em pesquisas que abordam trabalhos e atividades colaborativas em ambientes virtuais (HOLMSTROM; JAKOBSSON, 2001). Pelas similaridades entre RV e VWs, partiu-se do princípio de que heurísticas para VWs são muito semelhantes e podem ser adaptadas para RV, por isto constaram nesta revisão.

Para criar estas heurísticas, Rusu, C. et al. (2011a) utilizaram uma metodologia formal proposta por Rusu, C. et al. (2011b) composta de 6 etapas. Basicamente, reúne informações sobre o domínio específico, no caso, mundos virtuais, que combinadas com as heurísticas de Nielsen, dão origem às heurísticas novas. Também validou-se as heurísticas propostas, pois é parte da metodologia utilizada. A seguir a descrição das heurísticas:

Design e estética

- H1. Feedback (feedback);
- H2. Clarity (Clareza);
- H3. Simplicity (Simplicidade);
- H4. Consistency (Consistência);

Controle e navegação

- H5. Low memory load (Baixa carga de memória);
- H6. Flexibility and efficiency of use (Flexibilidade e eficiência de uso);
- H7. Camera control (Controle de câmera);
- H8. Visualization (Visualização);
- H9. Avatar's customization (Customização de avatar);
- H10. Orientation and navigation (Orientação e navegação);
- H11. World interaction (Interação com o mundo virtual);
- H12. World's rules (Regras do mundo);
- H13. Communication between avatars (Comunicação entre avatares)

Erros e ajuda

- H14. Error prevention (Prevenção de erros);
- H15. Recovering from errors (Recuperação de erros);
- H16. Help and documentation (Ajuda e documentação).

A partir da análise do trabalho de Rusu et al. (2011), foi possível constatar que este também possui heurísticas muito genéricas, muito dependentes do critério subjetivo do especialista/avaliador. É o caso da heurística H8 visualization - visualização, que é pouco detalhada em sua descrição. A falta de uma checklist pode ser o problema, pois auxiliaria aos utilizadores ter um entendimento melhor da heurística e daria maior objetividade na avaliação. Também possui heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico, como a H11 World interaction - interação do mundo e a H12 World's rules - regras do mundo.

3.2.2.3 Defining and Validating Virtual Worlds Usability Heuristics e Defining Virtual Worlds Usability Heuristics

Ambos os artigos: Defining and Validating Virtual Worlds Usability Heuristics (MUÑOZ et al., 2011) e Defining Virtual Worlds Usability Heuristics (MUÑOZ et al., 2012) tratam das mesmas heurísticas, com basicamente os mesmos autores. Para desenvolver estas heurísticas, também seguem a metodologia para criação de heurísticas de domínio específico proposta por Rusu et al. (2011). As heurísticas também tratam exclusivamente de mundos virtuais, ou seja, não são criadas, a princípio, para realidade virtual. Também são quase idênticas às heurísticas elaboradas por Rusu et al. (2011) em “Usability heuristics for virtual worlds”, mas apenas modificando a ordem de algumas, com o mesmo nome e descrição. Há poucas heurísticas diferentes, por exemplo, apoio à aprendizagem e sentido de propriedade (MUÑOZ, 2012), que não existem na lista de Rusu et al. (2011).

Os autores, com base nas 10 heurísticas de Nielsen, nas investigações de Gabbard e Hartson (1997), nas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004), nas heurísticas de Rusu et al. (2011), e ao analisar vários estudos de caso de mundos virtuais como Second Life, Club Penguin, Habbo Hotel, World of Warcraft, Ragnarok Online, ScienceSim, propuseram 16 heurísticas de usabilidade. Estas foram agrupadas em três categorias: 1 - Design e estética, 2 - Controle e Navegação e 3 - Erros e Ajuda. As heurísticas estão descritas abaixo:

- H1. Feedback (Feedback);
- H2. Clarity (Clareza);
- H3. Consistency (Consistência);
- H4. Simplicity (Simplicidade);
- H5. Orientation and navigation (Orientação e navegação);
- H6. Camera control and visualization (Controlar câmera e visualização);
- H7. Low memory load: (Baixa carga de memória);
- H8. Avatar's customization: (Personalização do avatar);
- H9. Flexibility and efficiency of use (Flexibilidade e eficiência de uso);
- H10. Communication between avatars: (Comunicação entre avatares);
- H11. Sense of ownership: (Sentido de propriedade);
- H12. Interaction with the Virtual World (Interação com o mundo virtual);

H13. Support to learning (Apoio à aprendizagem);

H14. Error prevention (Prevenção de erros);

H15. Helps users to recover from errors (Ajuda os usuários a se recuperarem de erros);

H16. Help and documentation (Ajuda e documentação).

Como são muito baseadas nas heurísticas de Ruse (2011), possuem praticamente os mesmos problemas relatados acima. Também são feitas para VVs, e, por isso, também não abordam questões importantes para a RV como: senso de “presença” e “imersão”, que são a chave para uma experiência de qualidade em RV (KIRNER, 2006), ou os dispositivos não convencionais próprios para RV.

Elas foram incluídas nesta pesquisa, pois orientam o design e avaliação de mundos virtuais (VVs) que são muito semelhantes aos desenvolvidos para RV. Entretanto, os autores não assumem se as heurísticas propostas podem ser utilizadas para sistemas de Realidade Virtual.

Também possui algumas heurísticas genéricas como a H11 - Sentido de propriedade. Da mesma forma, a ausência de uma checklist, que explique melhor as etapas e os itens avaliados na interface, poderia auxiliar a dar mais objetividade na utilização de heurísticas como esta.

3.2.2.4 Heuristic Evaluation for Virtual Reality Systems

O conjunto de heurísticas mais recente publicado voltado para RV é o de Murtza, Monroe e Youmans (2017). O desenvolvimento das heurísticas baseia-se em pesquisas com perguntas feitas a usuários de sistema RV, em que baseado nas respostas desenvolveram as heurísticas.

Os autores não discutem outros conjuntos heurísticos desenvolvidos anteriormente para RV, como os que foram mencionados acima. O conjunto de heurísticas de Murtza et al. (2017) é desenvolvido especificamente para RV baseada em HMD, ou seja, totalmente imersiva, e não abordam a RV semi-imersiva. As heurísticas visam abordar tanto problemas no software de RV quanto no hardware, pois os autores sugerem que o hardware tem uma implicação potencial na usabilidade/UX de aplicativos de RV. O conjunto consiste em apenas 9 heurísticas.

No entanto, no que se refere à interface do usuário, os autores fazem referência às heurísticas de Nilsen (1994), como guidelines adequadas para uso, e também necessárias para a avaliação heurística. Isso significa que o número total de heurísticas, se alguém seguir o conselho dos autores, será de 19 heurísticas: (9 dos autores mais as 10 de Nilsen). As heurísticas criadas por Murtza, Monroe e Youmans (2017) estão descritas abaixo:

- H1. Synchronous Body Movements (Movimentos corporais síncronos);
- H2. Physical Space Constraints – (Restrições do espaço físico);
- H3. Immersion (Imersão);
- H4. Glitchiness (Erros de sistema);
- H5. Minimize switching between actual and virtual world (Alternância entre o mundo real e o virtual);
- H6. Cord Design (Design do cabeamento);
- H7. Headset Comfort (Conforto do headset);
- H8. Mental Comfort (Conforto Mental);
- H9. User Interface Design (Design da interface do usuário).

Porém, por ser baseadas unicamente em pesquisas com usuários, suas opiniões e experiências, deixaram questões importantes relacionadas à RV de lado, talvez por não terem sido vivenciadas ou percebidas por estes usuários. Os autores também relataram o problema com relação à amostra de usuários não ser o tipo padrão que utiliza essas aplicações de RV (MURTZA et al., 2017). Sendo assim, os resultados ficam ainda mais imprecisos, segundo os próprios autores.

A navegação, no sentido de como o usuário pode se localizar no ambiente de RV, e de como facilitar seu trânsito pelo cenário virtual, não é contemplada pelas heurísticas. Também trata da imersão de forma genérica. Fala apenas do realismo da simulação, com relação aos displays, sons ambientes, e taxa de “frames”, sem abordar a fidelidade representacional, ou questões psicológicas que se relacionam com a imersão, como o envolvimento do usuário. Não aborda nada sobre senso de presença; também não há heurísticas sobre interação. Não aborda questões básicas tratadas nos outros conjuntos já estudados, como avatares, aprendizado e física do ambiente virtual.

Também envia o avaliador novamente para se referenciar pelas heurísticas de Nielsen, como parte da avaliação para a interface. Porém, já se sabe que estas são muito genéricas e não adaptadas para RV, por isso, outros autores como Sutcliffe e Gault (2004) projetaram heurísticas de domínio específico, adaptando as heurísticas de Nielsen para ambientes virtuais. Sendo assim, esta ideia de retorno a Nielsen, representa um retrocesso, visto que autores

anteriores já solucionaram melhor estas questões, por exemplo, desenvolvendo heurísticas para clareza, consistência, e simplicidade para as interfaces de ambientes virtuais (MUÑOZ et al., 2012; MUÑOZ et al., 2011; RUSU et al., 2011).

3.2.2.5 Síntese dos artigos estudados sobre desenvolvimento de heurísticas para aplicações de RV e mundos virtuais

Abaixo foi realizada uma síntese das informações mais importantes obtidas a partir da análise dos artigos relatados acima e das heurísticas propostas pelos autores. Pretende-se, com isso, comparar os dados com o intuito de estabelecer relações entre os trabalhos estudados para utilização em nosso método final de criação de heurísticas.

Foram desenvolvidos parâmetros de comparação baseados nas características semelhantes encontradas nos artigos descritos, como a utilização ou não de uma metodologia formal para desenvolvimento das heurísticas, ou se são voltadas ou não para RV, ou se as heurísticas foram validadas ou não, entre outros que estão detalhados na tabela abaixo.

Tabela 4 – Síntese e cruzamento das principais informações obtidas na análise dos artigos sobre desenvolvimento de heurísticas para RV e mundos virtuais. (continua)

Informação obtida	Sutcliffe, Gault (2004)	Rusu et al. (2011)	Muñoz et al. (2011); Muñoz et al. (2012);	Murtza et al. (2017)
Número de heurísticas	12	16	16	9
Voltadas para RV?	Sim.	Não. Mundos Virtuais.	Não. Mundos Virtuais.	Sim.
Baseou-se ou considerou outras heurísticas existentes para o mesmo domínio?	Não. Desconsiderou os trabalhos anteriores por serem, na visão dos autores, apenas adaptações das heurísticas de Nielsen.	Sim, as de Nielsen (1998).	Sim, nas heurísticas de Nielsen (1998) e de Sutcliffe e Gault (2004).	Não. Desconsiderou os trabalhos anteriores.
Criou um checklist que auxilia a aplicação das heurísticas?	Não.	Não.	Não.	Não.

Tabela 4 – Síntese e cruzamento das principais informações obtidas na análise dos artigos sobre desenvolvimento de heurísticas para RV e mundos virtuais. (conclusão)

Informação obtida	Sutcliffe, Gault (2004)	Rusu et al. (2011)	Muñoz et al. (2011); Muñoz et al. (2012);	Murtza et al. (2017)
Utilizou uma metodologia formal?	Não. Basearam-se em método próprio fundamentado em sua própria experiência e conhecimento.	Sim. A metodologia de Rusu et al. (2011)	Sim. A metodologia de Rusu et al. (2011)	Não. O método consistiu em questionários enviados para supostos usuários de aplicações em RV e criação de heurísticas baseadas nas respostas.
Validou as heurísticas?	Sim.	Sim.	Sim.	Sim.
Possui heurísticas redundantes ou semelhantes?	Sim, possui algumas.	Sim, algumas heurísticas.	Sim, algumas heurísticas.	Não.

Fonte: O autor, 2021.

Ao estudar os conjuntos heurísticos foi percebido que a falta de um método bem estruturado para criação das heurísticas pode levar a heurísticas que são insuficientes para avaliar o domínio específico estudado (QUINONES et al., 2018) ou que podem não encontrar erros de usabilidade/UX cruciais, por falhas na forma como foram concebidas. É o caso das heurísticas propostas por Murtza et al. (2017) que, por ser apenas baseadas em entrevistas feitas com usuários, podem não encontrar erros que não foram percebidos por estes usuários, mas que seriam percebidos por experts em avaliações heurísticas, por exemplo.

A partir da pesquisa das heurísticas existentes para RV, passou-se a ter uma base para a criação de heurísticas para RV semi-imersiva. Porém, afunilando mais a pesquisa desta tese, passou-se da RV de um modo geral, para a RV semi-imersiva, e desta, para as aplicações educacionais, que são uma parcela dentro das diversas aplicações da RV semi-imersiva, que são o foco desta pesquisa.

3.2.3 Heurísticas para RV semi-imersiva e RV semi-imersiva voltadas para educação

Em pesquisas e revisões para esta tese não foram encontradas heurísticas de domínio específico voltadas para avaliar heurísticamente o domínio da Realidade Virtual semi-imersiva de uma maneira geral, ou seja, em suas diversas modalidades. Também não foram localizadas

heurísticas voltadas para avaliar aplicações educacionais de RV semi-imersiva, um subconjunto das aplicações de RV semi-imersiva gerais.

As heurísticas encontradas são todas para avaliar aplicações imersivas de Realidade Virtual (SUTCLIFFE; GAULT 2004; MURTZA et al. 2017), ou seja, aplicações realizadas com HMDs ou Caves, e, portanto, não contemplam características específicas da RV semi-imersiva, como a necessidade de ter uma boa resolução de tela para uma imersão efetiva ou a necessidade de captar os movimentos da cabeça do usuário para uma imersão maior (BUTTUSSI, CHITTARO, 2018).

As heurísticas de RV encontradas ainda são bastante genéricas, propondo-se a avaliar qualquer modalidade de RV. Ainda assim, pouco levaram em conta as aplicações de RV semi-imersiva, a qual, nos textos dos autores estudados, não encontramos nenhuma menção.

Também não foram encontradas heurísticas voltadas especificamente para avaliar aplicações educacionais de RV, ou aplicações educacionais de RV semi-imersiva.

Sendo as aplicações de RV semi-imersiva um subconjunto das aplicações de RV, e as aplicações educacionais de RV semi-imersiva um subconjunto dentro das aplicações de RV semi-imersiva, estas aplicações educacionais têm características ainda mais específicas dentro da RV, e, portanto, necessitam de heurísticas ainda mais especializadas. Como não foram localizadas sequer heurísticas para avaliar a RV semi-imersiva em suas aplicações gerais, e as heurísticas para RV são escassas e mais genéricas ainda, foi necessário que as heurísticas para avaliar aplicações educacionais de RV semi-imersiva fossem criadas.

4 MÉTODO DE CRIAÇÃO DE HEURÍSTICAS PARA RV SEMI-IMERSIVA PARA EDUCAÇÃO

4.1 Desenvolvimento do método

Este capítulo apresenta o método desenvolvido para criação do artefato selecionado como solução para o problema de pesquisa. Iniciou-se a partir dos métodos formais para criação de heurísticas de domínio específico relatados na literatura. A partir de então, refinou-se o método com os conhecimentos obtidos com as heurísticas para avaliar ambientes de Realidade Virtual. Por fim, refinou-se ainda mais a partir dos conhecimentos adquiridos sobre RV semi-imersiva e das aplicações educacionais de RV semi-imersiva, chegando a um método final.

4.1.1 Método a partir dos métodos estudados na literatura

Após estudar os métodos dos autores encontrados na revisão bibliográfica realizada, verificou-se diversas similaridades entre as metodologias.

Aprofundando algumas destas similaridades, percebeu-se que, por exemplo, todos os autores dividem seus métodos em etapas a serem seguidas, e iniciam o processo de criação de heurísticas com uma busca de informações na literatura, sobre o domínio específico estudado, que possam ser úteis para a criação das heurísticas novas. Todos os autores também têm um passo de validação destas heurísticas. Também verificou-se que entre as metodologias de Rusu (2011), Jimenez e Figueroa (2017) e Quinones et al. (2018) existe uma evolução, e melhoramentos de uma em relação à outra. Na verdade, as metodologias de Jimenez e Figueroa (2017) e Quinones et al. (2018) são baseadas na metodologia de Rusu (2011), melhorando e refinando esta em seus pontos fracos.

As etapas consistem, de uma maneira geral, em um levantamento de informações, organização e priorização destas informações, e transformação das informações em heurísticas.

Com base na comparação dos métodos e das similaridades encontradas entre eles, agrupamos suas etapas e encontramos sete passos que são comuns na maioria das metodologias.

A busca de informações é a base para todo o processo de criação de heurísticas constituindo o passo 1. Rusu et al. (2011), Jimenez e Figueroa (2017) e Quinones et al. (2018), que chamaram essa etapa de “estágio exploratório”. Por sua vez, Hub e Capková (2010) chamaram de “análise ambiente”. Esta busca pode ser dividida em dois tipos: a busca por informações sobre o domínio específico estudado (FRANKLIN et al., 2014; RUSU et al., 2011; JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; QUINONES et al., 2018), e busca por heurísticas de usabilidade/UX existentes para o domínio específico estudado (VAN GREUNEN, 2011; HUB; CAPKOVÁ, 2010; HERMAWATI; LAWSON, 2015; LECHNER et al., 2013; JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; QUINONES et al., 2018).

A busca de informações sobre o domínio específico engloba a busca de características específicas sobre o domínio estudado (QUINONES et al., 2018), conceitos, aplicações e recursos específicos dos aplicativos (QUINONES et al., 2018), e busca por tipos de equipamentos utilizados (HUB; CAPKOVÁ, 2010), atributos de usabilidade/UX (QUINONES et al., 2018), dentre outros. Já a etapa de busca por heurísticas envolve o encontro de heurísticas existentes para o domínio estudado que possam servir para avaliar este domínio, ou servir de base para a criação de heurísticas novas (JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; QUINONES et al., 2018; VAN GREUNEN, 2011; HERMAWATI; LAWSON, 2015).

No passo 2, percebe-se que a maioria dos autores realiza o agrupamento e priorização das informações levantadas no passo 1. A etapa visa basicamente organizar todas as informações que foram coletadas na etapa anterior.

Hermawati e Lawson (2015) mapearam e agruparam as informações encontradas. Rusu et al. (2011) chamaram esta etapa de “estágio descritivo” e destacam as características mais importantes das informações coletadas anteriormente para formalizar os principais conceitos que estão associados à pesquisa. Jimenez e Figueroa (2017), diferente dos outros autores, trabalharam nesta etapa a organização das heurísticas encontradas, e a chamaram de especificidade das heurísticas. Eles especificaram uma tabela de codificação e índices de especificidade com base nas características do domínio encontradas. QUINONES et al. (2018) basearam-se em Rusu et al. (2011) e mantiveram o nome “estágio descritivo”, mas melhoraram a definição da etapa encontrada. Eles explicaram em detalhes como agrupar as informações que foram coletadas na etapa anterior e propuseram uma escala de três níveis para priorizar os grupos em formação.

Para o passo 3, verificou-se que os autores realizaram o agrupamento e priorização de heurísticas. Hub e Capková (2010), em sua etapa denominada “heuristic creation”, agruparam e priorizaram as heurísticas baseados em um critério de 3 níveis. Já Franklin et al. (2014)

realizaram a seleção, exclusão e alinhamento de heurísticas similares. Por outro lado, Lechner et al. (2013) fazem o alinhamento de heurísticas similares, seleção e exclusão baseado em opiniões dos especialistas em sessões de grupo. Já Rusu et al. (2011) chamaram esta etapa de “estágio correlacional” e nela identificaram as características que as heurísticas de usabilidade/UX para aplicações específicas deveriam ter, com base em heurísticas tradicionais e análise de estudo de caso. Jimenez e Figueroa (2017) chamaram este passo de “normalização das heurísticas” e nele, os casos de duplicação e sobreposição das heurísticas encontradas são resolvidos. Esta etapa é exatamente igual à etapa 5 de Quinones et al. (2018). Mas, nestes autores encontra-se esta fase melhor explicada e de forma mais clara com relação aos procedimentos para sua realização.

QUINONES et al. (2018) mantiveram o nome “estágio correlacional” (RUSU et al., 2011). Sobre a metodologia de Rusu et al., foi refinada e melhorada a definição da etapa. Propuseram cruzar as informações sobre recursos do aplicativo, atributos de usabilidade /UX e heurísticas para cobrir todos os aspectos com o novo conjunto de heurísticas. Com relação à metodologia PROMETHEUS, houve melhoramentos. Foram feitas recomendações sobre como eliminar os casos em duplicidade de heurísticas, e também recomendou-se priorizar não apenas as heurísticas, mas os atributos de usabilidade/UX e as informações encontradas sobre o domínio específico estudado.

Foi percebido que no Passo 4 ocorria a seleção, adaptação e criação de heurísticas. Identificou-se que Van Greunen (2011) apenas adaptou as heurísticas para o domínio específico que estudou, no caso, os websites. FRANKLIN et al. (2014) realizou a fusão, agrupamento e adaptação das heurísticas. Já LECHNER et al. (2013) trabalharam com especialistas nesta etapa, e baseado em seus conhecimentos técnicos e experiência, definiram quais heurísticas deveriam ser mantidas (ainda válidas), quais deveriam ser descartadas, quais poderiam ser adaptadas e quais deveriam ser criadas. Por outro lado, QUINONES et al. (2018) chamaram esta etapa de “estágio de seleção” e nele identificaram as heurísticas existentes que poderiam ser usadas e/ou adaptadas para o novo conjunto de heurísticas, determinaram quais heurísticas existentes poderiam ser descartadas, e quais heurísticas deveriam ser criadas. Etapa idêntica à etapa “normalização das heurísticas”, na metodologia PROMETHEUS de Jimenes e Figueroa (2017), porém foi mais detalhada em Quinones et al. (2018), aprimorando esta etapa em relação à Jimenez e Figueroa (2017).

Para o Passo 5, agrupou-se as especificações técnicas das heurísticas. É bem comum que nesta etapa os autores propusessem um “template” para preencher com informações sobre cada heurística, como se fosse uma ficha técnica. Encontrou-se em Hermawati e Lawson (2015)

a aplicação deste passo de forma bem básica. Os autores definiram nome, descrição e exemplos para cada heurística. Na metodologia proposta por Rusu et al. (2011), esta etapa chamou-se “estágio explicativo” e os autores propuseram um template para especificar as heurísticas.

Na metodologia de Jimenez e Figueroa (2017), a etapa mudou de nome em relação a Rusu et al. (2011). Passou-se a ser chamada de descrição detalhada das heurísticas. Os autores buscaram aprimorar a descrição proposta por RUSU et al. (2011), para dar maior clareza e para considerar avaliadores novatos. Porém, os autores não indicaram um template de especificação para as novas heurísticas. QUINONES et al. (2018) refinaram e melhoraram a definição da etapa em relação a Rusu et al (2011). Mudou-se o nome de "Estágio explicativo" para "Estágio de especificação" (considerando o segundo termo mais claro) e adicionou-se 5 novos elementos ao modelo (template) proposto por Rusu. O template possui informações que identificam, explicam, resumem e auxiliam a utilizar as heurísticas.

Outro passo encontrado em todas as metodologias estudadas foi a etapa de validação, aqui chamada de passo 6.

Encontramos em VAN GREUNEN (2011) a avaliação heurística realizada por especialistas, porém muito focada em websites. Em Hub e Capková (2010), a validação é realizada através da avaliação heurística de uma interface de portal de administração pública, que é o domínio específico foco de seus estudos. Enquanto FRANKLIN et al. (2014) utilizaram do método focus group, onde um grupo de especialistas debate até chegar a um consenso. Já Hermawati e Lawson (2015) fizeram a validação através da avaliação heurística, em que as novas heurísticas de domínio específico foram avaliadas contra heurísticas de controle – heurísticas de Nielsen; eles também utilizaram testes com usuário. Por sua vez, LECHNER et al. (2013) validaram suas heurísticas através de sessões realizadas com usuários finais. Por outro lado, RUSU et al. (2011) utilizaram a avaliação heurística em que as heurísticas novas foram testadas contra heurísticas de controle. Já Jimenez e Figueroa (2017) realizaram a avaliação das heurísticas de domínio que foram sendo desenvolvidas, contra um conjunto de heurísticas de controle, por padrão, as heurísticas de Nielsen. E QUINONES et al. (2018) refinaram e melhoraram a definição da etapa com relação a Rusu et al. (2011). Além da avaliação das heurísticas contra heurísticas de controle e dos testes com usuários, propuseram um método adicional para validar o novo conjunto de heurísticas: o julgamento por especialistas. Além disso, adicionaram 5 critérios de qualidade para validar a eficácia do novo conjunto de heurísticas por meio de avaliações heurísticas.

O último passo encontrado nos métodos estudados é o Refinamento, aqui mencionado como passo 7.

Van Greunen (2011), após validar, buscou reaplicar as etapas de acordo com os dados encontrados na etapa de validação. Hermawati e Lawson (2015) realizaram melhoramentos nas heurísticas a partir dos dados levantados na etapa de validação. Já Rusu et al. (2011) basearam-se no feedback recebido na etapa de validação, e refinaram as heurísticas criadas. Já Jimenez e Figueroa (2017) têm como etapa final de seu método PROMETHEUS, o cálculo dos indicadores de qualidade, que orientam o processo de refinamento. Enquanto QUINONES et al. (2018) melhoraram a definição da etapa em relação a Rusu et al. (2011). Explicaram como documentar o feedback que foi obtido na etapa de validação. Definiram cinco indicadores de qualidade com o fim de quantificar a avaliação entre as heurísticas de domínio e as heurísticas de controle, no contexto de uma avaliação heurística.

A partir das informações de cada passo, esta pesquisa propõe nomes que resumem cada etapa. Os passos nomeados são: passo 1 – busca de informações; passo 2 – agrupamento e priorização de informações; passo 3 – agrupamento e priorização de heurísticas; passo 4 – seleção, adaptação e criação de heurísticas; passo 5 – especificação de heurísticas; passo 6 – validação de heurísticas; e passo 7 – refinamento das heurísticas.

Foi feita, a seguir, na tabela 5, um quadro comparativo com um resumo das metodologias para simplificar o entendimento das características mais importantes, e descrever os pontos principais que depõem a favor e contra cada metodologia estudada.

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continua)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al., 2011)	Metodologia de Hub e Čapková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 1: busca de informações	Sim. Realizam a revisão da literatura para buscar heurísticas ou checklists existentes que sirvam para o domínio em questão.	Sim. São levantados dados sobre heurísticas existentes, tipos de equipamentos e de interfaces utilizadas no domínio específico em questão. Na metodologia em si, este passo chama-se análise do ambiente.	Sim. Levantamento através de revisão sistemática.	Sim. Busca por heurísticas existentes para o domínio estudado. Caso estas não existam, busca informações detalhadas sobre o contexto de uso da interface no domínio estudado. Também busca por problemas de usabilidade relatados.	Sim. Realizou revisão na literatura para encontrar heurísticas existentes.	Coletar informações na bibliografia para os principais tópicos da pesquisa: aplicações específicas, suas características, e usabilidade geral e/ou relacionada (se identificada) a heurísticas.	Dividiu esta etapa em 2: - Busca de informações específicas: coletar informações sobre o domínio específico da aplicação através de revisão sistemática. - Busca de heurísticas de usabilidade: coletar informações sobre heurísticas para o domínio específico existentes, através de revisão sistemática.	Melhorou a definição da etapa em relação a Rusu et al. (2011). Incluiu novos tipos de informações que devem ser coletadas. Uma revisão da literatura deve ser realizada para coletar informações relevantes para o desenvolvimento do novo conjunto de heurísticas. Na verdade, engloba as duas primeiras etapas da metodologia PROMETHEUS em uma etapa só. Com relação aos dados levantados, acrescenta mais um parâmetro em relação à metodologia PROMETHEUS: além das informações específicas sobre o domínio, e as heurísticas existentes para o domínio específico, também coleta os atributos de usabilidade envolvidos com o domínio.

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continuação)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al. 2011)	Metodologia de Hub e Čapková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 2: agrupamento e priorização de informações	Nomeia as heurísticas.	Não possui.	Não possui.	Mapeia e agrupa as informações encontradas.	Não existe;	Destaca as características mais importantes das informações coletadas anteriormente, para formalizar os principais conceitos que estão associados à pesquisa.	Mudou de nome. Agora passa a chamar-se: especificidade das heurísticas. Especifica uma tabela de codificação e índices de especificidade, com base nas características do domínio.	Melhorou a definição da etapa em relação a Rusu. Explicou em detalhes como agrupar as informações que foram coletadas nas etapas anteriores e propôs uma escala de três níveis para priorizar os grupos em formação. A etapa visa selecionar e destacar os tópicos mais importantes de todas as informações que foram coletadas na etapa anterior, para formalizar os principais conceitos que estão associados à pesquisa. Neste aspecto, é semelhante à PROMETHEUS.

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continuação)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al. 2011)	Metodologia de Hub e Čápková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 3: agrupamento e priorização de heurísticas	Não.	Sim. Em sua etapa denominada a “heuristic creation” agrupa e prioriza as heurísticas com critério de 3 níveis.	Seleção e exclusão, alinhamento de similares.	Não possui.	Sim. Baseado nas opiniões dos especialistas em sessões de grupo.	Identifica as características que as heurísticas de usabilidade para aplicações específicas devem ter, com base em heurísticas tradicionais e análise de estudo de caso.	Dividiu esta etapa em 2: - Normalização das heurísticas: os casos de duplicação e sobreposição das heurísticas encontradas são resolvidos. Esta etapa é exatamente igual à etapa 5 de Quinones et al. (2018). Porém, em Quinones encontra-se esta fase melhor explicada e de forma mais clara, com relação aos procedimentos para sua realização. - Priorização das heurísticas: cria um ranking de especificidade de cada heurística, considerando também as dimensões estatísticas, entre outros fatores. Na metodologia de Quinones et al. (2018), porém no template elaborado para a especificação das heurísticas, tem um item chamado “prioridade”, que é necessário informar basicamente as mesmas informações deste item, sendo, portanto, esta fase indiretamente.	Refinou e melhorou a definição da etapa com relação a Rusu (2011). Propôs combinar recursos do aplicativo, atributos de usabilidade/UX e heurísticas para cobrir todos esses aspectos com o novo conjunto de heurísticas. Com relação à metodologia PROMETHEUS, engloba as duas etapas do passo 4 trazendo melhoramentos. Faz recomendações sobre como eliminar os casos em duplicidade de heurísticas, e também recomenda priorizar não apenas as heurísticas, mas os atributos de usabilidade e as informações encontradas sobre o domínio específico estudado. Porém, não considera as dimensões estatísticas. A metodologia de Quinones identifica as características que as novas heurísticas devem ter com base nas informações levantadas nas etapas de revisão sistemática. Os autores também propuseram cruzar os dados dos recursos do aplicativo, atributos de usabilidade/UX e heurísticas para cobrir essas características com o novo conjunto de heurísticas. Esta fase não existe na metodologia PROMETHEUS.

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continuação)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al. 2011)	Metodologia de Hub e Čapková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 4: seleção, adaptação e criação de heurísticas	Sim em parte. Apenas adapta as heurísticas para o domínio específico, no caso websites.	Não possui.	Fusão, agrupamento e adaptação.	Não possui.	Sim. Os especialistas baseados em seus conhecimentos técnicos e experiência definem quais heurísticas devem ser mantidas (ainda válidas), quais devem ser descartadas, quais podem ser adaptadas e quais devem ser criadas.	Não possui.	Não possui.	Esta etapa identifica as heurísticas existentes que podem ser usadas e/ou adaptado para o novo conjunto de heurísticas, determina quais heurísticas existentes podem ser descartadas, e quais heurísticas devem ser criadas. Etapa idêntica à etapa “normalização das heurísticas”, na metodologia PROMETHEUS de Jimenes e Figueroa (2017), porém é mais detalhada em Quinones et al. (2018), aprimorando esta etapa em relação à Jimenez e Figueroa (2017).

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continuação)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al. 2011)	Metodologia de Hub e Čapková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 5: especificação de heurísticas	Não.	Não possui.	Não.	Sim, mas de forma bem básica. Define nome, descrição e exemplifica cada heurística.	Não.	Sim. Na metodologia de Rusu chama-se estágio explicativo.	<p>Sim, mudou de nome. Agora passa a chamar-se: descrição detalhada das heurísticas.</p> <p>Buscou-se aprimorar a descrição proposta por RUSU (et al. 2011), para dar maior clareza e para considerar avaliadores novatos.</p> <p>Não indica um template de especificação para as novas heurísticas.</p>	<p>Sim, Especifica as heurísticas novas dentro de um template, com informações que identificam, explicam, resumem e auxiliam a utilizar as heurísticas.</p> <p>Refinou e melhorou a definição da etapa em relação a Rusu et al (2011). Mudou o nome de "Estágio explicativo" para "Estágio de especificação" (considerou o segundo termo mais claro) e adicionou 5 novos elementos ao modelo (template) proposto por Rusu. Como Jimenes e Figueroa (2017) não indicam um template para especificar as heurísticas, a metodologia de Quinones et al. (2018) aprimora este aspecto em relação à PROMETHEUS. Considera-se o template proposto por Quinones et al. (2018) mais completo, detalhado e mais claro com relação ao entendimento, que o proposto por autores anteriores.</p>

Tabela 5 – Comparativo de todas as metodologias estudadas. (continuação)

Passo	Metodologia de Van Greunen (et al. 2011)	Metodologia de Hub e Čapková em (2010)	Metodologia de Franklin et al. (2014)	Metodologia de Hermawati e Lawson (2015)	Metodologia de Lechner et al. (2013)	Metodologia de Rusu et al. (2011)	Metodologia de Jimenes e Figueroa (2017) PROMETHEUS	Quinones (2018).
Passo 6: validação das heurísticas	Sim, com avaliação heurística realizada por especialistas, porém muito focada em websites.	Sim. A validação é realizada através da avaliação heurística de uma interface de portal de administração pública.	Sim. Utilização do método focus group.	Sim. Através da avaliação heurística, em que as novas heurísticas de domínio específico são avaliadas contra heurísticas de controle – heurísticas de Nielsen. Também utilizam testes com usuário.	Sim. Sessões realizadas com usuários finais, determina quais características das heurísticas existentes mais se adequam ao domínio estudado.	Sim. Utiliza a avaliação heurística em que as heurísticas novas são testadas contra heurísticas de controle.	Sim. A sétima etapa do PROMETHEUS requer a avaliação das heurísticas de domínio que estão sendo desenvolvidas, contra um conjunto de heurísticas de controle, por padrão, as heurísticas de Nielsen. PROMETHEUS também especifica 4 indicadores de qualidade das heurísticas com base neste experimento.	Sim. Refinou e melhorou a definição da etapa com relação a Rusu et al. (2011). Propôs um método adicional para validar o novo conjunto de heurísticas: julgamento por especialistas. Além disso, adicionou 5 critérios de qualidade para validar a eficácia do novo conjunto de heurísticas por meio de avaliações heurísticas, uma a mais que a PROMETHEUS, aprimorando o método. Os procedimentos de avaliação contemplam uma etapa a mais que os propostos por PROMETHEUS, que é a validação através da opinião de especialistas, também aprimorando a validação com mais informações sobre a validade das heurísticas criadas. Quinones et al. (2018) fazem a validação com a opinião de especialistas, com avaliação heurística feita por especialistas, e, se necessário, com o usuário final.
Passo 7: refinamento das heurísticas.								

Fonte: O autor, 2021.

Após os estudos, análises e comparações realizadas, esta pesquisa chegou ao seguinte método para criação de heurísticas de domínios específicos, composto por 7 etapas. O método baseia-se nas similaridades e etapas mais importantes retiradas dos 8 métodos estudados:

1 Busca de informações - Busca de informações que sirvam de base para a criação das heurísticas. Essa busca envolve os conceitos relacionados ao domínio específico estudando suas aplicações, seus recursos e características específicas e a busca por heurísticas existentes que possam ser utilizadas para avaliar o domínio ou que possam ser adaptadas para a criação das heurísticas novas. Também contempla os atributos de usabilidade/UX existentes relacionados ao domínio específico. Para melhor desempenhar esta etapa, propomos a divisão deste passo em 3 etapas distintas. São elas: etapa 1 - busca por informações específicas; etapa 2 - busca por heurísticas de usabilidade/UX; e etapa 3 - busca por atributos de usabilidade/UX.

2 Agrupamento e priorização de informações - Nesta etapa as informações coletadas anteriormente são agrupadas e organizadas para que possam ser utilizadas de forma eficiente para a criação das novas heurísticas. Estas informações também devem ser priorizadas dando uma ordem de importância para as informações mais relevantes encontradas.

3 Agrupamento e priorização das heurísticas - Nesta etapa, as heurísticas encontradas na etapa anterior são agrupadas, organizadas e também são priorizadas de acordo com a ordem de importância de cada uma. Também é feito um alinhamento de heurísticas similares de forma a excluir os casos em duplicidade ou casos de sobreposição de heurísticas, que são duas ou mais heurísticas iguais em conjuntos de heurísticas diferentes. O objetivo desta etapa é gerar uma lista única de heurísticas, no caso, na revisão bibliográfica, sejam encontrados múltiplos conjuntos de heurísticas para o domínio estudado propostos por vários autores. Esta lista é a única que passará para a próxima etapa em que será cruzada com os dados levantados sobre o domínio específico estudado.

4 Seleção adaptação e criação das heurísticas - Nesta etapa, a lista única de heurísticas gerada na etapa anterior é cruzada com as informações encontradas na revisão bibliográfica, como atributos de usabilidade/UX, os atributos e características específicas do domínio estudado, recursos, dentre outros. Este cruzamento é feito para saber quais heurísticas cobrem as informações levantadas, quais podem ser adaptadas, quais heurísticas não têm função alguma e, portanto, devem ser excluídas, e quais atributos do domínio específico não são cobertos por heurística nenhuma e, sendo assim, estas devem ser criadas.

5 Especificação das heurísticas - As heurísticas são especificadas dentro de um template. Neste caso, um template proposto por esta tese. Este template é como uma ficha

técnica que contém as informações técnicas sobre a heurística, como: nome, descrição, o que ela faz, quais os erros encontrados, e assim por diante.

6 Validação das heurísticas - 3 possibilidades: validação por opinião de especialistas, validação por avaliação heurística e validação por testes com usuários. Não adotamos o método focus group como etapa separada, pois a avaliação por avaliação heurística utiliza múltiplos avaliadores, que ao final realizam uma sessão e focus group, e, portanto, contemplando este método.

7 Refinamento das heurísticas - Nesta etapa, as heurísticas são refinadas baseadas nas informações obtidas na etapa de validação.

1. Busca de informações - 3 etapas: busca por informações específicas; busca por heurísticas de usabilidade/UX e busca por atributos de usabilidade/UX.
2. Agrupamento e priorização de informações.
3. Agrupamento e priorização das heurísticas – duas etapas: agrupamento de similares e priorização das heurísticas.
4. Seleção adaptação e criação das heurísticas.
5. Especificação das heurísticas – especificação das heurísticas em um template.
6. Validação das heurísticas – 3 possibilidades: validação por opinião de especialistas, validação por avaliação heurística e validação por testes com usuários.
7. Refinamento das heurísticas.

4.1.2 Refinamento do método a partir das heurísticas para RV estudadas na literatura

Após o estudo das heurísticas encontradas, verificamos a necessidade de ajustes no método inicial proposto. Não ficou claro nos autores pesquisados que desenvolveram heurísticas como agrupar e eliminar as heurísticas similares encontradas na etapa 3. Sendo assim, foi proposto a utilização do método desenvolvido por Pierre (2014), que propõe agrupar as heurísticas por semelhança, equivalência e singularidade.

Para este autor, definir heurísticas como semelhantes é fazer uma estimativa entre duas ou mais heurísticas que possuam termos comuns que as aproximam ou identificam, sem, contudo, chegarem a ser iguais. A principal função de um modelo de semelhança é definir como as características das heurísticas serão comparadas para a obtenção do grau de semelhança entre

elas. O modelo de comparação pode ser pelo nome, descrição, explicação e tipo de erro que a heurística encontra.

A equivalência é quando as heurísticas são iguais em termos de nome, função ou descrição que possuam. E a singularidade é definida pelas características que as heurísticas possuam que sejam próprias, que as torne diferentes das demais. Sendo assim, é possível analisar os traços das heurísticas encontradas na literatura, verificando se não possuem nenhuma semelhança ou equivalência com outra heurística, podendo, por fim, ser denominada como singular.

Devido às dificuldades em interpretar as heurísticas encontradas, esta pesquisa resolveu fazer como Jimenes e Figueroa (2017) e dividiu a etapa 3 – Agrupamento e priorização das heurísticas em duas, para poder fazer uma análise mais aprofundada. Na primeira etapa, os casos em duplicidade são resolvidos. Na segunda etapa ocorre a priorização das heurísticas mais importantes. Foi adicionado esta etapa para auxiliar a remoção das heurísticas obsoletas ou desnecessárias, como a heurística “clear entry and exit points” do conjunto heurístico proposto por Sutcliffe e Gault (2004), que, segundo os próprios autores, é irrelevante para a RV semi-imersiva.

Outra contribuição após estudar as heurísticas é a obrigatoriedade da criação de um checklist para melhorar o entendimento das heurísticas. Verificamos a ausência de checklist em todos os conjuntos heurísticos encontrados na revisão bibliográfica (SUTCLIFFE; GAULT, 2004; MUÑOZ et al., 2011; RUSU et al., 2011; MUÑOZ; CHALEGRE, 2012; MURTZA et al. 2017). O checklist melhora a compreensão e a aplicação de cada heurística, minimizando as interpretações erradas por parte dos avaliadores.

Sendo assim, para a obrigatoriedade da criação de um checklist para aplicação das heurísticas, passo 5 da metodologia desta pesquisa, o de especificação das heurísticas, passa a ser dividido em 2: Especificação das heurísticas e especificação do checklist baseado nas informações do domínio estudado. As outras etapas continuam.

Método após o estudo das heurísticas:

1. Busca de informações - 3 etapas: busca por informações específicas; busca por heurísticas de usabilidade/UX e busca por atributos de usabilidade/UX.
2. Agrupamento e priorização de informações.
3. Agrupamento e priorização das heurísticas – duas etapas: agrupamento de similares e priorização das heurísticas.
4. Seleção, adaptação e criação das heurísticas.

5. Especificação das heurísticas – duas etapas: especificação das heurísticas em um template e especificação de um checklist para utilização das heurísticas.
6. Validação das heurísticas – 3 possibilidades: validação por opinião de especialistas, validação por avaliação heurística e validação por testes com usuários.
7. Refinamento das heurísticas.

4.1.3 Refinamento do método a partir das aplicações educacionais de RV de desktop estudadas e seus problemas de usabilidade/UX

A partir da análise das informações encontradas nos artigos que tratam das aplicações educacionais da RV semi-imersiva, verificou-se que estas informações contribuíram para mais uma mudança no método proposto para a criação de heurísticas de domínio específico.

Ao comparar os artigos estudados para a pesquisa, estes forneceram várias informações que serviram como observações úteis e orientações sobre a usabilidade/UX destas aplicações de RV semi-imersiva e problemas que devem ser evitados. Por exemplo, que a fidelidade representacional melhora a sensação de imersão e presença (MERCHANT et al., 2012; HARRINGTON, 2012; HERNÁNDEZ et al., 2016; IBRAHIM; ALI, 2018; MAKRANSKY; LILLEHOLT, 2018; MAKRANSKY; PETERSEN, 2019), a utilização de múltiplos estímulos aos sentidos (IBRAHIM; ALI, 2018), a sensação de prazer ao utilizar o sistema (MAKRANSKY; PETERSEN, 2019; MAKRANSKY; LILLEHOLT, 2018; FOKIDES; ATSIKPASI, 2018; OGBUANYA et al., 2018), minimizar as dificuldades de interação com o sistema (PARMAR et al., 2016), qualidade visual dos displays para uma excelente experiência em RV (BUTTUSSI; CHITTARO, 2018), a utilidade do sistema percebida pelo usuário (MERCHANT et al., 2012; HERNÁNDEZ et al., 2016; FOKIDES; ATSIKPASI, 2018), a necessidade de otimização dos elementos 3D para melhorar o desempenho do sistema de RV (LIANG, 2019), dentre outros.

Por conta disso, propomos a adoção de mais um passo semelhante ao passo experimental proposto por Quinones et al. (2018). Porém, nosso passo, diferente do passo destes autores, terá duas etapas que nomeamos: orientações e recomendações de usabilidade/UX e problemas de usabilidade/UX encontrados.

A primeira etapa consistirá em buscar na literatura ou em experimentos realizados anteriormente por recomendações e orientações de usabilidade/UX que possam ser úteis ao processo de criação das heurísticas. Este levantamento de informações será realizado voltado para o domínio específico estudado. Essas recomendações e orientações deverão ser levadas em conta na hora de cruzar os dados com as heurísticas encontradas na etapa 4 – seleção, adaptação e criação das heurísticas.

A segunda etapa do passo 2 tratará do levantamento de problemas de usabilidade/UX relatados, encontrados na literatura ou experimentos realizados anteriormente, que também possam alimentar de informações úteis o processo de criação das heurísticas novas. Este passo é contemplado apenas na metodologia proposta por Quinones et al. (2018).

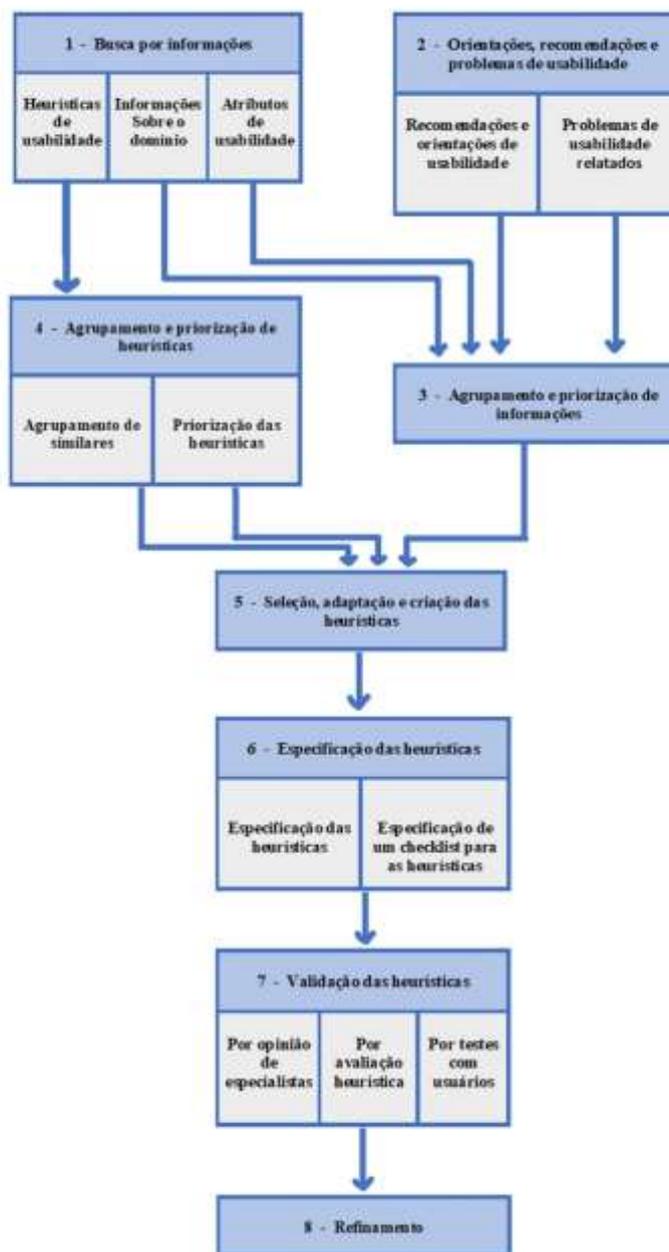
Ambos os passos, no caso da ausência de informações encontradas na literatura, podem ser alimentados de informações através da realização de experimentos pelo pesquisador, que estará desenvolvendo heurísticas de domínio.

Também propomos um template para especificar as heurísticas, baseado nos métodos estudados, nas heurísticas encontradas e nos artigos sobre aplicações educacionais semi-imersiva estudadas.

Sendo assim, nosso método ficou como o descrito abaixo:

1. Busca de informações – 3 etapas: busca por informações específicas; busca por heurísticas de usabilidade/UX e busca por atributos de usabilidade/UX.
2. Orientações, recomendações e problemas de usabilidade/UX – duas etapas: recomendações e orientações de usabilidade/UX e problemas de usabilidade/UX encontrados.
3. Agrupamento e priorização de informações.
4. Agrupamento e priorização das heurísticas – duas etapas: agrupamento de similares; priorização das heurísticas.
5. Seleção, adaptação e criação das heurísticas.
6. Especificação das heurísticas – duas etapas: especificação das heurísticas em um template; especificação de um checklist para utilização das heurísticas.
7. Validação das heurísticas – 3 possibilidades: validação por opinião de especialistas, validação por avaliação heurística e validação por testes com usuários.
8. Refinamento das heurísticas.
 - a. A seguir, tem-se um diagrama que ilustra todos os passos e etapas do método final.

Figura 25 – Esquema do método utilizado por esta tese.



Fonte: O autor, 2021.

A próxima seção detalhará o método final para criação das heurísticas propostas.

4.2 Detalhando o método final

O método novo, como descrito acima, possui 8 passos. A estrutura das etapas e dos passos foi concebida visando aproveitar o máximo as vantagens oferecidas por cada método,

minimizando deficiências e aproveitando os dados levantados nas pesquisas para esta tese e revisões bibliográficas. A nomenclatura dos passos é proposta por esta tese e visa dar um resumo do que é feito em cada etapa, como forma de dar clareza ao método.

O passo 1 se chama “busca de informações”, que continua se tratando da busca de informações sobre o domínio específico que necessita ou não de novas heurísticas. Para se iniciar esta etapa é obrigatório a existência de um domínio específico e aplicação. Dividimos este passo em 3 etapas distintas, de forma a contemplar melhor as possibilidades trazidas pelos métodos que serviram de base e organizar a busca por informações com os seguintes nomes:

etapa 1 - busca por informações específicas;

etapa 2 - busca por heurísticas de usabilidade/UX; e

etapa 3 - busca por atributos de usabilidade/UX.

A etapa “busca por informações específicas” (JIMENES et al., 2017; QUINONES et al., 2018, 2019) trata da revisão bibliográfica para coletar informações relevantes para o desenvolvimento do novo conjunto de heurísticas, compreensão ampla do domínio estudado e levantar os dados sobre o domínio estudado, além de ser um processo presente nas metodologias que serviram de base para o método final desta pesquisa (RUSU et al., 2011; JIMENEZ et al., 2017; QUINONES et al., 2018), e ajuda a determinar as características específicas do domínio estudado para posteriormente utilizar esses recursos com base para a criação do novo conjunto de heurísticas (QUINONES; RUSU, 2017; HUB; ČAPKOVÁ, 2010; JIMENEZ et al., 2017). Nesta etapa, o pesquisador deverá buscar: informações sobre o domínio específico do aplicativo (definições e recursos) e características específicas do aplicativo.

A etapa “busca por heurísticas de usabilidade” (JIMENES et al., 2017; QUINONES et al., 2018, 2019) trata da busca na literatura por heurísticas existentes que possam servir para avaliar o domínio específico estudado. Manteve-se esta etapa, pois, segundo Quinones e Rusu (2017), ao conhecer as heurísticas existentes para determinado domínio se pode: (1) saber quais heurísticas já existem (para avaliar este domínio específico); (2) saber como as heurísticas foram projetadas; e (3) que lacuna as novas heurísticas projetadas podem cobrir. Além disso, elas podem evitar erros cometidos durante o processo de criação de heurísticas anteriores (QUINONES et al. 2018).

A terceira etapa, “busca por atributos de usabilidade” (QUINONES et al., 2018, 2019), contempla adição feita por Quinones et al. (2018) ao método de Rusu et al. (2011) em que se buscam atributos de usabilidade/UX envolvidos com o domínio específico estudado. Manteve-se esta etapa, pois os atributos de usabilidade/UX auxiliam a fazer conexões entre as

características específicas do domínio, as heurísticas existentes (se houver) e os problemas de usabilidade/UX encontrados (QUINONES et al., 2018).

Após a conclusão desta etapa, terminamos com as seguintes saídas de informações: (1) informações sobre o aplicativo (definições e recursos); (2) recursos específicos adicionais do aplicativo; (3) conjuntos de heurísticas e/ou outros elementos relevantes; (4) atributos de usabilidade/UX; e (5) problemas com heurísticas existentes (se houver).

O passo 2 chamamos de “agrupamento e priorização de informações”. Este passo só existe em parte na metodologia proposta por Quinones et al. (2018), e apesar de ser um passo opcional dentro desta metodologia, passou a ser obrigatório na construída nesta pesquisa. Para iniciar este passo não são obrigatórios as saídas de informações (1), (2), (3), (4) e (5) do passo anterior, e, inclusive, este passo pode ser realizado em conjunto com o passo 1.

Este passo trata da busca de informações na literatura sobre experimentos realizados anteriormente por outros pesquisadores e que podem acrescentar informações úteis para a criação das novas heurísticas. Foi dividido em duas etapas: recomendações e orientações de usabilidade/UX e problemas de usabilidade/UX encontrados.

A etapa de “busca por recomendações e orientações de usabilidade” surgiu devido aos resultados obtidos após nossa pesquisa com as aplicações educacionais de RV semi-imersiva, e da verificação do grande número de orientações e recomendações de usabilidade/UX encontradas. O segundo passo, “problemas de usabilidade encontrados”, vem da metodologia de Quinones et al. (2018) e trata da busca por problemas de usabilidade/UX relatados em experimentos anteriores. Este passo foi mantido no método desta pesquisa, pois os problemas de usabilidade/UX relatados fornecem valorosas observações para a criação de heurísticas que possam detectar problemas de usabilidade/UX “reais” (HERMAWATI; LAWSON, 2015). Ao final do passo 2, tem-se as seguintes saídas de informações: (6) orientações e recomendações de usabilidade/UX e (7) problemas de usabilidade/UX detectados.

O passo 3 foi nomeado de “agrupamento e priorização de informações”. Nesta etapa, há o agrupamento, a seleção e a priorização das informações e elementos mais importantes (JIMENES et al., 2017, QUINONES et al., 2018, 2019). Para esta etapa são obrigatórios as saídas de informações (1), (2), (4), (5), (6) e (7). A saída (3) será analisada no próximo passo. Este passo é importante, pois as informações obtidas nos passos 1 e 2 precisam dessa organização, seleção e priorização para serem transformadas em heurísticas (HERMAWATI; LAWSON, 2015; RUSU, 2011; QUINONES et al., 2018, 2019; JIMENES et al., 2017). As informações são agrupadas de acordo com suas saídas de informações, e em seguida são priorizadas com critérios de 1 a 3: 1 - pouco importante; 2 - importância média; e 3 - muito

importante (QUINONES et al., 2018; JIMENEZ; FIGUEROA, 2017; RUSU et al., 2011). Ao final deste passo, obtemos as saídas de informações: (8) Informações selecionadas sobre o aplicativo; (9) recursos selecionados do domínio de aplicativo específico; (10) atributos de usabilidade/UX selecionados; (11) recomendações de usabilidade/UX selecionadas; (12) problemas de usabilidade/UX importantes relatados; e (13) problemas importantes com heurísticas (se houver).

O passo 4 foi chamado de “agrupamento e priorização de heurísticas”. Para iniciar este passo são necessários as informações obtidas em (3). Foi dividido duas etapas segundo sugestão de Jimenez et al. (2017): agrupamento de similares e priorização das heurísticas. A primeira etapa, “agrupamento de similares”, trata da eliminação das heurísticas em duplicidade, semelhantes ou redundantes. Esta etapa auxilia a organizar as listas de heurísticas existentes, caso existam mais de uma, em uma lista única, para facilitar o próximo passo. A segunda etapa chama-se “priorização das heurísticas” (JIMENEZ et al., 2017; QUINONES et al., 2018) e trata da atribuição de valores de importância para as heurísticas que formaram a lista unificada. Os valores também variam em uma escala de 1 a 3, conforme sugerido por Quinones et al. (2018), Jimenez e Figueroa (2017), Rusu et al. (2011). Esta tabela com os valores atribuídos vai auxiliar o próximo passo, em que teremos mais facilidade em saber quais heurísticas devem ser excluídas, quais podem ser adaptadas e quais podem ser mantidas como estão. Ao final, terá a saída de informação (14) Conjunto de heurísticas selecionadas.

O passo 5 foi chamado de “seleção, adaptação e criação das heurísticas”. Trata-se do cruzamento dos dados encontrados. Estes dados serão cruzados de acordo com as recomendações detalhadas propostas por Quinones et al. (2018). Para este passo são necessários as saídas de informações (8), (9), (10), (11), (12), (13) se houver e (14). O pesquisador irá relacionar as informações sobre o domínio encontradas, os problemas de usabilidade/UX existentes na literatura ou em experimentos anteriores, os recursos de aplicativos, os atributos de usabilidade/UX, as questões de usabilidade/UX levantadas às heurísticas existentes na lista única elaborada no passo 4. Diversos pesquisadores utilizaram a comparação das informações extraídas nas pesquisas sobre o domínio específico estudado, listadas, contra uma lista de heurísticas de domínio específico, ou geral, como as propostas por Nielsen (1994) para identificar as modificações necessárias nas heurísticas existentes e/ou adição de novas heurísticas (RUSU et al., 2010; PAZ et al., 2014; INOSTROZA et al., 2012a; MUÑOS et al., 2011; QUINONES, 2018, 2019.). Eles perceberam que esta era uma abordagem inteligente e ágil para transformar os dados reunidos em heurísticas que contemplem estes dados de forma funcional. Com o cruzamento das informações, identificamos quais heurísticas existentes

podem ser adaptadas ou mantidas, quais devem ser excluídas, e em quais casos heurísticas novas devem ser criadas, a partir dos dados fornecidos pelos passos 3 e 4. Ao fim deste passos obtém-se as saídas de informações (15) heurísticas propostas, e se a lista for grande ou caso necessário (16) categorias. A criação de categorias é opcional, ficando a critério do pesquisador. Este passo finaliza o cruzamento das informações realizado no passo 5, transformando os dados em uma nova lista de heurísticas.

O passo 6 foi chamado de “especificação das heurísticas”. É constituído de duas etapas: 1 - especificação das heurísticas em um template; e 2 - especificação de um checklist para utilização das heurísticas. Para iniciar este passo é necessário as informações obtidas em (15) – obrigatório e (16) – opcional.

Neste passo, utiliza-se a proposta de Quinones et al. (2017) e de Jimenez et al. (2017) de especificar as heurísticas dentro de um template detalhado, fornecendo todas as características necessárias para o entendimento de cada heurística. Utiliza-se o template proposto por esta tese. Para Quinones e Rusu (2017), após revisarem 73 estudos, concluíram que especificar o novo conjunto de heurísticas seguindo um modelo de template padrão com o fim de obter um conjunto de heurísticas bem definidas e fáceis de ser compreendidas é fundamental, e por isto foi mantida esta etapa.

Na segunda etapa do passo 6, ocorre a criação de um checklist para melhorar a interpretação e a aplicação das heurísticas criadas. Adota-se este passo nesta metodologia devido a problemas encontrados com as heurísticas para RV semi-imersiva encontradas.

Ao fim do passo 6, terminamos com as saídas de informações: (17) conjunto de heurísticas especificadas e (18) checklist das heurísticas.

O passo 7 é o passo de “validação das heurísticas”. Para Hermawati e Lawson (2015, p. 16): “O estabelecimento de heurísticas para domínios específicos não deve parar uma vez que as heurísticas são propostas”. Os mesmos autores afirmam que é necessário uma robusta e rigorosa avaliação das heurísticas, de preferência contra outras heurísticas.

Para iniciar a validação são necessárias as saídas de informações (17) e (18). Para a validação, tem-se três etapas, em que permaneceu a proposta de Quinones et al. (2018) de não ser obrigatório a realização de todas as três etapas, podendo utilizar apenas uma, porém havendo estas três possibilidades de validação. As etapas são: avaliação por especialistas (QUINONES et al., 2018); validação por avaliação heurística (JIMENEZ et al., 2017; QUINONES, 2018; RUSU et al., 2011) e validação por testes com usuário (JIMENEZ, 2017; QUINONES, 2018).

A avaliação por especialistas é o método em que especialistas emitem suas opiniões sobre as heurísticas novas, baseando-se em suas experiências e conhecimentos (QUINONES et

al., 2018, 2019). Este método de validação fornece importantes informações para o refinamento das heurísticas. De acordo com Quinones et al. (2018) e Hermawati e Lawson (2015), os especialistas possuem um “olhar treinado” para detectar problemas de usabilidades/UX e falhas nas heurísticas que passam despercebidos pelos usuários comuns. Sendo assim, foi importante manter esta etapa.

Na avaliação heurística, uma aplicação do domínio específico em que as heurísticas novas foram desenvolvidas é inspecionada por dois grupos de especialistas. Um utilizando as heurísticas novas, e outro utilizando heurísticas de controle. As heurísticas de controle podem ser heurísticas específicas já existentes para avaliar o domínio em questão, ou de domínio geral como as de Nielsen (JIMENEZ et al., 2017; QUINONES et al., 2018). Nesta etapa de validação se pode avaliar se as novas heurísticas são fáceis de interpretar, se são efetivas na busca por erros e problemas de usabilidade/UX e se tem um desempenho melhor que heurísticas já existentes (QUINONES; RUSU, 2017; QUINONES et al., 2018; JIMENEZ, 2017).

De acordo com Hermawati e Lawson (2015), medidas padrões devem ser adotadas para indicar a eficácia das heurísticas. Nesta etapa, utilizamos os critérios de qualidade propostos, tanto por Quinones et al. (2019) quanto por Jimenez et al. (2017): quantidade dos erros gerais; quantidade de erros específicos encontrados; quantidade de erros classificados como mais severos; quantidade de erros classificados como mais graves (QUINONES et al., 2019; JIMENEZ et al., 2017).

A quantidade de erros gerais encontrados é o total de erros de qualquer tipo encontrados pelo avaliador. A quantidade de erros específicos são os erros classificados pelos avaliadores como de domínio específico, ou seja, que são característicos da aplicação específica analisada. Os erros considerados severos são os erros que, na visão dos avaliadores, comprometem a experiência do usuário de forma crítica. E os erros considerados graves são os erros severos que se repetem.

A validação por avaliação heurística proposta por Quinones et al. (2018) e Jimenez et al. (2017) possui os seguintes passos:

1. Seleção dos aplicativos (ou o aplicativo) para avaliar;
2. Seleção do conjunto de heurísticas de controle;
3. Seleção dos avaliadores para uma avaliação heurística;
4. Avaliação da eficácia das heurísticas.

Para o item 1 - Seleção dos aplicativos (ou o aplicativo) para avaliar, deve-se escolher o aplicativo que deverá ser avaliado, e este deve possuir as características do domínio específico estudado.

Para o item 2 - Seleção do conjunto de heurísticas de controle, deve-se avaliar qual a melhor lista de heurísticas existente, caso exista, para realizar a comparação com as heurísticas experimentais criadas. Neste caso, deve-se comparar as listas de heurísticas, com suas qualidades e defeitos, para saber qual a que melhor se enquadra no teste. Dependendo do caso, pode-se realizar mais de um teste, comparando as heurísticas experimentais com mais de uma lista de heurísticas de controle. Caso não existam heurísticas para o domínio específico estudado, nem similares, pode-se utilizar as heurísticas de Nielsen como heurísticas de controle (QUINONES et al. 2018, 2019).

Para o item 3 - Seleção dos avaliadores para uma avaliação heurística, deve-se avaliar qual o perfil ideal dos avaliadores para o teste e a quantidade necessária destes. Para a quantidade de avaliadores para cada grupo, segundo Oliveira (2017):

Nielsen (1994) considera que a quantidade de avaliadores necessários para avaliação heurística varia de acordo com o tipo de interface a ser avaliado, porém, a partir de 5 avaliadores 70% dos problemas já são encontrados. Para Preece, Rogers e Sharp (2005), por ser uma técnica que retorna dados qualitativos, para a avaliação heurística não é necessário um grande número de especialistas para sua realização.

Para Sauro e Lewis (2012), há uma errônea percepção de que para se utilizar dados estatísticos e interpretar dados quantitativos com número de amostras muito grandes, tipicamente 30, e é possível encontrar resultados relevantes com uma amostra menor que 10. (OLIVEIRA, 2017)

Após definir o perfil dos avaliadores e a quantidade destes, se pode dar prosseguimento na avaliação heurística.

Na terceira possibilidade de validação, a etapa de validação por testes com usuários, se pode mensurar a percepção dos usuários com relação aos erros e problemas de usabilidade/UX encontrados na aplicação e domínio específico estudada, e relacioná-los às novas heurísticas. Para Hermawati e Lawson (2015), os usuários finais de uma determinada aplicação podem encontrar problemas de usabilidade/UX “reais” ou problemas que tenham passado despercebido pelos especialistas. Por isso manteve-se esta etapa.

Ao fim deste passo, temos a saída de informação (19): resultados da avaliação heurística - eficácia das heurísticas.

O último passo do método proposto é o “refinamento”. Este passo, formado por apenas uma etapa, busca refinar as heurísticas com base nas informações obtidas no passo de validação (JIMENEZ et al., 2017, QUINONES et al., 2018, 2019). Dependendo da necessidade, os passos podem ser repetidos ao todo ou em partes para melhorar a qualidade das heurísticas (QUINONES et al., 2018). Segundo Quinones et al. (2018), Jimenez et al. (2017), Quinones e Rusu (2017), Hermawati e Lawson (2015) e Rusu (2011), o refinamento é importante para

ajustar as heurísticas a partir das informações obtidas na etapa de validação. Sendo assim, manteve-se esta etapa. Ao fim do refinamento, tem-se a informação: (20) heurísticas finais.

Resumo das saídas de informações durante o processo de criação de heurísticas:

- (1) Informações sobre o aplicativo (definições e recursos);
- (2) Recursos específicos adicionais do aplicativo;
- (3) Conjuntos de heurísticas e/ou outros elementos relevantes;
- (4) Atributos de usabilidade e UX;
- (5) Problemas com heurísticas existentes (se houver);
- (6) Orientações e recomendações de usabilidade/UX;
- (7) Problemas de usabilidade/UX detectados;
- (8) Informações selecionadas sobre o aplicativo;
- (9) Recursos selecionados do domínio de aplicativo específico;
- (10) Atributos de usabilidade/UX selecionados;
- (11) Recomendações de usabilidade/UX selecionadas;
- (12) Problemas de usabilidade/UX importantes relatados;
- (13) Problemas importantes com heurísticas (se houver);
- (14) Conjunto de heurísticas selecionadas;
- (15) Heurísticas propostas;
- (16) Categorias (opcional);
- (17) Conjunto de heurísticas especificadas;
- (18) Checklist das heurísticas;
- (19) Resultados da avaliação heurística - eficácia das heurísticas;
- (20) Heurísticas finais.

A partir do método de criação de heurísticas para RV semi-imersiva criado, tem-se a ferramenta para desenvolver estas heurísticas. Porém, seguindo a DSR, método de pesquisa que estamos utilizando, também foi necessário investigar a existência de heurísticas para este domínio em questão. Caso existissem, o problema de pesquisa estaria solucionado. A própria metodologia produzida para esta pesquisa possui uma etapa em que se deve procurar heurísticas existentes ou semelhantes. Sendo assim, pesquisou-se a existência de heurísticas para RV semi-imersiva para aplicações educacionais. Como não encontramos, passamos a pesquisar heurísticas para RV de forma geral, por serem as mais semelhantes às semi-imersiva, que é o objeto deste estudo.

5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE HEURÍSTICAS

5.1 Desenvolvimento das heurísticas

Agora inicia-se o processo de desenvolvimento das heurísticas com a utilização da metodologia proposta. Cada passo será explicado, assim como suas fases, ao mesmo tempo em que é aplicado para a geração do artefato que esta pesquisa se propõe – heurísticas para avaliação de aplicações educacionais em Realidade Virtual semi-imersiva.

5.1.1 Passos 1 e 2 - Busca de informações e orientações, recomendações e problemas de usabilidade/UX

Realizou-se os passos 1- Busca de informações e 2 - Orientações, recomendações e problemas de usabilidade/UX concomitantemente. Nestes passos com suas subetapas, ocorreu o levantamento de dados sobre o domínio da RV semi-imersiva, com seus problemas e orientações de usabilidade/UX e heurísticas existentes, com protocolos já explicados na etapa de revisão sistemática. A partir da pesquisa bibliográfica realizada, e que foi detalhada no capítulo 2 - Metodologia de pesquisa, foi feita a coleta de dados que foi utilizada para alimentar os parâmetros (1), (2), (3), (4), (5), (6) e (7) dos passos 1 e 2 do nosso método.

No passo 1 – Busca de informações – que é dividido em 3 etapas: “busca por informações específicas; “busca por heurísticas de usabilidade/UX” e “busca por atributos de usabilidade/UX”, levantou-se estes dados na pesquisa sobre usabilidade/UX e RV, na revisão sistemática sobre as aplicações educacionais de RV semi-imersiva, e na revisão sistemática sobre heurísticas para avaliar ambientes de RV.

No passo 2 – Orientações, recomendações e problemas de usabilidade/UX – composto por duas etapas: “recomendações e orientações de usabilidade/UX” e “problemas de usabilidade encontrados”, tem-se nas aplicações educacionais de RV semi-imersiva as informações que geraram as saídas (6) orientações e recomendações de usabilidade/UX e (7) problemas de usabilidade/UX detectados.

Os dados encontrados estão explicitados na tabela 6, e a tabela completa com os dados levantados está no anexo 2. Foram coletados dados como: conceito e descrições sobre realidade virtual, sobre realidade virtual semi-imersiva, sistemas de realidade virtual, dispositivos específicos da interface, imersão, presença, interação, dentre outros, que também serviram para dar embasamento a toda esta pesquisa, além de auxiliar na criação das novas heurísticas.

Sobre os atributos de usabilidade e UX que compõem o parâmetro (2), encontra-se pouco material nos artigos pesquisados sobre Realidade Virtual semi-imersiva. Com base no material encontrado, partiu-se para pesquisar outras fontes, com a técnica conhecida como bola de neve, encontrando mais dados para alimentar esta pesquisa. Os atributos de usabilidade/UX encontrados, fontes das quais foram retirados, estão explicitados também na tabela 6 apresentada abaixo, no passo 3, agrupamento e priorização de informações.

5.1.2 Passo 3 - agrupamento e priorização de informações

A partir das informações encontradas nas duas etapas anteriores, no passo 3, ocorre a organização e priorização das informações. Na priorização são atribuídos valores de 1 a 3 para as informações que são realmente importantes para a criação das novas heurísticas, de acordo com a escala mostrada abaixo:

Priorização:

1 - Pouco importante; 2 - relativamente importante; 3 - altamente importante;

As informações também são organizadas de acordo com as saídas dos passos 1 e 2 – os parâmetros (1), (2), (3), (4), (5) e (6). Todas as informações obtidas estão organizadas na tabela 6, de acordo com cada estágio no qual foram obtidas, e seus valores de priorização, assim como a referência bibliográfica de onde foram retiradas. A priorização foi realizada de acordo com a aderência às necessidades desta pesquisa.

As informações sobre o domínio do aplicativo, os conceitos e as descrições envolvendo elementos que fazem parte do domínio da RV semi-imersiva foram classificadas de acordo com o grau de importância do item descrito ou conceituado para a criação das heurísticas novas. Assim, os itens que receberam pontuação mais alta são os mais necessários para a construção das heurísticas.

Com relação aos recursos específicos ou adicionais do aplicativo, não foi necessário atribuir pontos de prioridade, pois estas informações constituíam muito mais elementos para o

entendimento de questões específicas voltadas para as aplicações de Realidade Virtual ou de Realidade Virtual semi-imersiva.

Com relação aos atributos de usabilidade/UX, receberam uma pontuação maior os conjuntos de atributos de usabilidade/UX que foram considerados mais relevantes para o domínio estudado nesta pesquisa. Sendo assim, atribui-se uma pontuação baixa para a diretiva 90/270 /CEE do Conselho da União Europeia (1990), por considerar este conjunto de atributos de usabilidade/UX obsoleto e muito focado em software de computador de uma maneira geral. Também atribui-se uma pontuação baixa ao conjunto proposto por Morville (2004), por ser genérico demais, e também não possuir aderência de aplicações de Realidade Virtual. O conjunto de atributos de usabilidade/UX proposto por Preece (1994), também recebeu uma pontuação baixa por ser muito voltado para aplicações de software de computador, específico demais, e não cobrir aspectos que possam ser adaptáveis à RV. Da mesma forma, o conjunto proposto por Shackel (1991), também recebeu pontuação baixa pelos mesmos motivos. A norma ISO/IEC 9126-4 (2004) recebeu pontuação baixa e foi desconsiderada por estar desatualizada, e de acordo com o site da ABNT (<https://www.abntcatalogo.com.br/>) ela está cancelada.

Os conjuntos de dados que receberam pontuação mais alta, e assim entraram para as contribuições desta pesquisa, foram os conjuntos de atributos de usabilidade/UX propostos por: Constantine e Lockwood (1999), Schneiderman (1992), ISO 9241-11 (2018), Jacob Nielsen (2012) e Modelo Quim (SEFFAH et al., 2006). O motivo de suas pontuações altas se dá pelo fato de serem altamente adaptáveis às aplicações de Realidade Virtual, sejam elas imersivas ou semi-imersiva. Mas, percebe-se que os conjuntos de atributos citados, possuem muitos atributos em comum ou repetidos, e, por conta disso, uma comparação entre eles foi necessária para que se pudesse eliminar os atributos redundantes ou similares. Os resultados destas comparações estão demonstrados na tabela 8, que é apresentada logo abaixo no próximo passo, o passo 4 – agrupamento e priorização das heurísticas.

Com relação às heurísticas, todos os conjuntos heurísticos levantados receberam pontuação alta e foram considerados para a pesquisa. Foram estas posteriormente comparadas e agrupadas de acordo com as heurísticas semelhantes ou similares para que pudesse gerar uma lista única.

Foram localizados poucos problemas com as heurísticas para RV estudadas. Foram mais problemas devido ao fato de alguns conjuntos de heurísticas não serem feitas para RV, como as voltadas para mundos virtuais, ou as feitas para RV serem muito focadas na RV imersiva.

Também encontramos a falta de detalhamento das heurísticas e ausência de checklist. Estes estão relatados na tabela 6.

As orientações e recomendações de usabilidade/UX foram priorizadas de acordo com a gravidade dos problemas que evitam, capacidade de intensificar o envolvimento ou o aprendizado do usuário, ou o grau de facilidade que promovem para a usabilidade/UX da aplicação de RV.

Os problemas de usabilidade/UX foram classificados de acordo com a sua importância para o funcionamento de um ambiente de Realidade Virtual, conforme as prioridades definidas por Quinones et al. (2019) e Jimenez e Figueroa (2017). Estas informações também se encontram na tabela 6.

Tabela 6 – Dados coletados segundo metodologia proposta e informações priorizadas (continua)

Informações sobre o aplicativo (definições e recursos) - parâmetro: (1)	
Informações	Prioridade
Definições e descrições de RV - HOAREAU et al. (2017), DUBOVI et al. (2017), HUANG et al. (2016), HUANG et al. (2015), CHEN et al. (2013), MARTIROSOV e KOPECEK (2017), BORBALA BERKI (2020), SUN et al. (2019), FOKIDES et al. (2019), MAKRANSKY e LILLEHOLT (2018), OGBUANYA et al. (2018), DEGGIM et al. (2017).	3
Classificação de sistemas de RV - PALLAVICINI et al. (2019), LI et al. (2012), LIANG (2019) DUBOVI et al. (2017), PELLAS (2014), VALDEZ et al. (2013), AYALA et al. (2016,) MAKRANSKY e LILLEHOLT (2018), MARTIROSOV e KOPECEK (2017).	3
Carga cognitiva - LEE e WONG (2014), SUN et al. (2019).	3
Múltiplos estímulos – estímulos multisensoriais - XIA et al. (2012), VALDEZ et al. (2013), TOPU et al. (2018).	3
Imersão - XIA et al. (2012), PALLAVICINI et al. (2019), MARTIROSOV e KOPECEK (2017), MARKOWITZ et al. (2018).	3
Mundos virtuais - TOKEL et al.(2015), MEMIKOGLU et al.(2014), MERCHANT et al.(2014)	3
Presença - MARTIROSOV e KOPECEK (2017), DUBOVI et al. (2017), TÜZÜN e ÖZDİNÇ (2016), BORBALA BERKI (2020), TOPU et al. (2018), MARKOWITZ et al. (2018), MAKRANSKY et al. (2019), SUN et al. (2019), PALLAVICINI et al.(2019).	3
Fluxo - OBERDÖRFER et al.(2019), TOPU et al. (2018).	3
Semi-imersiva RV - PALLAVICINI et al. (2019), MAKRANSKY et al. (2019), OGBUANYA et al.(2018), VALDEZ et al. (2013), HUANG et al. (2016), LEE e WONG (2014), PELLAS (2014).	3
Usabilidade - MAKRANSKY et al. (2019), FOKIDES et al. (2019).	3
Gamificação - FOKIDES et al. (2019).	3
Dispositivos não convencionais - MARTIROSOV e KOPECEK (2017), FOMINYKH et al. (2014).	3
Game engine - DEGGIM et al. (2017), AZIZ et al. (2015).	3
Construtivismo - VALDEZ et al. (2013), PENN e RAMNARAIN (2019), MAKRANSKY (2019), FOKIDES et al. (2019).	3
Definições de Simulações - MERCHANT et al.(2014), MARTIROSOV e KOPECEK (2017).	3
Fatores afetivos - TOPU et al.(2018), MAKRANSKY et al. (2019).	3
Recursos específicos adicionais do aplicativo – parâmetro (2)	
Informações	Prioridade
Programas 3D dedicados - VALDEZ et al. (2013), PELLAS (2014), IRIZARRY et al. (2013).	3
Programas profissionais de RV - OGBUANYA et al. (2018), LEE e WONG (2014).	3
Programas de RV de código aberto - DUBOVI et al. (2017).	3

Tabela 6 – Dados coletados segundo metodologia proposta e informações priorizadas (continuação)

Informações	Prioridade
Programas de RV de código aberto - DUBOVI et al. (2017).	3
Utilizou game engines - PARMAR et al. (2016), CHEN et al. (2013), ABICHANDANI et al. (2019).	3
Utilizou vrml - LIANG (2019).	1
Utilizou o Second Life - (mundo virtual) MERCHANT et al. (2012).	1
Desenvolveu um ambiente de RV do zero, incluindo a programação - Dubovi et al. (2017).	1
Sistema baseado em web - HUANG et al. (2015).	1
Utilizou rastreamento magnético para interação - PARMAR et al. (2016).	1
Fluxo e retenção de conhecimento - TOPU et al. (2018).	3
Utilizou robótica - SAADATZI et al. (2018).	3
RV, ensino e construtivismo - LIANG (2019).	3
Utilizou sistema háptico - XIA et al. (2012).	3
Conjuntos heurísticos e/ou outros elementos relevantes. – parâmetro (3)	
Informações	Prioridade
Conjunto de heurísticas de Desurvire e Kreminsk – (2018)	1
Conjunto de heurísticas de Murtza, Rabia, Monroe e Youmans (2017)	3
Conjunto de heurísticas de Muñoz e Chalegre (2012).	3
Conjunto de heurísticas de Rusu et al. (2011)	3
Conjunto de heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004).	3
Atributos de usabilidade e UX – parâmetro (4)	
Informações	Prioridade
Constantine e Lockwood (1999) Eficiência no uso; aprendizado (facilidade de aprendizado da interface); memorabilidade; Confiabilidade no uso; Satisfação do usuário.	3
Schneiderman (1992) Velocidade de performance; tempo do aprendizado; retenção através do tempo; taxa de erros; satisfação subjetiva.	3
Preece (1994), Taxa de transferência; Aprendizagem (Facilidade de Aprender a aplicação); Atitude.	1
Shackel (1991) Efetividade; aprendizado (da interface computacional); flexibilidade; atitude.	1
A norma ISO / IEC 9126-4 (2004) funcionalidade; confiabilidade; usabilidade; eficiência; manutenção; portabilidade; qualidade em uso.	1
ISO 9241-11 (1998), (2002), e (2018). eficiência, eficácia, satisfação do usuário.	3
A diretiva 90/270 /CEE do Conselho da União Europeia (1990) O software deve ser adaptado à tarefa a executar; O software deve ser de fácil utilização e eventualmente poder ser adaptado ao nível de conhecimentos e experiência do utilizador (facilidade de uso); os sistemas devem fornecer aos trabalhadores indicações sobre o seu funcionamento (feedback), Os sistemas devem apresentar a informação num formato e a um ritmo adaptados aos operadores (sobrecarga das informações e consistência nos padrões); Os princípios da ergonomia devem ser aplicados, em particular, ao tratamento da informação pelo homem.	1
Jacob Nielsen (2012) – Aprendizagem; Eficiência; Memorabilidade; Erros; Satisfação.	3
Morville (2004) Utilizável; desejável; localizável; crível; acessível; valiosos.	1
Modelo Quim - (SEFFAH et al. 2006). Eficiência; efetividade; satisfação; produtividade; aprendizado (da aplicação); segurança; confiança; acessibilidade; universalidade, utilidade	3

Tabela 6 – Dados coletados segundo metodologia proposta e informações priorizadas (continuação)

Problemas com heurísticas existentes – parâmetro (5)	
Informações	Prioridade
(H1) Movimentos corporais síncronos - (MURTZA et al., 2017). (H8) Conforto Mental - (MURTZA et al., 2017). Heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico.	
(H11) Sentido de propriedade - (MUÑOZ et al., 2011) Heurística mal explicada e, portanto, de difícil interpretação e aplicação	
(H11) – interação do mundo (RUSU et al., 2011). (H12) regras do mundo (RUSU et al., 2011). Heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico	
(H12) Senso de presença - Sentido de presença - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). (H3) Expressão natural da ação - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). Heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico	
(H4) Coordenação estreita de ação e representação - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). (H6) Pontos de vista fiéis - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). Heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico	
(H8) Limpar pontos de entrada e saída - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004). Heurística obsoleta – não serve para RV semi-imersiva (SUTCLIFFE; GAULT, 2004).	
(H11) retorno claro - (SUTCLIFFE; GAULT, 2004) - Heurística obsoleta Heurística obsoleta	
(H1) Movimentos corporais síncronos - (MURTZA et al., 2017). (H8) Conforto Mental - (MURTZA et al., 2017). Heurísticas extremamente semelhantes em sua descrição e função dentro do mesmo conjunto heurístico.	
Problemas de usabilidade detectados e orientações de usabilidade - Parâmetros (6) e (7)	
Informações	Prioridade
Navegação - MEMIKOĞLU et al. (2014), TÜZÜN e ÖZDİNÇ (2016), BORBALA BERKI (2020), CHEN et al. (2015), IBRAHIM; ALI (2018).	3
Problemas com hardware - LUURSEMA et al. (2017), TOPU et al. (2018), MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), LIANG (2019).	3
Familiaridade com o sistema - MAKRANSKY et al. (2019), BORBÁLA BERKI (2020), CHEN et al. (2015).	1
Problemas técnicos do sistema - MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), TOPU et al. (2018). Facilidade de uso - FOKIDES et al. (2018), CHEN et al. (2013).	3
Presença - TÜZÜN e ÖZDİNÇ, (2016), MAKRANSKY et al. (2019), BORBALA BERKI (2020), FOKIDES et al. (2018), CHEN et al. (2013), MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018).	3
Habilidade espacial - SUN et al. (2019).	1
Redução da Carga cognitiva - LEE ; WONG (2014), CHEN et al. (2015), SUN et al. (2019), TOPU et al. (2018)	3
Fatores cognitivos - conteúdo sequenciado TOPU et al. (2018).	3
Fatores cognitivos - Pensamento reflexivo - IBRAHIM; ALI (2018), FOKIDES et al. (2018), MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), ABICHANDANI et al. (2019).	3
Fatores afetivos - Motivação intrínseca - MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), FOKIDES et al. (2018), CHEN et al. (2013).	3
Fatores cognitivos - Aprendizagem percebida - MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), FOKIDES et al. (2018), CHEN et al. (2013).	3
Fidelidade representacional - CHEN et al. (2013), HARRINGTON (2012), VALDEZ et al. (2013), HERNÁNDEZ et al. (2016), BORBÁLA BERKI (2020), CHEN et al. (2013), LEE et al. (2010), TOPU et al. (2018), IBRAHIM; ALI (2018).	3
Fluxo – MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), OBERDÖRFER et al. (2019), PALLAVICINI et al. (2019).	3
Imersão - PALLAVICINI et al. (2019), CHEN et al. (2013).	3
Interação - PALLAVICINI et al. (2019), TOPU et al. (2018).	3

Tabela 6 – Dados coletados segundo metodologia proposta e informações priorizadas (conclusão)

Informações	Prioridade
Interação - PALLAVICINI et al. (2019), TOPU et al. (2018).	3
Feedback do aprendizado - MERCHANT et al. (2014), MAKRANSKY et al. (2019), CHEN et al. (2013).	3
Feedback do sistema para as ações do usuário - CHAMBERS et al. (2012), OBERDÖRFER et al. (2019), ABICHANDANI et al. (2019), MAKRANSKY et al. (2019), CHEN et al. (2015).	3
Rastreo da posição da cabeça – MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018).	3
Controle do usuário - DUBOVI et al. (2017), MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), CHEN et al. (2015), IBRAHIM; ALI (2018), MAKRANSKY et al. (2019), LEE et al. (2010), PLASS e KAPLAN (2016).	3
Intenções de uso do sistema - MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), CHEN et al. (2013).	1
Atratividade do sistema - CHEN et al. (2015).	1
Autoeficácia - MAKRANSKY et al. (2019), FOKIDES et al. (2018).	3
Fatores afetivos – Prazer - PALLAVICINI et al. (2019), FOKIDES et al. (2019), MAKRANSKY; LILLEHOLT (2018), FOKIDES et al. (2018), CHEN et al. (2013), MAKRANSKY et al. (2019).	3
Utilidade percebida - CHEN et al. (2013).	1
Engajamento - TOPU et al. (2018).	3
Consistência e persistência dos padrões - CHEN et al. (2015).	3
Ajuda e documentação - TOPU et al. (2018).	3
Otimização - DEGGIM et al. (2017), LIANG (2019).	3
Estereoscopia - PARMAR et al. (2016).	2
Tempo de carregamento - CHEN et al. (2015).	1
Estímulo multissensorial - NIEMELÄ et al. (2016).	3
Segurança - CHEN et al. (2015).	1
Simplicidade - CHEN et al. (2015).	3
Comportamento do tempo - CHEN et al. (2015).	1
Utilização de recursos - CHEN et al. (2015).	1
Flexibilidade - CHEN et al. (2015).	3
Ação mínima - CHEN et al. (2015).	1
Operabilidade - CHEN et al. (2015).	1
Autodescrição - CHEN et al. (2015).	1
Precisão - CHEN et al. (2015).	3
Integridade - CHEN et al. (2015).	1
Tolerância a erros - CHEN et al. (2015).	3
Privacidade - CHEN et al. (2015).	1
Sistema háptico - BARRETT et al. (2015).	1
Legibilidade de informações - IBRAHIM; ALI (2018), CHEN et al.(2015).	3
Clareza - PELLAS (2014), BORBÁLA BERKI (2020).	3
Gamificação - MERCHANT et al. (2014), PALLAVICINI et al. (2019).	3
Pistas visuais - “cues” - VALDEZ et al. (2013), DODD; ANTONENKO (2012).	3

Fonte: O autor, 2021.

Como resultado desta etapa, tem-se a informação (8) Informações selecionadas sobre o aplicativo, saída (9) Recursos selecionados do domínio de aplicativo específico, (10) Atributos de usabilidade/UX selecionados, informação (11) Recomendações de usabilidade/UX selecionadas, (12) Problemas de usabilidade/UX importantes relatados, e (13) Problemas importantes com heurísticas (poucos). Estas saídas de informações são necessárias para o próximo passo.

5.1.3 Passo 4 - agrupamento e priorização das heurísticas

5.1.3.1 Etapa 1 - Agrupamento de heurísticas similares e etapa 2 - Priorização das heurísticas

Na etapa 1, eliminou-se as informações redundantes e agrupou-se as similares, comparando os diferentes conjuntos de heurísticas e conjuntos de atributos de usabilidade/UX entre si, obtendo uma lista única de heurísticas encontradas e de atributos de usabilidade/UX (QUINONES et al., 2018; JIMENEZ et al., 2017). Estas comparações são detalhadas abaixo.

Primeiro, compara-se os conjuntos de heurísticas e as heurísticas para avaliar ambientes de RV e ambientes virtuais encontradas na literatura. Esta etapa foi realizada com o intuito de formar uma lista única de heurísticas, eliminando as semelhantes e as redundantes.

O pesquisador desta tese também atribuiu valores para as heurísticas que foram encontradas a partir das comparações, segundo as orientações de Quinones et al. (2018). De acordo com a metodologia proposta por Quinones, pode-se atribuir valores tanto aos conjuntos heurísticos encontrados como também para as heurísticas separadamente, de acordo com as necessidades do domínio estudado. Assim, foram atribuídos valores baixos para heurísticas que foram consideradas muito voltadas para mundos virtuais, ou por serem obsoletas, mal elaboradas ou mal explicadas. As outras receberam a pontuação mais alta e foram consideradas extremamente relevantes para este trabalho. As únicas heurísticas que receberam pontuação média - 2 - foram: Personalização do avatar, Compatibilidade com a tarefa, o Domínio do usuário e Conforto do Headset. São heurísticas que não foram consideradas necessariamente apenas voltadas para aplicações com mundos virtuais, porém não foram consideradas de extrema importância para aplicações de Realidade Virtual semi-imersiva. Os resultados das comparações entre estas heurísticas e as pontuações atribuídas podem ser conferidos na tabela 7 logo abaixo:

Tabela 7 – Comparação entre heurísticas existentes. (continua)

	Muñoz, Thiago Barcelos, Virgínia Chalegre, 2011)	(Rusu et al., 2011)	(Gault and Sutcliffe, 2004) Todas estas são muito antigas – caso não existam equivalentes, podem ser atualizadas.	(Murtza et al.2017).	Lista de Heurísticas final	Valor atribuído
1	(H1) Feedback: Um VW deve sempre manter o usuário –	(H1) Feedback	(H5) Realistic feedback - Feedback realista	–	Feedback	3

Tabela 7 – Comparação entre heurísticas existentes. (continua)

	Muñoz, Thiago Barcelos, Virgínia Chalegre, 2011)	(Rusu et al., 2011)	(Gault and Sutcliffe, 2004) Todas estas são muito antigas – caso não existam equivalentes, podem ser atualizadas.	(Murtza et al.2017).	Lista de Heurísticas final	Valor atribuído
2	(H2) Clareza –	(H2) Clarity – clareza	–	–	Clareza	3
3	(H3) Consistency – Consistência	(H4) Consistency – Consistência	(H9) Consistent departures - Partidas consistentes	–	Consistência	3
4	(H4) Simplicity – Simplicidade	(H3) Simplicity – Simplicidade	–	(H9). - Design da interface do usuário.	Simplicidade	3
5	(H5) Orientação e navegação –	(H10) Orientation and navigation – orientação e navegação	(H7) Navigation and orientation support - Suporte de navegação e orientação	–	Orientação e navegação	3
6	(H6) Controlar câmera e visualização –	(H7) Camera control – controle de câmera	–	–	Controle da câmera	1
7	(H7) Baixa carga de memória –	(H5) Low memory load – baixa carga de memória	–	–	Baixa carga de memória	3
8	(H8) Personalização do avatar –	(H9) Avatar's customization – customização de avatar	–	–	Personalização do avatar	2
9	(H9) Flexibilidade e eficiência de uso –	(H6) Flexibility and efficiency of use – flexibilidade e eficiência de uso	–	–	Flexibilidade e eficiência de uso	3
10	(H10) Comunicação entre avatares	(H13) Communication between avatars – comunicação entre avatares	–	–	Comunicação entre avatares	1
11	(H11) Sentido de propriedade	–	–	–	Sentido de propriedade	1
12	(H12) Interação com o mundo virtual	(H11) – interação do mundo (H12) regras do mundo Heurísticas semelhantes	–	–	Interação com o mundo virtual	3
13	(H13) Apoio à aprendizagem	–	(H10) Support for learning - Suporte para aprendizado dos VEs. Atende parcialmente.	–	Apoio à aprendizagem	3

Tabela 7 – Comparação entre heurísticas existentes. (continua)

	Muñoz, Thiago Barcelos, Virgínia Chalegre, 2011)	(Rusu et al., 2011)	(Gault and Sutcliffe, 2004) Todas estas são muito antigas – caso não existam equivalentes, podem ser atualizadas.	(Murtza et al.2017).	Lista de Heurísticas final	Valor atribuído
14	(H14) Prevenção de erros	(H14) Error prevention – prevenção de erros	–	–	Prevenção de erros	3
15	(H15) Ajuda os usuários a se recuperarem de erros	(H15) Recovering from erros – recuperação de erros	–	–	Recuperação de erros	3
16	(H16) Ajuda e documentação	(H16) Help and documentation – ajuda e documentação	–	–	Ajuda e documentação	3
17	–	(H8) Visualization – visualização	–	–	Visualization	1
	–	–	(H1) Natural engagement –		Engajamento natural	3
18	–	–	(H12) Sense of presence - Sentido de presença. (H3) Natural expression of action - Expressão natural da ação. Heurísticas extremamente semelhantes.	(H3) Immersion – imersão	Presença e imersão	3
19	–	–	(H2) Compatibility with the user’s task and domain – Compatibilidade com a tarefa e o domínio do usuário	–	Compatibilidade de com a tarefa e o domínio do usuário	2
20	–	–	(H4) Close coordination of action and representation - Coordenação estreita de ação e representação. (H6) Faithful viewpoints - Pontos de vista fiéis. Heurísticas extremamente semelhantes.	(H1) Synchronous Body Movements - Movimentos corporais síncronos. (H8) Mental Comfort - Conforto Mental	Ações e reações sincronizadas (entre as entradas do usuário e respostas do sistema)	3

Tabela 7 – Comparação entre heurísticas existentes. (conclusão)

	Muñoz, Thiago Barcelos, Virgínia Chalegre, 2011)	(Rusu et al., 2011)	(Gault and Sutcliffe, 2004) Todas estas são muito antigas – caso não existam equivalentes, podem ser atualizadas.	(Murtza et al.2017).	Lista de Heurísticas final	Valor atribuído
21	–	–	–	(H2) Physical Space Constraints - Restrições do espaço físico	Restrições do espaço físico	1
22	–	–	–	(H4) Glitchiness (Prevenção de falhas do sistema)	Prevenção de falhas do sistema	3
23	–	–	–	(H5) Alterne entre o mundo real e o virtual.	Alternância entre o real e o virtual	3
24	–	–	–	(H6) Cord Design - Design do cabeamento	Design do cabeamento	1
25	–	–	–	(H7) Conforto do Headset	Conforto do Headset	2
26	–	–	(H8) Clear entry and exit points - Limpar pontos de entrada e saída	–	Limpar pontos de entrada e saída	1
27			(H11) Clear turn-taking - Turning claro		Turning claro	1

Fonte: O autor, 2021.

Após esta etapa, realizamos a comparação entre os atributos de usabilidade/UX para RV propostas pelos diferentes autores estudados. O foco também foi criar uma lista única de atributos, comparando os conjuntos, e eliminando os redundantes, e agrupando os similares e semelhantes. Esta etapa é importante dentro do estágio correlacional, pois é necessário ter uma lista clara e organizada dos atributos de usabilidade/ UX existentes para que se possa fazer o cruzamento dos dados dos parâmetros encontrados com as heurísticas de forma efetiva (QUINONES et al. 2018). A comparação realizada é exposta abaixo na tabela 8:

Tabela 8 – Comparação dos atributos de usabilidade/UX estudados separadamente.

Modelo Quim - (Seffah et al.2006),	Jacob Nielsen (2012)	ISO 9241-11 (1998) e (2002), e (2018).	Schneiderman (1992)	Constantine e Lockwood (1999)	Lista final de princípios	Importância
Eficiência	Eficiência;	Eficiência,	-	Eficiência no uso;	Eficiência	3
aprendizado (da aplicação);	Aprendizagem;	-	Tempo do aprendizado;	Aprendizado (facilidade de aprendizado da interface);	Aprendizado (facilidade de aprendizado da interface);	3
Satisfação;	Satisfação.	Satisfação do usuário.	Satisfação subjetiva.	Satisfação do usuário.	Satisfação	3
-	Erros;	-	Taxa de erros;	-	Erros	3
-	-	Eficácia,	-	-	Eficácia	3
Efetividade;	-	-	-	-	Efetividade	3
Segurança;	-	-	-	-	Segurança	1
Confiança;	-	-	-	Confiabilidade no uso;	Confiança	1
Acessibilidade;	-	-	-	-	Acessibilidade	1
Universalidade,	-	-	-	-	Universalidade	1
Utilidade	-	-	-	-	Utilidade	3
-	Memorabilidade	-	-	Lembrabilidade	Memorabilidade	3
-	-	-	Velocidade de performance;	-	Velocidade de performance	3
Produtividade;	-	-	-	-	Produtividade	1
-	-	-	Retenção através do tempo;	-	Retenção através do tempo	3

Fonte: O autor, 2021.

Ao comparar e analisar os conjuntos de atributos de usabilidade/UX a partir dos autores relacionados, termina-se com a seguinte lista de atributos que foram aplicados nesta pesquisa: Eficiência, aprendizado (facilidade de aprendizado da interface), satisfação, erros, eficácia, efetividade, utilidade, memorabilidade, velocidade de performance e retenção através do tempo.

Ao final desta etapa, obteve-se a saída (10) - Atributos de usabilidade/UX selecionados e a (14) – Conjunto de heurísticas selecionadas e uma lista única de atributos de usabilidade/UX para o próximo passo. Junto com as saídas obtidas no passo anterior (11), (12) e (13), tem-se as informações necessárias para passar para o próximo passo.

5.1.4 Passo 5 – Seleção, adaptação e criação das heurísticas

Após as informações terem sido selecionadas, organizadas e priorizadas, elas precisam ser cruzadas de acordo com as orientações propostas pela metodologia que está sendo aplicada. Para iniciar esse estágio, é necessário ter as informações obtidas em (9) – Recursos selecionados do domínio de aplicativo específico, as informações obtidas em (10) – Atributos de usabilidade/UX selecionados, as informações obtidas em (11) – recomendações de usabilidade/UX selecionadas, (12) – Problemas de usabilidade/UX importantes relatados, (13) - Problemas importantes com heurísticas (se houver) e (14) – Conjunto de heurísticas selecionadas e conjuntos de heurística problemas de usabilidade/UX selecionados.

O cruzamento de dados é realizado para saber quais heurísticas cobrem os aspectos em questão inteiramente, parcialmente, ou quais aspectos não são cobertos por heurística nenhuma e quais heurísticas não cobrem nada e, portanto, devem ser descartadas.

Após o refinamento das listas de atributos de usabilidade/UX e heurísticas, realizou-se o cruzamento entre os dados encontrados nos parâmetros (8), (9), (10), (11), (12) e (13). Os dados que mais contribuíram para esta fase foram os problemas de usabilidade/UX encontrados – as informações obtidas em (11) – Recomendações e orientações de usabilidade/UX e – as informações obtidas em (12) – Problemas de usabilidade/UX importantes relatados.

A comparação é realizada da seguinte forma: enumera-se os problemas de usabilidade/UX e questões relatadas, associados aos atributos de usabilidade/UX encontrados com os recursos adicionais do aplicativo listados, e verifica-se as heurísticas encontradas atendem a determinado item da lista com o qual se relacionam, ou se atendem parcialmente, ou se não há uma heurística existente que atenda determinado item, e, assim, esta deverá ser criada. As heurísticas encontradas que não atendem a nenhum item da lista devem ser descartadas.

Para saber se a heurística cobria ou não o aspecto levantado, foram analisados os dados referentes ao aspecto em questão, analisados nesta pesquisa, e os dados da heurística que pode potencialmente atender a este determinado aspecto. Assim, analisou-se a descrição da heurística, e as explicações e descrições sobre ela, fornecidas por seus autores, além de qualquer dado extra fornecido pelo autor que desenvolveu a heurística em questão.

Os resultados desse cruzamento de dados podem ser conferidos na tabela 9 que se encontra abaixo.

Tabela 9 – Comparação entre os aspectos do aplicativo a serem cobertos, os atributos de usabilidade/UX e heurísticas existentes. (continua)

Aspecto do aplicativo a ser coberto	Atributo de usabilidade/UX	Heurística existente	Como a heurística se enquadra	Ação	Aplicabilidade	Conjunto de heurísticas derivado
Navegação	Eficiência, eficácia	Orientação e navegação	Atende parcialmente	Adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011), Gault e Sutcliffe (2004)
Problemas com hardware	Eficiência, eficácia	-	Não existe	Criar	(3) Crítica	-
Problemas técnicos do sistema	Eficiência, eficácia	Prevenção de falhas do sistema	Atende plenamente	Manter	(3) Crítica	(Murtza et al.2017).
Facilidade de uso	Eficácia, utilidade	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Presença	Retenção através do tempo.	Presença	Atende parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Gault e Sutcliffe (2004)
Redução da Carga cognitiva		Baixa carga de memória	Atende parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011),
Conteúdo sequenciado		-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Pensamento reflexivo		-	Não existe	criar	(2) medianamente crítica	-
Motivação intrínseca	Satisfação	-	Não existe	criar	(2) medianamente crítica	-
Aprendizagem percebida	Retenção através do tempo.	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Fidelidade representacional		-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Fluxo	Retenção através do tempo, Satisfação	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Imersão	Retenção através do tempo.	Imersão	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Murtza et al.(2017).
Interação		Interação com o mundo virtual	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011),
Feedback do aprendizado		Apoio à aprendizagem	Adequa-se parcialmente	adaptar	(2) medianamente crítica	Muñoz, et al.(2011), Gault e Sutcliffe (2004)

Tabela 9 – Comparação entre os aspectos do aplicativo a serem cobertos, os atributos de usabilidade/UX e heurísticas existentes. (continuação)

Aspecto do aplicativo a ser coberto	Atributo de usabilidade/UX	Heurística existente	Como a heurística se enquadra	Ação	Aplicabilidade	Conjunto de heurísticas derivado
Feedback do sistema para as ações do usuário	Aprendizado (facilidade de aprendizado da interface)	Feedback	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011), Gault e Sutcliffe (2004)
Rastreo da posição da cabeça	Eficácia	-	Não existe	criar	(2) medianamente crítica	-
Controle do usuário	Eficácia	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Autoeficácia	Eficácia	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Prazer	Retenção através do Tempo, Satisfação	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Engajamento	Retenção através do tempo.	Engajamento natural	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Gault e Sutcliffe (2004)
Consistência e persistência dos padrões	Memorabilidade	Consistência	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011), Gault e Sutcliffe (2004)
Ajuda e documentação		Ajuda e documentação	Adequa-se plenamente	manter	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011),
Otimização	Velocidade de performance, Eficiência	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Estereoscopia		-	Não existe	criar	(2) medianamente crítica	-
Estímulo multissensorial		-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Flexibilidade		Flexibilidade e eficiência de uso	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011),
Simplicidade		Simplicidade	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011), (Murtza et al.2017).

Tabela 9 – Comparação entre os aspectos do aplicativo a serem cobertos, os atributos de usabilidade/UX e heurísticas existentes. (conclusão)

Aspecto do aplicativo a ser coberto	Atributo de usabilidade/UX	Heurística existente	Como a heurística se enquadra	Ação	Aplicabilidade	Conjunto de heurísticas derivado
Precisão	Velocidade de performance	Ações e reações sincronizadas	Adequa-se plenamente	manter	(3) Crítica	Gault e Sutcliffe (2004), Murtza et al.(2017).
Tolerância a erros	Erros	Prevenção de erros, e Recuperação de erros	Adequa-se parcialmente - 2 aspectos foram encontrados, portanto, quebrar a heurística em duas	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al.(2011), Rusu et al. (2011),
Legibilidade de informações	Eficiência	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Clareza	Eficiência, eficácia	Clareza	Adequa-se parcialmente	adaptar	(3) Crítica	Muñoz, et al (2011), Rusu et al. (2011),
Gamificação	Retenção através do tempo, Satisfação	-	Não existe	criar	(3) Crítica	-
Pistas visuais - “cues”		-	Não existe	criar	(3) Crítica	-

Fonte: O autor, 2021.

Obteve-se 12 aspectos cobertos parcialmente por heurísticas existentes, 3 aspectos cobertos plenamente e 18 aspectos que não foram cobertos por nenhuma heurística. Sendo assim, há necessidade de criação de heurísticas novas.

Ao fim desta etapa, tem-se as informações obtidas em (15) – heurísticas propostas e, no caso desta pesquisa, as informações obtidas em (16) – que são as categorias. Propôs-se categorias devido ao grande número de heurísticas e como uma forma de organizá-las melhor. Decidiu-se, então, agrupá-las de acordo com “temas” semelhantes. Assim, 5 categorias foram elaboradas: fatores gerais, fatores técnicos, fatores cognitivos, fatores afetivos e fatores visuais. Separou-se, por fim, as heurísticas em categorias para facilitar o entendimento.

5.1.5 Passo 6 - Especificação das heurísticas

Com a etapa anterior concluída, e agora sabendo quais heurísticas foram adaptadas, quais foram mantidas, quais foram criadas e em quais categorias todas elas foram divididas, chegou-se à etapa de especificação. Nesta etapa, todas as heurísticas devem ser descritas e especificadas dentro de um template. Neste caso, utiliza-se o template proposto por esta tese que se encontra no anexo 3.

Apesar das heurísticas terem sido criadas na etapa anterior, é nesta etapa que elas ganham uma “face”, em que estão reunidas as informações sobre elas, e estas são organizadas de forma que possam ser utilizadas em avaliações heurísticas. O template proposto possui nome, código da heurística, descrição, prioridade, uma explicação detalhada sobre a heurística e o checklist para cada heurística desenvolvida. Abaixo, há uma tabela (Tabela 10) resumida das heurísticas criadas e especificadas com o seu nome, descrição e categorias. No anexo 3, encontram-se as tabelas de especificação mais detalhadas, com mais dados sobre as heurísticas.

Nesta etapa, também desenvolveu-se um checklist para utilização das heurísticas. O checklist consta no mesmo template de informações sobre cada heurística.

Obteve-se ao todo uma lista de 35 heurísticas, divididas em cinco categorias, que avaliam aspectos, tanto gerais quanto específicos, passando inclusive por aspectos educacionais de sistemas de Realidade Virtual semi-imersiva. Estas heurísticas foram cuidadosamente criadas, levando-se em conta as questões e problemas de usabilidade/UX levantados, assim como as outras informações obtidas na extensa pesquisa bibliográfica realizada para esta pesquisa entre aplicações de Realidade Virtual semi-imersiva voltadas para educação, heurísticas para Realidade Virtual existentes e outros dados relevantes que foram surgindo em artigos complementares encontrados nas referências bibliográficas dos artigos estudados. Todas as informações foram cruzadas, priorizadas e analisadas, quanto à sua adequação para a criação das heurísticas novas.

Após conversas com especialistas e pares, estes recomendaram a reduzir esta lista, pois encontrava-se muito grande e de difícil aplicação. Por conta disso, realizou-se um trabalho de análise das heurísticas baseado nos conselhos e opiniões destes especialistas e pares,

percebendo que algumas heurísticas poderiam ser fundidas, outras anexadas por outras heurísticas, resultando em uma lista mais enxuta. Por fim, chegou-se a 24 heurísticas. A seguir, a lista resumida das heurísticas e o template completo encontra-se no anexo 3.

Tabela 10 - Tabela de heurísticas criadas e especificadas. (continua)

Id	Nome/categoria	Descrição
Fatores gerais		
H-1	Facilidade de uso	O sistema de RV deve ser fácil de utilizar, fácil de aprender, fácil de entender suas normas e regras, aumentando assim a autoeficácia e a autossuficiência do usuário. Autoeficácia refere-se à percepção de que o usuário possui de que pode se autogerir em sua experiência, completando tarefas, aprendizados e desafios sem a necessidade de ajuda externa.
H-2	Navegação	O sistema de RV deve fornecer ferramentas e recursos para que o usuário possa se localizar dentro dele, saber sua posição atual e possa encontrar caminhos, ou retornar a lugares onde já esteve.
H-3	Controle do usuário	O sistema deve oferecer o máximo possível elementos para que o usuário controle o sistema. Através de comandos, realizados por periféricos como controles (como joystics), teclas do teclado, ou através do corpo do próprio usuário (rastreamento das mãos, por exemplo). O usuário deve poder se locomover, manipular elementos, saltar, modificar o cenário, interagir com objetos e outros usuários. O usuário precisa sentir que controla o ambiente, e esse controle deve ocorrer o mais natural possível, e da forma mais rápida (imediate) possível. A falta de controle do ambiente por parte do usuário resulta em uma experiência pobre e compromete a presença e a imersão.
Fatores técnicos		
H-4	Erros do sistema	O sistema de RV deve promover uma experiência o máximo possível livre de falhas de sistema (software) como travamentos, atrasos, lentidão e movimentos estranhos, ou elementos comportando-se de maneira diversa. E também livre de problemas de hardware. Toda a parte de hardware deve estar pronta para rodar a aplicação de RV antes do usuário iniciar sua experiência. Computadores que não rodam, ou não rodam corretamente a aplicação, rodando de forma lenta, por exemplo, irão implicar em uma experiência pobre e usabilidade ruim. Comprometendo, assim, a sensação de presença e a imersão. Estes fatores contribuem para uma sensação de imersão e presença maiores.
H-5	Minimizar a Alternância entre o real e o virtual –	O sistema deve ser capaz de ser autossuficiente para todos os usos, mantendo todas as tarefas e informações necessárias para o usuário dentro do próprio ambiente da RV, em vez de criar tarefas ou informações, que o usuário só poderá executar ou acessar caso tenha que se desconectar do ambiente de RV, seja para consultar informações ou pedir ajuda externa. Esta heurística também contribui para aumentar a autossuficiência e autoeficácia do usuário e para não comprometer a sensação de presença e imersão.
H-6	Rastreamento da posição da cabeça	O sistema de RV deve ter algum modo de rastrear os movimentos da cabeça do usuário, pois isto aumenta a imersão, a presença e o imediatismo de controle do usuário.
H-7	Fidelidade representacional	Os elementos representados no ambiente virtual 3D devem possuir qualidade visual, gráfica, e serem fiéis (o máximo possível) aos seus representantes reais, ou imaginários. Deve-se ter qualidade de modelos 3D, texturas, materiais e realismo nestes elementos. Esta heurística é crucial para o aumento da sensação de imersão e presença.

Tabela 10 - Tabela de heurísticas criadas e especificadas. (continua)

Id	Nome/categoria	Descrição
Fatores técnicos		
H-8	Precisão	O sistema deve apresentar o máximo de precisão com respeito às ações do usuário, simulações físicas e animações. Deve responder rapidamente (imediatamente) às ações do usuário, possuir física semelhante ao mundo real (excetuando-se as aplicações educacionais em que esse realismo não é necessário), e animações bem executadas e condizentes com o mundo real também. Esta heurística contribui para o aumento da sensação de imersão e presença.
H-9	Interação	O sistema de RV deve apresentar elementos interativos e possuir mecanismos que possibilitem ao usuário interagir com estes elementos, com o máximo de naturalidade possível, e o mais próximo possível de como seria no mundo real. Com estes fatores, aumenta-se a sensação de imersão e presença.
H-10	Flexibilidade	O sistema de RV deve fornecer recursos para customização da experiência para diferentes usuários, por exemplo, a customização de atalhos, ou de elementos da interface que facilitem a utilização por usuários com características diferentes e aumentando, assim, sua autoeficácia.
Fatores cognitivos		
H-11	Conteúdo sequenciado	O conteúdo de informações apresentado ao usuário, para qualquer fim, deve ser apresentado de forma lógica, coerente, apresentando uma sequência, e da parte mais fácil para a mais difícil.
H-12	Redução da Carga cognitiva	O ambiente de RV não deve sobrecarregar a memória de trabalho do usuário, apresentando um excesso e informações de uma vez só.
H-13	Gamificação	O ambiente de RV deve se apropriar de mecânicas e dinâmicas de jogos para a realização das tarefas, atividades e desafios. Assim, as tarefas e atividades devem ter a aparência de se estar “jogando um game”, evitando parecer extremamente técnicas ou maçantes. As tarefas, missões e desafios devem ser prazerosas de ser realizadas pelo usuário.
H-14	Estímulo multissensorial	O ambiente de RV deve proporcionar estímulos para mais de um sentido, principalmente visão, audição e tato, e de preferência, concomitantemente. O estímulo multissensorial contribui para a sensação de presença e imersão.
Fatores afetivos		
H-15	Aprendizagem facilitada e percebida	O sistema de RV deve ser fácil de aprender, fornecer dicas, pistas, ou informações que auxiliem o usuário a aprender sobre o sistema, sobre o conteúdo que deve aprender e sobre as tarefas e desafios que deve realizar, sendo intuitivo e aumentando sua autoeficácia. Estes elementos também contribuem para que o usuário tenha a percepção de que aprendeu algo.
H-16	Fluxo	O sistema deve possuir tarefas bem definidas, que apresentem desafios, com objetivos claros, sensação de controle, e as atividades, para quaisquer fins, devem ser prazerosas de ser executadas. Atividades excessivamente difíceis, complicadas ou maçantes de serem executadas devem ser evitadas. Desta forma, estimula-se a motivação do usuário em realizar estas tarefas e superá-las. Assim, estimula-se o estado de fluxo. O fluxo aumenta a sensação de imersão e presença.
Fatores visuais		
H-17	Simplicidade	A interface do sistema (com seus comandos e elementos de controle por parte do usuário) e os de hardware utilizados para a experiência de RV devem ter um design e navegação simples e intuitivos, assim como os elementos e informações contidos no ambiente de RV.

Tabela 10 - Tabela de heurísticas criadas e especificadas. (conclusão)

Id	Nome/categoria	Descrição
	Fatores visuais	
H-18	Clareza	O ambiente virtual deve ter clareza, e todos os seus elementos (gráficos, textuais, modelos, sonoros) devem ser de claro entendimento para o usuário. Deve, assim, oferecer elementos que sejam de fácil compreensão para o usuário.
H-19	Consistência e persistência dos padrões	O ambiente virtual deve ter consistência em todos os seus aspectos, de uma maneira geral. Deve apresentar padrões que podem ser previstos, pela forma como fluem seguindo um aspecto coerente e consistente.
H-20	Legibilidade de informações	As informações fornecidas em forma de texto devem ser legíveis, possuir hierarquia e serem organizadas, para facilitar sua compreensão e aumentar a autossuficiência e autoeficácia do usuário.
H-21	Pistas visuais - “cues”	As dicas visuais, ou “cues” (pistas), utilizam recursos que sinalizam ou sobre diversos aspectos dentro do ambiente de RV, e ressaltam elementos mais importantes, destacando as informações mais importantes para o usuário em determinado momento.
	Feedback	
H-22	Feedback do aprendizado	Para sistemas de RV que envolvam algum aprendizado, seja de habilidade, conhecimento prático ou teórico, é importante que o sistema possua mecanismos para dar um feedback deste aprendizado para o usuário.
	Erros e ajuda	
H-23	Ajuda e documentação	O Sistema de RV deve ter um sistema de ajuda, com informações que auxiliem o usuário a entender o ambiente de RV e solucionar problemas por conta própria, aumentando sua autossuficiência e autoeficácia.
H-24	Tolerância a erros	A tolerância a erros se divide em dois aspectos: a prevenção de erros e a recuperação de erros. Ambos auxiliam o usuário a poder evitar e recupera-se de situações problemáticas.

Fonte: O autor, 2021.

Ao fim desta etapa, obteve-se o parâmetro (14) – conjunto de heurísticas propostas.

5.2 Validação das heurísticas

Como já informado na explicação do método aplicado nesta pesquisa, a validação pode ser realizada através de 3 formas diferentes, que são independentes e não havendo obrigatoriedade de serem todas aplicadas, podendo ser utilizada apenas uma delas (QUINONES et al., 2018, JIMENEZ et al., 2017). As três formas são: a avaliação por especialistas, a avaliação heurística, em que as heurísticas novas são checadas contra as heurísticas de controle, e os testes com usuário. Optou-se, inicialmente, pela avaliação heurística, pois, de acordo com Quinones et al. (2018), Jimenez e Figueroa (2017), Hermawati e Lawson (2016), é a que melhor checa a utilização, entendimento e validade das heurísticas novas.

5.2.1 Passo 7 – Validação das heurísticas: validação por avaliação heurística

Retomando o processo de aplicação da metodologia desenvolvido nesta pesquisa, após o passo 6 – especificação das heurísticas, chegou-se ao passo 7 – validação – no qual apresentou-se as etapas e processos de validação das heurísticas por avaliação heurística. Primeiramente, serão apresentados o protótipo com características de RV semi-imersiva que foi utilizado na validação. Em seguida, será explicado como foi realizado o processo de validação. Por fim, será mostrado os resultados da avaliação heurística realizada.

5.2.1.1 O protótipo utilizado

O protótipo que foi utilizado nos testes é uma aplicação de RV semi-imersiva desenvolvida pelo próprio autor desta tese e nomeado por este como “VR Design” (figura 26).

Figura 26 – Imagens do Cenário do VR-Design.



Fonte: O autor, 2021.

Esta aplicação é estruturada da seguinte forma: um labirinto, em forma de exposição, que possui vários desafios, tanto físicos como psicológicos, tais como, obstáculos, enigmas e caminhos, sendo uns fáceis e outros difíceis de passar. O objetivo do usuário é sair do labirinto encontrando a saída, mas, para isso, terá que utilizar diversos conhecimentos ligados à área do design. No cenário virtual, tem-se diversas portas (Figura 27) que estão relacionadas a uma determinada pergunta de múltipla-escolha com três respostas possíveis. Cada resposta das perguntas está relacionada a uma porta. As portas que contêm respostas certas guiam o usuário

por um caminho que o conduz à porta de saída. As portas com respostas erradas guiam o usuário por caminhos que o confundem e o fazem dar voltas e voltas pelo cenário, sem se aproximar da porta de saída. Como existe um limite de tempo, marcado por um contador de tempo, se o usuário errar as respostas, gasta mais tempo passando pelas portas erradas, e não consegue concluir o objetivo de sair do labirinto. Acertando mais perguntas, o usuário ganha tempo passando pelas portas certas, e além de concluir a tarefa de conseguir sair do labirinto, realizando-a em menos tempo ganha mais pontos.

Figura 27 – detalhes de alguns portais do VRdesign.



Fonte: O autor, 2021.

O VR Design é apenas um protótipo que ainda está em desenvolvimento, sendo assim, contém apenas a primeira fase. Mas os recursos como as portas, textos e interações citados estão todos presentes. Também foi concebido levando-se em conta as características da RV semi-imersiva, estudadas na pesquisa desta tese, e serviu como estudo de caso para a validação das heurísticas propostas.

5.2.1.2 Condução da avaliação heurística

Conforme explicado na seção sobre o método para criação de heurísticas formulado para esta pesquisa, a validação por avaliação heurística foi realizada de acordo com os critérios e os

passos propostos por Quinones et al. (2018) e Jimenez et al. (2017), já explicados no método desta pesquisa para criação de heurísticas:

1. Seleção dos aplicativos (ou o aplicativo) para avaliar;
2. Seleção do conjunto de heurísticas de controle;
3. Seleção dos avaliadores para uma avaliação heurística;
4. Avaliação da eficácia das heurísticas.

Para o item 1- Seleção do aplicativo para avaliar, já havia o aplicativo de domínio específico para realidade virtual semi-imersiva, VR Design, que foi explicado acima.

Após o aplicativo desenvolvido, seguiu-se com a escolha das heurísticas de controle para o item 2. Como explicado no capítulo do método proposto, deve-se fazer uma análise de qual é o grupo de heurísticas mais adequado para o teste, no caso de existir mais de um grupo para o domínio proposto.

Testamos as heurísticas propostas por esta tese, a partir de agora chamadas de “heurísticas experimentais” contra heurísticas desenvolvidas para avaliar ambientes de RV. A princípio, descartou-se as heurísticas propostas por Muñoz et al. (2011), Rusu et al. (2011) e Muñoz e Chalegre (2012) por serem específicas para mundos virtuais e não para RV.

Restaram as heurísticas propostas por Murtza et al. (2017) e Sutcliffe e Gault (2004).

As heurísticas propostas por Murtza et al. (2017), apesar de ser o conjunto mais recente, possuem falhas em sua metodologia de concepção, constatadas pelos próprios autores (MURTZA et al., 2017, p. 2069?), por exemplo, terem sido criadas totalmente baseadas em opinião de usuários, e, por conta disso, podem deixar de contemplar erros que os usuários não perceberam porque não eram especialistas. Também pesou o fato das heurísticas propostas por Murtza et al. (2017) serem pouco abrangentes. Possuem 4 heurísticas focadas no conforto do usuário ao utilizar o sistema: H2 - *Physical Space Constraints*, H6 - *Cord Design*, H7 - *Headset Comfort*, H8 - *Mental Comfort*; duas focadas na qualidade gráfica e visual da simulação: H3 *immersion* e H9 - *User Interface Design*; e as heurísticas restantes relacionadas à lentidão, atrasos da simulação e manutenção da atenção do usuário no ambiente virtual. Este conjunto não possui heurísticas que tratam da navegação pelo sistema nem da interação com o sistema, nem sobre feedbacks para o usuário.

Além do fato de que para a heurística 9 – Design da interface de usuário –, os autores recomendam que se utilize as heurísticas de Nilsen, que são amplas e genéricas, sendo de domínio geral, contrariando o objetivo desta tese de que é testar e avaliar heurísticas de domínio específico, como artefatos que respondam ao problema de pesquisa. Sendo assim, o conjunto de heurísticas proposto por Murtza et al. (2017) foi descartado para este teste inicial com as

heurísticas experimentais propostas por esta tese, restando o conjunto de heurísticas proposto por Sutcliffe e Gault (2004).

O conjunto de heurísticas proposto por Sutcliffe e Gault (2004), apesar de ser mais antigo, foi realizado por especialistas, e, por conta disso, é mais abrangente e completo, possuindo mais pontos de comparação com as heurísticas experimentais que desenvolvemos, possibilitando uma comparação mais efetiva. Possui heurísticas para a parte visual do sistema, para atrasos e lentidão das respostas do sistema, para a navegação pelo sistema, para dar feedbacks para o usuário, para a interação do usuário com o sistema, dentre outras. Em razão do exposto a respeito das outras heurísticas, e exposto acima, como heurísticas de controle, optou-se pelo conjunto de heurísticas proposto por Sutcliffe e Gault (2004), por ser um conjunto de heurísticas voltado diretamente para a realidade virtual, por ser, dos conjuntos de heurísticas encontrados, o mais completo, por não utilizar as heurísticas de Nielsen, por ser desenvolvido por especialistas e não apenas baseado nas opiniões de usuários.

Com o conjunto de heurísticas de controle selecionado, passou-se, então, à seleção dos avaliadores que participariam do teste – item 3.

Nesta etapa, o primeiro passo foi definir a quantidade de avaliadores. Para esta avaliação foram usados 2 grupos de avaliadores: um denominado “grupo experimental” e o outro, “grupo de controle”. O grupo chamado “experimental” ficou responsável por avaliar o ambiente virtual desenvolvido com as heurísticas novas propostas por esta tese. O grupo chamado “de controle” ficou responsável por avaliar o ambiente virtual com as heurísticas propostas por Sutcliffe e Gault (2004) (QUINONES et al., 2018; JIMENNEZ, FIGUEROA, 2017).

Sendo assim, para a seleção dos avaliadores, como explicado em nossa metodologia, seguiu-se a recomendação de Nielsen (1994) e Quinones et al. (2018), e utilizamos dois grupos, cada um com cinco especialistas.

Todos os membros envolvidos na avaliação entendem de computação gráfica, animação, realidade virtual, aplicações com interação em tempo real e receberam treinamento em avaliações heurísticas.

O ponto mais difícil relatado por Quinones et al. (2018) foi encontrar pessoas com nível de experiência semelhante, pois níveis de experiência diferentes podem influenciar os resultados da avaliação das heurísticas. Percebemos essa dificuldade na prática. Nivelou-se os conhecimentos com o critério de todos os especialistas serem mestres ou doutores da área de jogos ou RV, ou computação gráfica. Por conta disso, demorou certo tempo para encontrar os avaliadores adequados.

Encontrados e selecionados os avaliadores, foi criado um manual com instruções de como o teste deveria ser realizado, constando as instruções sobre o teste, uma tabela para o preenchimento dos participantes e o link para download da aplicação VR Design.

Estes arquivos foram enviados via internet, e o teste foi feito pelos próprios avaliadores em suas casas, para facilitar o processo e para minimizar o contato por conta do isolamento social imposto pela pandemia do Covid-19, que ainda acontecia durante o período destes testes, em novembro de 2021).

Nas instruções constavam que o teste deveria ser realizado individualmente, o participante não poderia se comunicar com outros participantes, deveria realizar o teste de uma só vez, no seu tempo livre, precisaria investigar todo o cenário do VR Design e deveria preencher a tabela com os erros encontrados. Continha a lista de heurísticas, sendo que era a experimental para o grupo de avaliadores experimental, e a de controle para o grupo de controle. Por fim, as instruções instruíam os avaliadores sobre como enviar o arquivo por e-mail e o telefone de contato do pesquisador, caso houvesse alguma dúvida.

Os avaliadores do grupo Experimental não conheciam nem tinham qualquer tipo de contato com os avaliadores do grupo de controle, e vice-versa.

Em seguida, os resultados foram enviados para o autor desta tese na forma da tabela composta preenchida com o número de erros encontrados para cada heurística, de acordo com os critérios já expostos.

Para o item 4 – a avaliação da eficácia das heurísticas foi realizada em termos dos quatro critérios estabelecidos por Quinones et al. (2018) e Jimenez et al. (2017): quantidade de erros totais encontrados; quantidade de erros específicos encontrados; quantidade de erros considerados mais severos; e quantidade de erros considerados mais graves. Esta avaliação será detalhada na próxima seção.

5.2.1.3 Resultados da avaliação heurística

Apresentaremos nesta seção os resultados da avaliação heurística realizada pelos especialistas e as comparações estatísticas dos dados.

Os dados foram organizados em tabelas do Microsoft Excel, em seguida tratados e analisados no software estatístico R, para Windows. Foram analisados de acordo com as quatro variáveis propostas por Quinones et al. (2018) e Jimenez e Figueroa (2017): quantidade total

de erros gerais; quantidade total de erros específicos; quantidade total de erros graves; e quantidade total de erros severos.

A princípio, foi feita uma análise dos dados obtidos sobre a quantidade de erros encontrados, retornados pelos avaliadores que participaram do processo de avaliação heurística.

Para análise inferencial, inicialmente foi testada a hipótese de distribuição normal dos dados. Utilizamos o teste de Shapiro-Wilk, pois, segundo Nunes e Mattos (2018), este é o que possui melhor desempenho quando se analisa amostras pequenas. Após a confirmação da distribuição normal dos dados, utilizou-se o teste paramétrico T de Student para comparação dos grupos de erros obtidos nas análises experimentais e de teste. Utilizou-se o teste unicaudal com dados não pareados, pois os dados não são dependentes, para verificar a hipótese de que as heurísticas experimentais encontraram mais erros do que as heurísticas de controle, em cada um dos casos relatados acima. Admitiu-se o nível de significância de 0,05 para ambos os testes, de Shapiro-Wilk e T Student.

Abaixo, nas tabelas 11 e 12, encontram-se as tabelas com os erros gerais, específicos, severos e graves encontrados por todos os avaliadores que participaram do experimento, obtidos na etapa de validação das heurísticas, para as heurísticas experimentais e, logo após, para as heurísticas de controle.

Os erros gerais são os erros totais encontrados pelos especialistas. Os erros específicos são os erros classificados pelos especialistas como pertencentes ao domínio específico da RV semi-imersiva. Os erros severos são os erros que comprometem severamente a experiência do usuário, e os erros graves são os erros severos que se repetem.

Tabela 11 - Erros totais, específicos, graves e severos encontrados pelos especialistas utilizando as heurísticas experimentais. (continua)

	Erros gerais						Erros específicos						Erros severos						Erros graves					
	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6
H1	4	7	12	8	5	15	3	7	0	0	3	0	4	7	1	8	4	15	1	2	0	1	2	1
H2	8	26	2	8	4	1	8	22	2	7	3	0	8	17	2	7	2	0	2	3	1	2	1	0
H3	3	1	1	11	21	4	1	1	0	11	21	4	3	0	1	11	21	4	0	0	0	3	3	1
H4	11	7	3	3	43	0	11	7	3	3	30	0	11	2	3	0	33	0	5	0	1	0	8	0
H5	7	15	1	0	0	1	7	15	3	2	0	1	7	15	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0
H6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
H7	60	101	62	76	96	4	30	90	62	76	94	4	60	101	62	76	76	0	10	12	8	10	12	0
H8	14	16	13	15	31	6	13	16	9	15	26	6	14	52	13	15	29	6	5	2	4	3	5	1
H9	8	10	10	9	39	9	8	10	10	9	25	9	8	10	10	9	34	9	1	1	3	2	7	1
H10	1	1	3	2	5	1	0	0	2	2	4	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0
H11	1	7	12	5	3	5	2	0	0	0	0	5	0	6	12	0	0	5	0	1	1	1	0	1
H12	7	5	16	15	13	0	3	5	0	0	0	0	7	5	16	15	13	0	2	3	5	3	2	0
H13	3	16	3	13	16	6	1	0	0	0	5	0	1	12	3	13	1	6	0	2	1	1	0	1
H14	3	2	1	12	6	14	1	1	0	12	6	14	3	1	1	12	3	14	1	0	0	2	0	1
H15	3	5	1	1	10	14	3	2	1	1	3	0	3	2	1	1	8	14	1	0	0	0	1	1
H16	15	13	11	17	19	8	15	13	11	17	1	0	15	13	11	17	19	8	3	2	3	5	1	1
H17	8	2	1	11	89	8	8	1	1	11	33	8	1	1	1	11	40	8	0	0	0	2	8	1
H18	26	16	3	14	28	8	14	1	3	14	6	0	26	15	3	14	21	8	2	1	1	1	3	1
H19	8	24	15	44	41	5	3	24	10	39	41	5	0	24	10	41	41	5	0	2	2	7	5	1
H20	22	5	2	0	26	2	5	5	2	0	8	2	5	5	2	0	13	2	1	1	1	0	2	1
H21	7	8	15	26	19	3	7	0	0	26	19	2	7	0	15	26	19	2	1	0	1	3	3	1
H22	9	1	10	10	5	4	7	0	10	10	5	4	7	0	10	10	4	4	2	0	2	1	0	1

Tabela 11 - Erros totais, específicos, graves e severos encontrados pelos especialistas utilizando as heurísticas experimentais. (conclusão)

	Erros gerais						Erros específicos						Erros severos						Erros graves					
	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Av6
H23	3	1	1	3	2	2	2	0	0	0	0	2	2	1	1	3	2	2	1	0	1	0	0	1
H24	2	2	2	10	2	1	1	0	0	10	0	1	1	1	2	10	2	1	1	0	2	3	0	0
Total	234	292	201	314	524	122	154	221	130	266	334	68	194	290	183	301	387	115	41	33	37	51	63	16

Legenda: Av – Avaliador. H – Heurística.

Fonte: O autor, 2021.

Tabela 12 - Erros totais, específicos, graves e severos encontrados pelos especialistas utilizando as heurísticas de controle.

	Erros gerais						Erros específicos						Erros severos						Erros graves					
	Av 1	Av 2	Av 3	Av 4	Av 5	Av 6	Av 1	Av 2	Av 3	Av 4	Av 5	Av 6	Av 1	Av 2	Av 3	Av 4	Av 5	Av 6	Av 1	Av 2	Av 3	Av 4	Av 5	Av 6
H1	27	20	25	31	19	42	27	20	25	31	19	0	27	20	25	21	7	42	1	7	5	4	2	6
H2	6	3	3	27	21	4	4	3	0	27	13	4	6	0	3	9	21	4	2	0	0	1	5	1
H3	5	3	8	2	9	15	3	0	8	2	9	15	3	3	8	0	4	8	1	1	2	0	1	1
H4	7	10	8	5	0	5	7	10	6	5	0	6	7	10	5	0	0	0	1	2	0	0	0	0
H5	11	6	11	5	12	8	11	6	0	5	1	3	7	0	11	5	12	7	1	0	1	1	1	1
H6	3	1	2	3	2	0	3	1	2	0	2	2	3	0	2	3	0	0	1	0	0	1	0	0
H7	3	4	7	2	6	6	0	1	0	0	3	3	3	1	7	2	2	0	1	1	2	0	0	0
H8	2	3	3	2	1	2	2	3	0	0	1	2	2	3	3	2	3	2	1	1	1	1	0	1
H9	1	0	5	8	2	1	1	0	5	7	1	1	1	0	5	8	1	0	0	0	1	1	0	0
H10	7	5	10	10	6	5	0	0	10	10	3	5	0	0	10	10	6	0	0	0	2	2	1	1
H11	1	2	1	0	3	1	1	2	1	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
H12	11	8	12	12	9	14	11	8	0	12	9	3	11	8	12	12	9	5	2	2	2	2	4	1
Total	84	65	95	107	90	103	70	54	57	99	61	45	71	47	92	72	65	68	11	15	16	13	14	12

Legenda: Av – Avaliador. H – Heurística.

Fonte: O autor, 2021.

Analisando as tabelas com os erros encontrados (tabelas 11 e 12) de forma descritiva, percebe-se que cada avaliador que participou da avaliação com as heurísticas experimentais encontrou mais erros gerais, específicos, severos e graves no total, que os avaliadores que realizaram a avaliação com as heurísticas de controle.

Percebe-se que a heurística H7 – fidelidade representacional da lista experimental (tabela 11) é a que mais sinaliza erros, em todos os critérios estudados: geral, específico, severo e grave. No caso das heurísticas de controle (tabela 12), a heurística H1 – engajamento natural é a que mais sinaliza erros em todos os critérios estudados. Por conta disso, possibilitou observar, a partir do resultado da avaliação, que a maior quantidade de erros que o VR Design possui foram erros que se enquadram em problemas de “fidelidade representacional”, como: objetos sem textura, ou com problemas de texturas; objetos com problema de modelagem; objetos com problemas de faces invertidas; objetos fora de escala; objetos sobrepostos; objetos flutuantes; objetos com problema em suas sombras projetadas; dentre outros. Por isso, pensa-se que ambas as heurísticas, que possuem características semelhantes, encontram mais erros que as outras. Porém, a heurística – H7 fidelidade representacional – da lista experimental (tabela 11) mostrou-se mais direcionada a este tipo de erro, e por isso encontrou mais problemas, por parte dos avaliadores, que a heurística da lista de controle (tabela 12) H1 – engajamento natural.

Observou-se também que algumas heurísticas encontram poucos erros. Para as heurísticas experimentais (tabela 11), temos a H10 – Flexibilidade e a H6 – Rastreamento da posição da cabeça, representando 8% das heurísticas, as que encontraram menos erros. No caso da H6, é compreensível o número de erros baixo, pois ela apenas sinaliza erro na ausência de um sistema de captura de movimentos da cabeça. No caso da H10, os avaliadores compreenderam que é uma heurística que sinaliza erros “para todo o sistema”, e, portanto, erros que não são contados para cada elemento, como heurísticas que contam problemas nos objetos, por exemplo. Por isso ela sinalizou poucos erros.

De fato, existem heurísticas que são mais direcionadas ao sistema todo, como: H2 – navegação; H14 – estímulo multissensorial; H23 – ajuda e documentação, dentre outras da lista experimental (tabela 11). E outras que também sinalizam um erro para cada objeto ou elemento com problemas, e assim sinalizam mais erros que outras. É o caso das heurísticas H20 – legibilidade de informações, H18 – clareza e H7 – fidelidade representacional, também da lista experimental (tabela 11).

O mesmo acontece com a lista de controle (tabela 12). A H3 da lista de controle “expressão natural da ação”, que no caso de determinado erro, como impossibilidade de saltar,

aponta apenas um erro para todo o sistema. Diferente de H1 – engajamento natural, também da lista de controle, que irá sinalizar um erro para cada objeto com problemas.

Estes casos, tanto para heurísticas experimentais como para heurísticas de controle, foram explicados caso a caso no documento enviado para os avaliadores que participaram da validação.

No caso das heurísticas de controle (tabela 12), também observamos heurísticas com baixa contagem de erros por outro motivo além de serem aplicadas ao sistema como um todo. É o caso das heurísticas H6 – Pontos de vista fiéis, H11 – Trocas de turno claras e H8 – Pontos claros de entrada e saída, representando 25% das heurísticas. Estas três heurísticas são muito voltadas para aspectos focados na RV imersiva, que é a característica inicial do conjunto de heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004), utilizadas como heurísticas de controle para este teste, e, portanto, não se enquadraram muito bem no teste para RV semi-imersiva, como observado pelo autor desta tese.

Também percebeu-se, ao analisar as tabelas, que há diferenças consideráveis entre os valores encontrados por alguns especialistas para determinadas heurísticas. Estas discrepâncias ocorrem em vários momentos com alguns avaliadores encontrando muito mais erros que outros.

Por exemplo, para o grupo experimental (tabela 11), percebeu-se que para a heurística H2, o avaliador 2 encontrou 26 erros gerais, número distante da quantidade encontrada pelos outros avaliadores. Já o avaliador 5 encontrou 89 erros gerais para a heurística H17, número muito acima dos encontrados pelos outros avaliadores.

Percebeu-se, ainda, que nas heurísticas experimentais (tabela 11) de uma maneira geral: o avaliador 5 encontrou muito mais erros gerais que os outros avaliadores nas heurísticas H3 – 21 erros, H4 – 43 erros, H7 – 96 erros, H8 - 31 erros, H9 – 39 erros e H17 – 89 erros. O avaliador 5 também encontrou mais erros específicos que os outros nas heurísticas H3 – 21 erros, H4 – 30 erros, H7 – 94 erros, H8 – 26 erros, H9 - 25 erros e H18 – 33 erros. Por sua vez, o avaliador 2 encontrou mais erros graves que os outros nas heurísticas H7 – 101 erros e H8 - 52 erros. O avaliador 5 ainda encontrou mais erros severos que os outros nas heurísticas H4 – 33 erros, H9 – 34 erros, H17 – 40 erros. O fato também acontece nos erros graves, porém em menor escala e não com avaliadores específicos, mas com uma heurística específica, a H7, que sinalizou muitos mais erros graves que as outras heurísticas.

O mesmo fato acontece com as heurísticas de controle (tabela 12), que apresentam discrepâncias, porém em menor escala. O avaliador 4 encontrou 27 erros gerais, e o avaliador 6 encontrou 42 erros gerais. Já o avaliador 1 encontrou 27 erros específicos e 27 severos. Todos bem acima dos outros avaliadores.

Pensa-se que alguns motivos levaram a estas discrepâncias, mas um motivo principal se destacou nas observações realizadas do material recebido: a complexidade do ambiente virtual analisado.

Este problema foi relatado por inúmeros avaliadores, que se queixaram da complexidade do cenário utilizado no teste, seu tamanho e a quantidade de erros colocados. Um avaliador relatou: “Achei a experiência muito complexa, para fins de estudo, o cenário poderia ser menor.” Outro: “o cenário poderia ser mais simples”. E ainda outro: “há muitos erros para serem contados, não sei se conseguirei contar todos”. De fato, foi desenvolvido um cenário que por se parecer um labirinto, passa a ideia de ser muito grande e complexo para os avaliadores. Realmente, o cenário é complexo, como uma fase de um *game*, e deixou-se propositalmente uma quantidade muito grande de erros para serem encontrados pelos especialistas. Muitos especialistas convidados para o teste concordavam inicialmente em participar, porém quando baixavam e abriam os arquivos para o teste, e rodavam o simulador, desistiam da tarefa alegando diversos motivos. Sendo assim, o autor desta tese pensou que a complexidade do cenário dificultou o teste e a busca por erros por parte de alguns avaliadores, com alguns encontrando muito mais erros que outros.

Alguns avaliadores fizeram uma avaliação mais “superficial” que outros por conta deste problema da complexidade do cenário virtual. Sendo assim, como não foram informados problemas no entendimento das heurísticas, tanto com as experimentais quanto as de controle, o teste, por ser complexo e demorado, dependeu muito do tempo disponível por parte de cada avaliador, e também da “paciência” do avaliador em realizar um teste aprofundado. Avaliadores menos pacientes encontraram menos erros que os avaliadores que realizaram um teste com mais “boa vontade”.

Alguns avaliadores chegaram a ficar extremamente incomodados com alguns erros, relatando na parte de comentários. Erros como: a falta de botão de saída da simulação; locais em que ficam presos no cenário, não conseguindo sair; locais em que falta colisão física no chão, fazendo com que o usuário caia no “limbo”, encerrando a experiência da simulação; pontos em que a simulação “trava” de forma irritante; pontos que recomendam a clicar ou a realizar alguma interação, porém essa interação não funciona. Estes erros severos e graves cansaram ainda mais os avaliadores com alguns perdendo a paciência e abandonando a avaliação, ou não realizando esta de forma satisfatória.

De fato, alguns testes realizados foram descartados pois os avaliadores foram muito superficiais na avaliação, ou não avaliaram corretamente. Chegamos a receber avaliações incompletas, com avaliadores alegando que ficaram “sem tempo” para terminar, sendo também

descartadas. Por isso, acreditamos que um cenário mais simples e com menos erros teria facilitado mais os testes e talvez equilibrado mais a quantidade de erros encontrados.

Outro ponto que pode ter causado discrepância nos erros é o fato de alguns avaliadores acreditarem que certos erros presentes no cenário eram referentes a problemas no sistema de seus computadores, e que, por conta disso, certos aspectos do ambiente virtual não estariam funcionando. Entende-se que este fato, por exemplo, pode ocorrer com elementos que deveriam ser interativos no cenário. Alguns avaliadores não entenderam que a falta de interatividade de certos elementos eram erros a serem relatados e não um problema de seus computadores, que, por algum motivo, não estariam executando as interações, e, por conta disso, deixaram de contar estes erros.

Outros especialistas relataram dificuldade de “se encontrar” no cenário virtual por falta de mecanismos de navegação adequados (outro erro deixado propositalmente) e, por isso, tiveram dificuldades em contar os erros, tendo uma contagem de erros menor por não saber se já passaram por determinado local ou se já tinham contado determinado objeto, dado o cenário ser um labirinto.

Outros também relataram não saber se o teste era para analisar todo o cenário ou apenas um caminho principal, por não lerem atentamente as instruções que informavam que todo o cenário deveria ser analisado. Sendo assim, avaliaram apenas parte do cenário.

Alguns especialistas também relataram problemas com enjoo e náuseas ao rodar a simulação. Este erro foi relatado tanto pelo grupo experimental como no grupo de controle, o que levou alguns deixarem de fazer o teste por conta disso. Um especialista relatou que tinha problemas de convulsão e que por conta das muitas luzes do cenário e dos corredores que se sucediam, temia ter uma crise e deixou de fazer o teste. Um dos avaliadores cujo teste entrou para a lista final, relatou ter tido problemas de enjoo, e talvez por isso, pode ter encontrado menos erros que os outros em alguns pontos do cenário que se sentiu mal.

Foram observados estes problemas relatados tanto por especialistas pertencentes ao grupo experimental como ao grupo de controle.

Após esta análise descritiva inicial dos dados das tabelas, seguiu-se com uma análise estatística inferencial para saber se realmente as heurísticas experimentais tiveram um desempenho melhor e mais adequado que as heurísticas de controle.

A partir deste ponto, utilizou-se os nomes: GeralExp, para denominar o total de erros gerais encontrados com as heurísticas experimentais por cada especialista; GeralCtr, para denominar o total de erros gerais encontrados com as heurísticas de controle por cada especialista; EspecíficoExp, para o total de erros específicos encontrados com as heurísticas

experimentais; EspecíficoCtr, para o total de erros específicos encontrados com as heurísticas de controle; SeveroExp, para o total de erros severos encontrados com as heurísticas experimentais por cada especialista; SeveroCtr, para denominar o total de erros severos encontrados com as heurísticas de controle por cada especialista; GraveExp, para denominar o total de erros graves encontrados com as heurísticas experimentais por cada especialista; e GraveCtr, para denominar o total de erros graves encontrados com as heurísticas de controle por cada especialista.

Após nomear as variáveis, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar se os dados de cada variável possuem normalidade, ou seja, uma distribuição normal dos dados. Essa condição determinou a utilização de um teste paramétrico ou não paramétrico para comparar os dados.

Como teste de hipóteses para cada variável temos:

- - Hipótese nula – H₀: os dados possuem distribuição normal.
- - Hipótese alternativa – H_A: os dados não possuem distribuição normal.

Admitindo a significância ou alfa = 0,05, para rejeitar a hipótese nula devemos encontrar valores de P menores que o valor da significância para cada variável.

Após a aplicação do teste de Shapiro-Wilk no R, obteve-se os seguintes valores de P para cada variável, descritos nas tabelas abaixo.

Tabela 13 – Valores de P encontrados para as variáveis das heurísticas experimentais

Tipo de erro	Total Av1	Total Av2	Total Av3	Total Av4	Total Av5	Total Av6	Valor de P encontrado
GeralExp	234	292	201	314	524	122	0.5519
EspecíficoExp	154	221	130	266	334	68	0.966
SeveroExp	194	290	183	301	387	115	0.842
GraveExp	41	33	37	51	63	16	0.9832

Fonte: O autor, 2021.

Tabela 14 – Valores de P encontrados para as variáveis das heurísticas de controle

Tipo de erro	Total Av1	Total Av2	Total Av3	Total Av4	Total Av5	Total Av6	Valor de P encontrado
GeralCtr	84	65	95	107	90	103	0.6709
EspecíficoCtr	70	54	57	99	61	45	0.2679
SeveroCtr	71	47	92	72	65	68	0.59
GraveCtr	11	15	16	13	14	12	0.9606

Fonte: O autor, 2021.

Como os valores de P encontrados são muito maiores que 0,05, não houve rejeição da hipótese nula e, portanto, pode-se admitir que os dados seguem uma distribuição normal. Sendo assim, o melhor teste comparativo entre eles é um teste paramétrico.

Utilizou-se o teste T de Student para a análise comparativa dos dados, por ser o teste mais indicado para comparar duas amostras e trabalhar com amostras pequenas. O teste foi aplicado comparando as variáveis correspondentes duas a duas, utilizando o software livre R, com a realização de testes unicaudais não pareados. Admitiu-se o valor da significância = 0,05.

Para o primeiro teste, comparou-se as variáveis GeralExp e GeralCtr, admitindo-se as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula – H0: os dados entre as duas variáveis não possuem diferença significativa para os erros gerais.
- Hipótese alternativa – HA: as heurísticas experimentais representadas pela variável GeralExp encontraram mais erros gerais que as heurísticas de controle representadas pela variável GeralCtr.

A sintaxe utilizada foi: `t.test (GeralExp, GeralCtr, paired = FALSE, alternative = "greater")`.

Após a realização do teste t, obteve-se os seguintes dados do R:

data: GeralExp and GeralCtr

t = 3.3801, df = 5.1212, p-value = 0.009478

Como o valor de P obtido foi muito abaixo do valor da significância de 0,05, a hipótese nula foi rejeitada e confirmada a hipótese alternativa. Isto significa que há indícios de que há uma diferença significativa entre as duas variáveis, com as heurísticas experimentais encontrando mais erros gerais que as heurísticas de controle.

Para o segundo teste, comparou-se as variáveis EspecíficoExp e EspecíficoCtr, admitindo-se as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula – H0: os dados entre as duas variáveis não possuem diferença significativa para os erros específicos.
- Hipótese alternativa – HA: as heurísticas experimentais representadas pela variável EspecíficoExp encontraram mais erros específicos que as heurísticas de controle representadas pela variável EspecíficoCtr.

A sintaxe utilizada foi: `t.test (EspecíficoExp, EspecíficoCtr, paired = FALSE, alternative = "greater")`

Após a realização do teste t, obteve-se os seguintes dados do R:

data: EspecíficoExp and EspecíficoCtr

$t = 3.2505$, $df = 5.3775$, $p\text{-value} = 0.01021$

Como o valor de P obtido foi abaixo do valor da significância de 0,05, a hipótese nula foi rejeitada e confirmada a hipótese alternativa. Isto significa que há indícios de que há uma diferença significativa entre as duas variáveis, com as heurísticas experimentais encontrando mais erros específicos que as heurísticas de controle.

Para o terceiro teste, comparou-se as variáveis SeveroExp e SeveroCtr, admitindo-se as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula – H0: os dados entre as duas variáveis não possuem diferença significativa para os erros severos.
- Hipótese alternativa – HA: as heurísticas experimentais representadas pela variável SeveroExp encontraram mais erros severos que as heurísticas de controle representadas pela variável SeveroCtr.

A sintaxe utilizada foi: `t.test(SeveroExp,SeveroCtr, paired=FALSE,alternative = "greater")`

Após a realização do teste t obtivemos os seguintes dados do R:

data: SeveroExp and SeveroCtr

$t = 4.3194$, $df = 5.2142$, $p\text{-value} = 0.003443$

Como o valor de P obtido foi muito abaixo do valor da significância de 0,05, a hipótese nula foi rejeitada e confirmada a hipótese alternativa. Isto significa que há indícios de que há uma diferença significativa entre as duas variáveis, com as heurísticas experimentais encontrando mais erros severos que as heurísticas de controle.

Para o quarto teste, comparou-se as variáveis GraveExp e GraveCtr, admitindo-se as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula – H0: os dados entre as duas variáveis não possuem diferença significativa para os erros graves.
- Hipótese alternativa – HA: as heurísticas experimentais representadas pela variável GraveExp encontraram mais erros graves que as heurísticas de controle representadas pela variável GraveCtr.

A sintaxe utilizada foi: `t.test(GraveExp,GraveCtr, paired=FALSE,alternative = "greater")`

Após a realização do teste t, obteve-se os seguintes dados do R:

data: GraveExp and GraveCtr

$t = 4.0473$, $df = 5.1362$, $p\text{-value} = 0.00466$

Como o valor de P obtido foi abaixo do valor da significância de 0,05, a hipótese nula foi rejeitada e confirmada a hipótese alternativa. Isto significa que há indícios de que há uma diferença significativa entre as duas variáveis, com as heurísticas experimentais encontrando mais erros graves que as heurísticas de controle.

Tabela 15 – Valores de p encontrados para cada teste para verificar se as heurísticas experimentais encontraram mais erros que as heurísticas de controle.

Teste realizado	Valor de P encontrado
GeralExp / GeralCtr	0.009478
EspecificoExp / EspecificoCtr	0.01021
SeveroExp / SeveroCtr	0.003443
GraveExp / GraveCtr	0.00466

Fonte: O autor, 2021.

De acordo com os valores de p obtidos em cada teste, pode-se afirmar com 95% de confiança que as heurísticas experimentais encontraram mais erros gerais, específicos, severos e graves que as heurísticas de controle, portanto, respondendo satisfatoriamente ao problema de pesquisa levantado por esta tese. Percebemos que mesmo que trabalhássemos com 99% de confiança, ou seja, com significância = 0,01, ainda teríamos as variáveis experimentais com desempenho melhor que as de controle, e, portanto, as heurísticas experimentais com 99% de probabilidade de encontrar mais erros gerais, mais erros específicos, mais erros severos, e mais erros graves que as heurísticas de controle, respondendo com bastante qualidade ao problema de pesquisa.

5.2.2 Passo 8 - Refinamento

Para o refinamento, colocou-se uma seção de comentários no formulário para preenchimento das avaliações heurísticas enviados para cada avaliador que participou da

validação. Porém, não houve comentários suficientes ou informações qualitativas para que fosse obtido o retorno necessário de informações para propor mudanças nas heurísticas.

Foi recebido apenas de um avaliador comentários sobre as heurísticas H20 e H21 da lista de heurísticas experimentais, considerando estas heurísticas “excelentes” para a avaliação de um ambiente de RV. O autor desta tese entende que a complexidade do cenário e a quantidade de erros também influenciaram negativamente neste aspecto, em que os avaliadores que preencheram o campo de sugestões sobre as heurísticas pensaram que era para dar sugestões sobre o cenário virtual, e não sobre as heurísticas em si.

Porém, a partir de conversas com pares e outros especialistas da área, foram enviadas algumas sugestões.

A primeira sugestão, e uma sugestão comum dada por diversos especialistas, é a de que o conjunto de heurísticas está muito grande e este fato dificulta a utilização das heurísticas por especialistas.

Sendo assim, foi sugerido colocar as heurísticas H-6: Rastreo da posição da cabeça e H-14: estímulo multissensorial dentro da heurística H-9: interação. Também foi sugerido agrupar as heurísticas H-17: simplicidade e H-18: clareza dentro da heurística H1: facilidade de uso. Outra sugestão foi fundir a heurística H-20: legibilidade com a heurística H-12: redução da carga cognitiva. Foi sugerido colocar a heurística H-11: conteúdo sequenciado com a heurística H-15: aprendizagem facilitada. Por fim, foi sugerido a mudança do nome da heurística H-24 de tolerância a erros para conserto de erros. Assim, foram fundidas, para esta pesquisa, as heurísticas H-13: gamificação e H-16: fluxo, em uma nova heurística chamada gamificação e fluxo, pois ambas possuem características parecidas; e ainda foi agrupada a heurística H-8 precisão com a heurística controle do usuário, por serem inter-relacionadas, também alterando o nome para “precisão e controle do usuário.

A partir da sugestão dos especialistas e dos resultados da avaliação heurística, as heurísticas foram refinadas restando um total de 16 heurísticas, agrupadas dentro das mesmas 5 categorias. Fatores gerais: H-1 Facilidade de uso, H-2 Navegação, H-3 Precisão e controle do usuário. Fatores técnicos: H-4 Erros do sistema, H-5 Minimizar a Alternância entre o real e o virtual, H-6 Fidelidade representacional, H-7 Interação, H-8 Flexibilidade. Fatores cognitivos: H-9 Redução da Carga cognitiva, H-10 Gamificação e fluxo. Fatores visuais: H-12 Consistência e persistência dos padrões, H-13 Pistas visuais - “cues”. Feedback: H-14 Feedback do aprendizado. Erros e ajuda: H-15 Ajuda e documentação, H-16 Conserto de erros.

Serão realizados testes futuramente mais focados em avaliações por especialistas para levantar dados mais concretos e propor melhorias nas heurísticas desenvolvidas. Até o presente

momento, as heurísticas obtiveram um desempenho acima do esperado, em termos de encontrar erros e problemas em uma aplicação de RV semi-imersiva.

5.2.3 Considerações sobre a validação

Foi realizada a avaliação com sucesso dentro dos parâmetros propostos por Nielsen e Molich (1990), apesar dos percalços. Percebeu-se que o ambiente virtual desenvolvido, o VR Design, ficou complexo para fins de teste com os especialistas voluntários, e este fato dificultou a realização da avaliação heurística e a adesão ao teste heurístico por parte dos especialistas. Um ambiente virtual mais simples teria simplificado o teste de validação por avaliação heurística, tornando-o mais efetivo e conseguindo a adesão de mais especialistas. Ainda assim, conseguiu-se avaliações completas e bem realizadas, embora tenham havido especialistas encontrando muitos erros, e outros poucos ou até zero erro para determinadas heurísticas. Porém, obteve-se dados suficientes para comparar o desempenho das heurísticas de controle com as heurísticas experimentais desenvolvidas.

Percebeu-se, ao analisar os resultados, que, a princípio, os especialistas trabalhando com as heurísticas experimentais, propostas por esta tese, encontraram mais erros que os especialistas trabalhando com as heurísticas de controle. Fato que ficou confirmado com as análises estatísticas realizadas.

As análises estatísticas foram feitas sobre o total de erros gerais encontrados por cada especialista, o total de erros específicos, o total de erros severos e o total de erros graves. Realizou-se o teste de Shapiro-Wilk para saber se os dados possuíam normalidade, trabalhando com nível de significância de 0,05. Constatou-se, a partir dos resultados de P obtidos, que os dados possuíam distribuição normal. A partir de então aplicou-se o teste T de Student, unicaudal, com um nível de significância também de 0,05, verificando se as heurísticas experimentais encontraram números maiores que as heurísticas de controle. Assim, obteve-se resultados positivos a partir dos resultados de P encontrados, em que as heurísticas experimentais obtiveram desempenho superior às heurísticas de controle, mesmo quando trabalhadas com significância de 0,01, ou seja, 99% de probabilidade de serem melhores.

Portanto, conseguiu-se responder ao problema de pesquisa inicialmente formulado por esta tese, da não existência de heurísticas de domínio específico para avaliar heurísticamente

aplicações educacionais de RV semi-imersivos, com as heurísticas propostas por esta tese sendo efetivas e tendo desempenho satisfatório na avaliação de um ambiente deste tipo.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A partir de agora serão apresentados as conclusões do trabalho, baseadas na pesquisa realizada e no resultado da avaliação heurística e suas implicações para esta pesquisa. Também serão divulgados os trabalhos futuros, ou seja, os desdobramentos e aprimoramentos desta pesquisa.

A respeito das conclusões, ao iniciar as pesquisas sobre a RV semi-imersiva, verificou-se que para uma experiência de alto nível por parte do usuário, estes ambientes, ao serem projetados, devem ser avaliados corretamente de forma a encontrar suas falhas, problemas e pontos fracos.

Encontramos na avaliação heurística, conceito proposto por Nielsen e Molich (1994), um método de avaliação destes ambientes que é eficaz, barato, rápido de ser aplicado e de fácil implementação.

As heurísticas podem ser genéricas, servindo para qualquer interface computacional como as propostas por Nielsen e Molich (1994), ou de domínio específico, sendo focadas em um tipo específico de aplicação. As genéricas não contemplam características muito específicas de certas aplicações, e, por conta disso, deixam escapar erros e problemas de UX que comprometem a experiência do usuário. Deste fato, surge a necessidade das heurísticas de domínio específico (JIMENEZ, 2017; QUINONES, 2018). Percebeu-se a não existência de heurísticas de domínio específico para avaliar ambientes de RV semi-imersiva, e, assim, uma oportunidade para criação destas.

Encontrou-se na Design Science Research – DSR uma metodologia que se propõe a auxiliar e orientar o desenvolvimento de artefatos que funcionem como solução para determinados problemas, ou classe de problemas.

Sob a orientação da DSR e com o problema de pesquisa formalizado, realizou-se extensa pesquisa bibliográfica, com levantamento de dados sobre RV, seus conceitos, dispositivos e modalidades, RV semi-imersiva, contemplando suas características particulares e aspectos próprios, e seus problemas de usabilidade. Também investigou-se o universo da usabilidade e do design de experiência de usuário UX (*user experience design*), a base da pesquisa para esta tese.

Após esta etapa, e da verificação concreta da não existência de heurísticas para solucionar o problema de pesquisa, a DSR guiou o autor desta tese em um processo de desenvolvimento de um método para o desenvolvimento destas heurísticas.

Estabeleceu-se, então, uma lista e objetivos a cumprir com a pesquisa. O objetivo geral foi: criação de heurísticas que auxiliem desenvolvedores a criar e testar ambientes de realidade virtual semi-imersiva.

Os objetivos específicos foram: 1 - Verificar a existência de heurísticas para realidade virtual e saber se atendem como solução para o problema de pesquisa, ou se podem ser adaptadas; 2 - Pesquisar as metodologias para criação ou adaptação de heurísticas, e desenvolver uma metodologia própria para criação destas heurísticas; 3 - Propor heurísticas novas, ou adaptar antigas, que respondam ao problema de pesquisa, com base nos dados obtidos sobre as heurísticas e características da RV semi-imersiva, e também nas fontes de estudo relacionadas ao tema; 4 - Testar a eficácia e validade das heurísticas novas, baseado em um estudo de caso de aplicação educacional de RV semi-imersiva, verificando se são mais adequadas a heurísticas existentes ou similares. E, caso possível e necessário, refinar as heurísticas.

Na pesquisa inicial realizada na literatura existente, verificou-se que não existem heurísticas para RV semi-imersiva, completando, assim, o objetivo específico 1.

A partir do levantamento de outros métodos para desenvolvimento de heurísticas voltadas para domínios computacionais específicos e dos dados levantados nas pesquisas iniciais, como: problemas de UX/usabilidade encontrados em aplicações educacionais de RV semi-imersiva, orientações de usabilidade, heurísticas para domínios semelhantes ao da RV e para RV existentes, formulou-se o próprio método para criação e teste de heurísticas de domínios específicos, a princípio, voltado para a criação de heurísticas para RV semi-imersiva, completando de forma satisfatória o objetivo específico 2.

Desenvolveu-se, assim, um método constituído de 8 passos para criação das heurísticas propostas: passo 1 - Busca de informações; passo 2 - orientações, recomendações e problemas de usabilidade; passo 3 – agrupamento e priorização de informações; passo 4 - agrupamento e priorização das heurísticas; passo 5 - seleção, adaptação e criação das heurísticas; passo 6 - especificação das heurísticas; passo 7 - validação das heurísticas; e passo 8 - refinamento das heurísticas.

Seguindo os passos, realizou-se a pesquisa para as informações necessárias referentes ao passo 1, e referentes ao passo 2. No passo 3 estas informações foram organizadas e priorizadas, e no passo 4 as heurísticas encontradas também foram organizadas e priorizadas. No passo 5, estes dados encontrados nos passos 1 e 2 foram cruzados com heurísticas existentes para RV imersiva e para avaliar mundos virtuais, resultando em uma lista de heurísticas novas

voltadas para avaliar especificamente a RV não-imersiva. No passo 6, a lista resultante foi especificada.

Desenvolvemos 24 heurísticas novas, especialmente criadas para avaliar aplicações educacionais de RV semi-imersivas, atingindo com sucesso o objetivo específico 3.

Para a validação destas heurísticas novas, no passo 7, foi realizada uma avaliação heurística. Os testes de avaliação heurística foram realizados utilizando-se uma aplicação de RV semi-imersiva educacional desenvolvida especialmente para esta pesquisa, chamada VR Design.

A avaliação foi realizada com dois grupos de cinco especialistas, um utilizando as novas heurísticas propostas por este trabalho, denominadas de heurísticas experimentais, e o outro com as heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004), denominadas heurísticas de controle. As heurísticas foram testadas por cada grupo, um sem saber da existência do outro, em uma avaliação heurística do protótipo do VR Design. Foram enviados os formulários e explicações sobre o teste por e-mail, e os resultados da avaliação também nos foram enviados por e-mail com os dados dos erros e problemas encontrados pelos especialistas de cada grupo. Cumpriu-se, desta forma, com sucesso o objetivo específico 4.

A partir dos resultados da etapa de validação com avaliação heurística, realizou-se a análise destes dados através de testes estatísticos, em que se utilizou o teste de Shapiro-Wilk e o teste T de Student para saber se houve um desempenho significativamente melhor das heurísticas experimentais, em relação às de controle, ao encontrar erros e problemas que atrapalhem a experiência do usuário.

Assim, comparou-se a quantidade total de erros encontrados, os erros específicos encontrados, a quantidade de erros mais severos e a quantidade de erros mais graves encontrados por cada especialista com as heurísticas experimentais e com as heurísticas de controle. Esses parâmetros de comparação foram propostos por Jimenez e Figueroa (2017) e por Quinones et al. (2018).

De acordo com o resultado das análises estatísticas, as 24 heurísticas experimentais propostas por esta tese obtiveram desempenho melhor que as de controle, encontrando mais erros de UX/usabilidade em todos os 4 critérios analisados (erros gerais, específicos, severos e graves), com uma confiabilidade de 99% dos resultados.

Sendo assim, concluímos que o conjunto de heurísticas proposto é mais adequado que as heurísticas de controle em termos de desempenho em avaliação heurística, para o ambiente de RV semi-imersiva analisado, servindo como resposta ao problema de pesquisa levantado de forma satisfatória, cumprindo, assim, o objetivo geral desta tese.

A partir de dados obtidos com os especialistas que participaram da validação e de conversas com estes, obteve-se informações para realizar o refinamento das heurísticas. Após a etapa de refinamento, a pesquisa terminou com 16 heurísticas finais que estão representadas na tabela abaixo:

Tabela 16: lista das heurísticas finais após a etapa de refinamento. (continua)

Id	Nome/ categoria	Descrição
Fatores gerais		
H-1	Facilidade de uso	<p>O sistema de RV deve ser fácil de utilizar, fácil de aprender, fácil de entender suas normas e regras, aumentando assim a auto eficácia e a autossuficiência do usuário.</p> <p>Clareza e Simplicidade</p> <p>A interface do sistema (com seus comandos e elementos de controle por parte do usuário) e os de hardware utilizados para a experiência de RV devem ter um design e navegação simples e intuitivos.</p>
H-2	Navegação	O sistema de RV deve fornecer ferramentas e recursos para que o usuário possa se localizar dentro dele, saber sua posição atual e possa encontrar caminhos, ou retornar a lugares onde já esteve.
H-3	Precisão e controle do usuário	O sistema deve oferecer o máximo possível elementos para que o usuário controle o sistema. E esses comandos do usuário devem ser executados com precisão.
Fatores técnicos		
H-4	Erros do sistema	O sistema de RV deve promover uma experiência o máximo possível livre de falhas de sistema e também livre de problemas de hardware.
H-5	Minimizar a Alternância entre o real e o virtual	O sistema deve ser capaz de ser autossuficiente para todos os usos, mantendo todas as tarefas e informações necessárias para o usuário dentro do próprio ambiente da RV.
H-6	Fidelidade representacional	Os elementos representados no ambiente virtual 3D devem possuir qualidade visual, gráfica, e serem fiéis (o máximo possível) aos seus representantes reais, ou imaginários.
H-7	Interação	O sistema de RV deve apresentar elementos interativos, e possuir mecanismos que possibilitem ao usuário interagir com estes elementos, com o máximo de naturalidade possível.
H-8	Flexibilidade	O sistema de RV deve fornecer recursos para customização da experiência para diferentes usuários.
Fatores cognitivos		
H-9	Redução da carga cognitiva	O ambiente de RV não deve sobrecarregar a memória de trabalho do usuário, apresentando um excesso de informações de uma vez só. Além disso, as informações fornecidas em forma de texto devem ser legíveis, possuir hierarquia e serem organizadas.
H-10	Gamificação e fluxo	O ambiente de RV deve se apropriar de mecânicas e dinâmicas de jogos para a realização das tarefas, atividades e desafios. O sistema deve possuir tarefas bem definidas, que apresentem desafios, com objetivos claros, sensação de controle, e as atividades, para quaisquer fins, devem ser prazerosas de ser executadas. Assim, estimula-se o estado de fluxo.
Fatores afetivos		
H-11	Aprendizagem facilitada e percebida	O sistema de RV deve ser fácil de aprender, fornecer dicas, pistas ou informações que auxiliem o usuário a aprender sobre o sistema, sobre o conteúdo que deve aprender e sobre as tarefas e desafios que deve realizar.

Tabela 16: lista das heurísticas finais após a etapa de refinamento. (conclusão)

Id	Nome/ categoria	Descrição
	Fatores visuais	
H-12	Consistência e persistência dos padrões	O ambiente virtual deve ter consistência em todos os seus aspectos, de uma maneira geral.
H-13	Pistas visuais - “cues”	As dicas visuais, ou “cues” (pistas), utilizam recursos que sinalizam ou sobre diversos aspectos dentro do ambiente de RV, e ressaltam elementos mais importantes, destacando as informações mais importantes para o usuário em determinado momento.
	Feedback	
H-14	Feedback do aprendizado	Para sistemas de RV que envolvam algum aprendizado, seja de habilidade, conhecimento prático, ou teórico, é importante que o sistema possua mecanismos para dar um feedback deste aprendizado para o usuário.
	Erros e ajuda	
H-15	Ajuda e documentação	O sistema de RV deve ter um sistema de ajuda, com informações que auxiliem o usuário a entender o ambiente de RV e solucionar problemas por conta própria, aumentando sua autossuficiência e autoeficácia.
H-16	Conserto de erros	A tolerância a erros se divide em dois aspectos: a prevenção de erros e a recuperação de erros. Ambos auxiliam o usuário a poder evitar e a recuperar-se de situações problemáticas.

Fonte: O autor, 2021.

Para concluir, deve-se fazer algumas considerações. Apesar de ter obtido avaliações úteis para a validação na etapa da avaliação heurística e ter conseguido validar satisfatoriamente as heurísticas desenvolvidas por esta tese, percebeu-se que o teste de avaliação heurística foi muito prejudicado pela complexidade do cenário utilizado no teste. Causou muito ruído pelo seu tamanho e quantidade de itens, com especialistas abandonando o teste, entregando testes incompletos ou não fazendo corretamente a avaliação por conta da necessidade de ter que disponibilizar muito tempo e paciência para sua realização. Por conta disso, foram recebidos poucos testes viáveis de serem utilizados para a validação, apesar de terem sido enviados para muitos especialistas. Pensa-se, então, que deveria ter sido utilizado um cenário muito menos complexo para simplificar a tarefa e receber mais testes viáveis. Seria interessante criar outro cenário mais simples, ou simplificar o VR Design para a realização de novas avaliações heurísticas com outros especialistas e, desta forma, obter mais respostas satisfatórias, aumentando o espaço amostral do teste.

A quantidade de heurísticas do conjunto inicial também ficou grande e assustou alguns especialistas, que ao ver a complexidade da tarefa e a quantidade de heurísticas declinaram do teste, avaliaram parcialmente ou não avaliaram com a profundidade desejada pelo autor desta tese. Houve a recomendação de reduzir a quantidade das heurísticas para simplificar seu uso e até mesmo torná-las mais atrativas para serem utilizadas por outros especialistas. O checklist desenvolvido também ficou grande e complexo, apenas um especialista que realizou o teste se

baseou nele. Nesse ponto, avançou-se pouco devido à falta de dados que sugerissem melhorias no checklist. Assim, será necessário realizar mais testes para refinar o checklist, deixando-o mais fácil de ser utilizado.

Quanto aos erros encontrados pelas heurísticas, poderia ser realizado testes com usuários para saber se são erros reais, ou seja, erros que realmente comprometeriam a experiência destes usuários.

Nossa pesquisa, a princípio, foi focada em aplicações educacionais de RV semi-imersiva. Porém, com as heurísticas criadas como resultado desta pesquisa, percebeu-se que apenas a heurística H-11 Aprendizagem facilitada e percebida é específica para aplicações educacionais. As outras heurísticas desenvolvidas acabaram sendo mais genéricas dentro do contexto da RV semi-imersiva, podendo ser utilizadas para avaliar qualquer aplicação de RV pertencentes a este grupo. Mas este fato ainda deverá ser comprovado através de testes novos com outros tipos de aplicações de RV semi-imersivas voltadas para outras finalidades.

Também não foram realizados testes contra outros conjuntos de heurísticas existentes para saber se as propostas por esta tese possuem desempenho mais adequado quando comparadas com as heurísticas destes outros conjuntos. Deverão ser realizados estes testes em trabalhos futuros para consolidar ainda mais o conjunto de heurísticas proposto e obter mais informações sobre este, realizando mais refinamentos.

Por fim, a partir dos dados levantados, e dos resultados obtidos, percebemos, que esta pesquisa tem algumas contribuições a dar.

A primeira é o desenvolvimento de uma nova metodologia para criação de heurísticas de domínio específico, com a demonstração de sua aplicação e validação de seus resultados.

Há poucas pesquisas que se propuseram a criar heurísticas voltadas para realidade virtual de uma maneira geral. Sendo assim, outra contribuição desta pesquisa encontra-se na criação de heurísticas novas e inéditas, para avaliar ambientes de realidade virtual semi-imersivos, voltadas para aplicações educacionais. Até o presente momento da elaboração desta tese, não havíamos encontrado estudos que desenvolveram heurísticas para este domínio específico de aplicação. As heurísticas existentes de domínio específico de RV encontradas são para sistemas imersivos, realizados geralmente com HMD e CAVE, e não semi ou não imersivos como a RV semi-imersiva. Por isso deixam de contemplar diversos fatores que são chave para o sucesso de aplicações semi-imersivas, por exemplo, fatores emocionais que proporcionem o envolvimento e engajamento do usuário com a aplicação, aumentando sua sensação de presença e imersão, uma vez que são ambientes semi-imersivos.

Outra contribuição, neste caso para o design, especificamente design de interação, ou design de experiência de usuário, é a criação de heurísticas que vão auxiliar os designers a avaliar melhor a experiência apresentada por estes ambientes, aumentando a eficiência e eficácia de ambientes educacionais de RV semi-imersiva.

Espera-se que pelo conjunto de heurísticas criado, possam as avaliações de ambientes semi-imersivos de RV serem mais claras, fáceis e eficazes, contribuindo, assim, não apenas para a criação de ambientes melhores, mas para ambientes que proporcionem uma excelente experiência de usuário, impulsionando um aumento da utilização destes ambientes no ambiente acadêmico.

Espera-se que esta pesquisa traga novas luzes para a RV semi-imersiva, e que através dela os educadores e instituições de ensino passem a ver vantagens na utilização desta tecnologia, e assim esta modalidade de RV possa ser mais atraente ainda, e possa se popularizar, para que tanto educadores como estudantes possam se apropriar e se beneficiar dela.

Como trabalhos futuros, ressalte-se a utilização dessas heurísticas para testar outras aplicações educacionais de realidade virtual semi-imersiva, para reforçar ainda mais a sua validade. Mais avaliações heurísticas também podem ser realizadas por especialistas, em outras aplicações, verificando a sua eficácia.

Há também a possibilidade da realização de testes de usuário para, eventualmente, a detecção de algum erro que não tenha sido coberto pelas heurísticas. Estas questões não puderam ser solucionadas devido à limitação do tempo disponível para que a realização de mais testes com aplicações diferentes e testes com usuários pudessem ser feitos.

Também serão realizados a avaliação por opinião de especialistas, como forma de levantar mais dados sobre o novo conjunto de heurísticas e realizar refinamentos conforme as sugestões dadas por eles.

Será feito o teste de avaliação heurística com um cenário mais simples, para que os avaliadores tenham menos problemas que atrapalhem a detecção dos erros.

Serão realizados mais avaliações heurísticas, testando as heurísticas propostas por esta tese contra os outros conjuntos de heurísticas pesquisados, os conjuntos propostos por Muñoz et al. (2011), Rusu et al. (2011), Muñoz e Chalegre (2012) e Murtza et al. (2017), como heurísticas de controle. Assim, poderemos testar e validar se as heurísticas propostas também têm um desempenho superior contra estes outros conjuntos de heurísticas.

O conjunto de heurísticas proposto por esta tese será continuamente refinado, sendo adaptado para novas tecnologias relacionadas à RV não-imersiva, conforme surjam. A metodologia utilizada possibilita este fato, pois permite que as iterações e ações entre os

estágios da metodologia possam ser repetidas quantas vezes for necessário, retornando a estágios anteriores para refinar ou acrescentar dados, repetindo o processo, para melhorar cada vez mais o conjunto heurístico proposto (QUINONES, 2018).

O conjunto de heurísticas aqui proposto, apesar de ter sido focado no caso educacional, possui, em sua maioria, heurísticas de características gerais dentro da RV semi-imersiva. Sendo assim, serão realizados mais testes e estudos, com testes de avaliação heurística com ambientes de RV semi-imersiva fora do campo educacional. Com isto, deseja-se saber se o conjunto de heurísticas aqui proposto pode abranger todas as aplicações de RV semi-imersiva.

Pensa-se que as heurísticas propostas neste trabalho também podem ser adaptadas, futuramente, para aplicações totalmente imersivas de realidade virtual, como as realizadas com HMD ou CAVE. Para isso, como trabalhos futuros, também serão propostos a realização de mais pesquisas para a adaptação destas heurísticas para estes domínios, ou complementar esta lista com heurísticas novas que contemplem aplicações de RV imersiva, visto que, para o conjunto de heurísticas que foi desenvolvido, não apenas foi constituído de heurísticas novas voltadas para aplicações semi-imersivas de RV, como também em heurísticas adaptadas a partir de heurísticas que eram utilizadas para realidade virtual do tipo imersiva. Pode-se, através de mais pesquisas, desenvolver heurísticas para RV imersiva que sejam mais adaptadas às tecnologias atuais.

Pensa-se também que o campo da realidade virtual imersiva pode se beneficiar dos estudos realizados por esta tese, para a proposição de heurísticas novas que possam contemplar estas aplicações, através da utilização da metodologia aqui proposta. Pensa-se que as pesquisas aqui realizadas podem ser um bom ponto de partida para estudos voltados para a RV imersiva, culminando na criação de heurísticas mais atuais para avaliar estes ambientes de RV.

Também pretende-se continuar trabalhando no aprimoramento, melhoramento e expansão do VR Design, a aplicação de RV semi-imersiva desenvolvida a partir dos estudos desta tese, criando novas fases com novos temas, separando as fases, cada uma com uma área de design (produto, moda, gráfico etc.) e refinando-o com base nas informações fornecidas pela avaliação heurística realizada. Futuramente, espera-se incorporá-lo como parte das disciplinas lecionadas pelo autor desta tese, e testar sua aplicação prática no dia a dia do ensino/aprendizado, como ferramenta auxiliar às aulas presenciais e metodologias tradicionais de ensino.

REFERÊNCIAS

- ABT, C., **Serious Games**, University Press of America/Viking Press, USA, 1970
- ABICHANDANI, P. et al. Solar Energy Education Through a Cloud-Based Semi-immersive Virtual Reality System. *IEEE Access*, v. 7, p. 147081-147093, 2019.
- AL- QAHTANI, A. A., & HIGGINS, S. E. (2013). **Effects of traditional, blended and e-learning on students' achievement in higher education**. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 220-234.
- ALROOBAEA, R. **Developing Specific Usability Heuristics for Evaluating the Android Applications**. In: *International Conference on Mobile and Wireless Technology*. Springer, Singapore, 2017. p. 139-147.
- APPLE COMPUTER, INC. **Macintosh human interface guidelines: human interface principles**. Reading, MA: AddisonWesley, 1995.
- AZIZ, E., et al. **Virtual mechanical assembly training based on a 3D game engine**. *Computer-Aided Design and Applications*, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2015.
- BAGHAEI, N. et al. **Diabetic Mario: Designing and evaluating mobile games for diabetes education**. *Games for health journal*, v. 5, n. 4, p. 270-278, 2016.
- BARRETT, M.; BLACKLEDGE, J., **Evaluation of a prototype semi-immersive virtual reality model developed to enhance electrical safety and design in the built environment**. *ISAST Trans. on Computing and Intelligent Systems*, v. 3, p. 3, 2012.
- BARRETT, M.; BLACKLEDGE, J. **Development and evaluation of a semi-immersive vr system for electrical services engineers**. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, v. 2, 2013
- BARRETT, T., et al. **Constrained interactivity for relating multiple representations in science: When virtual is better than real**. *Computers & Education*, v. 81, p. 69-81, 2015.
- BASHIR, M.; FAROOQ, A., EUHSA: **Extending usability heuristics for smartphone application**. *IEEE Access*, v. 7, p. 100838-100859, 2019.
- BASTIEN, C.; SCAPIN, D. **Ergonomic criteria for the evaluation of human computer interfaces**. INRIA, 1993.
- BENNETT, J.; SAUNDERS, C. **A virtual tour of the cell: Impact of virtual reality on student learning and engagement in the STEM classroom**. *Journal of microbiology & biology education*, v. 20, n. 2, 2019.
- BERKI, B., **Experiencing the Sense of Presence within an Educational Semi-immersive Virtual Reality**. *Acta Polytechnica Hungarica*, v. 17, n. 2, 2020.
- BOBER, M., **Games-based experiences for learning**. Manchester Metropolitan University, 2010.

BORSCI, S. et al. **When simulated environments make the difference: the effectiveness of different types of training of car service procedures.** 2016

BRYSON, S. **Virtual Reality: A Definition History-A Personal Essay.** arXiv e-prints, p. arXiv: 1312.4322, 2013.

BUCHANAN, K., **Beyond attention-getters: Designing for deep engagement** (Unpublished doctoral dissertation). Michigan: Michigan State University, 2006.

BULLOCK, K.; WON, A.; BAIENSON, J.; FRIEDMAN, R., **Virtual Reality-Delivered Mirror Visual Feedback and Exposure Therapy for FND: A Midpoint Report of a Randomized Controlled Feasibility Study.** The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences, (2019) doi.org/10.1176/appi.neuropsych.19030071.

BUTTUSSI, F.; CHITTARO, L. **Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario.** IEEE transactions on visualization and computer graphics, v. 24, n. 2, p. 1063-1076, 2017.

CANO P., et al. **Advanced virtual reality-based rehabilitation of balance and gait in clinical practice. Therapeutic advances in chronic disease,** v. 10, p. 2040622319868379, 2019.

CHAMBERS, T. et al. **Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system.** Virtual Reality, v. 16, n. 1, p. 45-55, 2012.

CHANG, C.; SHU, K.; LIANG, C.; TSENG, J.; HSU, Y.; **Is blended e-learning as measured by an achievement test and self-assessment better than traditional classroom learning for vocational high school students?** The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 15(2), 213-231, 2014.

CHEN, C.; LAU, S.; TEH, C. **A feasible group testing framework for producing usable virtual reality learning applications.** Virtual Reality, v. 19, n. 2, p. 129-144, 2015

CHO, Y, YIM, S, PAIK, S., **Physical and social presence in 3D virtual role-play for pre-service teachers.** The Internet and Higher Education, v. 25, p. 70-77, 2015

CHRASIL, E.; WARREN, W., **Active and passive contributions to spatial learning.** Psychonomic bulletin & review, v. 19, n. 1, p. 1-23, 2012.

COGDILL, K. **MEDLINE plus interface evaluation.** Disponível em: <<http://en.scientificcommons.org/42873753>>. Acesso em: 21 ago. 2020.

CSIKSZENTMIHALYI, M., **Flow: The psychology of optimal experience.** New York: Harper & Row, 1990.

CORBY, Kate. **Technology and quality in educational scholarly communication.** Behavioral & Social Sciences Librarian, v. 26, n. 3, p. 7-19, 2008.

CYBIS, W. - **Princípios e Recomendações ergonômicas para concepção de programas e aplicações para a Tv de Cybis,** 2010

CZIKSENTMIHALYI, M., **Flow – The Psychology of optimal experience** USA. HarperCollins, 2008.

DA COSTA, R. et al. **Set of usability heuristics for quality assessment of mobile applications on smartphones.** IEEE Access, v. 7, p. 116145-116161, 2019.

DEDE, C., **Millennial learning styles.** Educause Quarterly, 28(1), pp.7-12, 2005.

DEGLI I., et al. **Mobile virtual reality for musical genre learning in primary education.** **Computers & Education**, v. 139, p. 102-117, 2019.

DÍAZ, J.; RUSU, C.; COLLAZOS, C., **Experimental validation of a set of cultural-oriented usability heuristics: e-Commerce websites evaluation.** Computer Standards & Interfaces, v. 50, p. 160-178, 2017. – Utilizou a metodologia Rusu (et al. 2011)

DOWDING, D.; MERRILL, J. **The development of heuristics for evaluation of dashboard visualizations.** Applied clinical informatics, v. 9, n. 3, p. 511, 2018.

DRYSDALE, J., GRAHAM, C., SPRING, K., HALVERSON, L., (2013). **An analysis of research trends in dissertations and theses studying blended learning.** **The Internet and Higher Education**, 17, 90-100.

DODD, B.; ANTONENKO, P., **Use of signaling to integrate semi-immersiva virtual reality and online learning management systems.** Computers & Education, v. 59, n. 4, p. 1099-1108, 2012.

DUBOVI, I.; LEVY, S.; DAGAN, E. **Now I know how! The learning process of medication administration among nursing students with non-immersive semi-immersiva virtual reality simulation.** Computers & Education, v. 113, p. 16-27, 2017.

DÍAZ, J.; RUSU, C.; COLLAZOS, C. **Experimental validation of a set of cultural-oriented usability heuristics: e-Commerce websites evaluation.** Computer Standards & Interfaces, v. 50, p. 160-178, 2017.

DEGGIM, S. et al. **Segeberg 1600–reconstructing a historic town for virtual reality visualisation as an immersive experience.** The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 42, p. 87, 2017.

DUL, J.; WEERDMEEESTER B., **Ergonomia prática.** São Paulo: Edgar Blücher, 1991.

DIX, A. et al. **Human computer interaction.** Upper Saddle River: Prentice Hall,1998.

DYER, E.; SWARTZLANDER, B.; GUGLIUCCI, M. **Using virtual reality in medical education to teach empathy.** Journal of the Medical Library Association: JMLA, v. 106, n. 4, p. 498, 2018.

DRESCH, A.; LACERDA, D.; JÚNIOR, J. A. V. A., **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Bookman Editora, 2015.

ENDSLEY, T. et al. **Augmented reality design heuristics: Designing for dynamic interactions.** In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.** Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2017. p. 2100-2104.

ERICKSON, T.; KELLOGG, W. **Social translucence: an approach to designing systems that support social processes.** *ACM Transactions on ComputerHuman Interaction*, v. 7, n. 1, 2000.

ELGAMAL, A., et al. **The Effectiveness of a proposed system Based on semi-imersiva virtual reality to promote the basic concepts of Computer security.** *International Journal Computer Technology & Applications*, v. 3, 2012.

FAUVILLE, G., QUEIROZ, A., BAIENSON, J. (2020) **Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness.** In Kim, J. & Song, H (Ed.) *Technology and Health: Promoting Attitude and Behavior Change* (pp. 91-108). Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-816958-2.00005-8

FENG, Z. et al. **Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review.** *Computers & Education*, v. 127, p. 252-266, 2018.

FERATI, M.; BEYENE, W. **Developing heuristics for evaluating the accessibility of digital library interfaces.** In: *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction.* Springer, Cham, 2017. p. 171-181.

FIGUEROA, I. et al. **Developing usability heuristics with PROMETHEUS: A case study in virtual learning environments.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 65, p. 132-142, 2019.

FitzGerald, E.; Kucirkova, N.; Jones, A.; Cross, S.; Ferguson, R.; Herodotou, C.; Hillaire, G.; Scanlon, E. **Dimensions of personalisation in technology-enhanced learning: A framework and implications for design.***Br. J. Educ. Technol.*, 49, 165–181. 2018.

FOMINYKH, M.I et al. **Increasing immersiveness into a 3D virtual world: motion-tracking and natural navigation in vAcademia.** *Ieri Procedia*, v. 7, p. 35-41, 2014.

FOMINYKH, M. et al. **Boundary objects in collaborative work and learning.** *Information Systems Frontiers*, v. 18, n. 1, p. 85-102, 2016.

FOKIDES, E.; ATSIKPASI, P. **Development of a model for explaining the learning outcomes when using 3D virtual environments in informal learning settings.** *Education and Information Technologies*, v. 23, n. 5, p. 2265-2287, 2018.

FOKIDES, E.; CHACHLAKI, F. **3D Multiuser Virtual Environments and Environmental Education: The Virtual Island of the Mediterranean Monk Seal.** *Technology, Knowledge and Learning*, v. 25, n. 1, p. 1-24, 2020

FORBELLONE, A., **Lógica de Programação – A Construção de Algoritmos e Estruturas de Dados – São Paulo: - MAKRON, 2005**

FRANCO, S., **O Construtivismo e a educação, Porto Alegre, mediação, 2000**

BORSCI, S. et al. **When simulated environments make the difference: the effectiveness of different types of training of car service procedures.** *Virtual reality*, v. 20, n. 2, p. 83-99, 2016.

FRANCO, N. **Customizing Usability Heuristics for Augmentative and Alternative Communication Systems.** In: Proceedings of the Euro American Conference on Telematics and Information Systems. 2018. p. 1-7.

FRANKLIN, F.; BREYER, F.; KELNER J., **Heurísticas de Usabilidade para Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada,** in XVI Symposium on Virtualand Augmented Reality (SVR), pp. 53–62, 2014.

GARCÍA, A., et al. **Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines.** *Virtual Reality*, v. 20, n. 1, p. 27-40, 2016.

GADELHA, R. **Revolutionizing Education: The promise of virtual reality.** *Childhood Education*, v. 94, n. 1, p. 40-43, 2018

GARCÍA-BRAVO, S. et al. **Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review.** *Disability and Rehabilitation*, p. 1-10, 2019.

GIRAFFA, L. M. M.; DOS SANTOS M. S. **Being a digital teacher: myths, dilemma and challenges for 21st century teachers.** In: EDULEARN12, the 4th annual International Conference on Education and New Learning Technologies, 2012, Espanha. 2012.

GLASSER, W., **Teoria da escolha, Uma Nova Psicologia de Liberdade Pessoal.** Editora: Mercuryo, São Paulo, 2001

GUJJAR, K. et al. **Virtual reality exposure therapy for the treatment of dental phobia: A controlled feasibility study.** *Behavioural and cognitive psychotherapy*, v. 46, n. 3, p. 367-373, 2018.

GUMUSSOY, C. **Usability guideline for banking software design.** *Computers in Human Behavior*, v. 62, p. 277-285, 2016.

G1: MEC diz que cursos presenciais de universidades federais podem ter 40% das aulas na modalidade EAD <https://g1.globo.com/educacao/noticia/2019/12/11/mec-diz-que-cursos-presenciais-de-universidades-federais-podem-ter-40percent-das-aulas-na-modalidade-ead.ghtml> acessado em 14/09/2020

http://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2019/apresentacao_censo_superior2018.pdf acessado em 28 de agosto de 2020

HAMZA, M., (2015). **Effectiveness of using blended learning versus traditional teaching on the nursing students' performance** (Masters thesis, Cairo: Ain Shams University). Retrieved de: <http://www.philadelphia.edu.jo/newlibrary/eng/english-books/671-english-books/102213-engb-102213>

HAN, S. et al. **Telepresence, time distortion, and consumer traits of virtual reality shopping.** *Journal of Business Research*, v. 118, p. 311-320, 2020.

HÄFNER, P. et al. **The impact of motion in virtual environments on memorization performance.** In: 2013 IEEE international conference on computational intelligence and virtual environments for measurement systems and applications (CIVEMSA). IEEE, 2013. p. 104-109.

HARRINGTON, M., **The virtual trillium trail and the empirical effects of freedom and fidelity on discovery-based learning.** *Virtual Reality*, v. 16, n. 2, p. 105-120, 2012.

HERMAWATI, S.; LAWSON, G. **Establishing usability heuristics for heuristics evaluation in a specific domain: Is there a consensus?** *Applied ergonomics*, v. 56, p. 34-51, 2016.

HERMAWATI, S. AND LAWSON, G. **A user-centric methodology to establish usability heuristics for specific domains,** in *Proceedings of the International Conference on Ergonomics & Human Factors*, pp. 80–85, 2015.

HERNÁNDEZ, Y. et al. **Designing Empathetic Animated Agents for a B-Learning Training Environment within the Electrical Domain.** *Educational Technology & Society*, v. 19, n. 2, p. 116-131, 2016.

HERRERA, F.; OH, S.; BAIENSON, J.; **Effect of Behavioral Realism on Social Interactions Inside Collaborative Virtual Environments.** *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, 2019.

HEVNER, A.; MARCH, S.; PARK, J.; RAM S., **Design science in information systems research,** *J. MIS Q.* 28 (1) (2004) 75–105.

HOAREAU, C., et al. **Evaluation of internal and external validity of a virtual environment for learning a long procedure.** *International Journal of Human–Computer Interaction*, v. 33, n. 10, p. 786-798, 2017.

HOLMSTROM, H.; JAKOBSSON, M. **Using models in virtual world design,** in *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. HICSS '34. Big Island, USA: IEEE Computer Society, 2001.

Hörak, H. **Computer Vision-Based Unobtrusive Physical Activity Monitoring in School by Room-Level Physical Activity Estimation: A Method Proposition.** *Information*, 10, 269, 2019.

HUANG, H.; LIAW, S.; LAI, C. **Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of semi-immersive and projection-based display systems.** *Interactive Learning Environments*, v. 24, n. 1, p. 3-19, 2016.

HUANG, K. et al. **Augmented versus virtual reality in education: an exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications.** *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, v. 22, n. 2, p. 105-110, 2019.

Hub, M.; Čapková, V., **Heuristic evaluation of usability of public administration portal, in: DEO**, Applied Computer Science, Proceedings of International Conference on Applied Computer Science (ACS). Malta: WSEAS Press, 2010.

HU, X.; SU, Rui; H., **The Research on Chinese Idioms Educational Games in TCFL Based on Virtual Reality**. In: ITM Web of Conferences. EDP Sciences, 2016. p. 09011

IBRAHIM, N.; ALI, N. **A conceptual framework for designing virtual heritage environment for cultural learning**. Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), v. 11, n. 2, p. 1-27, 2018.

IÑIGUEZ-JARRÍN, C.; PANACH, I.; LÓPEZ, O. **Improvement of usability in user interfaces for massive data analysis: an empirical study**. Multimedia Tools and Applications, p. 1-32, 2020.

INOSTROZA, R. et al. **Developing SMASH: A set of SMARtphone's uSability Heuristics**. Computer Standards & Interfaces, v. 43, p. 40-52, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **International Eletrotechnical Comission (ISO/IEC)**. Norma n° 9126. software engineering: product quality – part1: quality and interaction, 1991.

IQUIRA, D.; SOTELO, B.; SHARHORODSKA, O. **A Gamified Mobile-Based Virtual Reality Laboratory for Physics Education: Results of a Mixed Approach**. In: International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2019. p. 247-254.

IRIZARRY, J. et al. **Human computer interaction modes for construction education applications: Experimenting with small format interactive displays**. International Journal of Construction Education and Research, v. 9, n. 2, p. 83-101, 2013.

JIMENEZ, C.; CID, H.; FIGUEROA, I. **PROMETHEUS: Procedural methodology for developing heuristics of usability**. IEEE Latin America Transactions, v. 15, n. 3, p. 541-549, 2017.

JIMENEZ, C.; LOZADA, P.; ROSAS, P. **Specific-Domain Usability Heuristics: Are they really necessary?** Revista Romana de Interactiune Om-Calculator, v. 10, n. 1, p. 1-24, 2017.

JOHNSTON, A.; PICKRELL, M. **Designing for technicians working in the field: 8 usability heuristics for mobile application design**. In: Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction. 2016. p. 494-498.

JOO, S. et al. **Effects of virtual reality-based rehabilitation on burned hands: a prospective, randomized, single-blind study**. Journal of clinical medicine, v. 9, n. 3, p. 731, 2020.

JORDAN, P. **An introduction to usability**. Londres: Taylor & Francis Ltda., 1998.

JUN, H.; MILLER M.; HERRERA, F.; REEVES, B.; & BAIENSON, J., (2020). **Stimulus Sampling with 360-Videos: Examining Head Movements, Arousal, Presence, Simulator Sickness, and Preference on a Large Sample of Participants and Videos**. IEEE Transactions on Affective Computing, 5 (2), 112-125.

JUNG, Y.; KANG, H. **“User goals in social virtuais worlds: A means-end chain approach”**, Computers in Human Behavior, vol. 26 (2010), pp. 218–225.)

KAMIŃSKA, D. et al. **Virtual reality and its applications in education: Survey**. Information, v. 10, n. 10, p. 318, 2019

Kaye, A.T.; Rumble, G. **Distance Teaching for Higher and Adult Education; Routledge: Abingdon, UK, 2018.**

KHAN, R. et al. **Virtual reality simulation training in endoscopy: a Cochrane review and meta-analysis**. Endoscopy, v. 51, n. 07, p. 653-664, 2019.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Realidade Virtual e Aumentada: conceitos, projetos e aplicações**. Livro do pré-simpósio. In: **IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis–RJ**. 2007.

KUMAR, B.; GOUNDAR, M.; CHAND, S. **Usability guideline for Mobile learning applications: an update**. **Education and Information Technologies**, v. 24, n. 6, p. 3537-3553, 2019.

KOZHEVNIKOV, M.; GURLITT, J.; KOZHEVNIKOV, M. **Learning relative motion concepts in immersive and non-immersive virtual environments**. Journal of Science Education and Technology, v. 22, n. 6, p. 952-962, 2013.

KÖLLING, M.; MCKAY, F. **Heuristic evaluation for novice programming systems**. ACM Transactions on Computing Education (TOCE), v. 16, n. 3, p. 1-30, 2016.

LAZAR, I.; PANISOARA, I. **Understanding the role of modern technologies in education: A scoping review protocol**. Psychreg J. Psychol., 2, 74–86, 2018

LOHMÜLLER, V.; SCHMADERER, D.; WOLFF, C. **A Heuristic Checklist for Second Screen Applications**. i-com, v. 18, n. 1, p. 55-65, 2019.

LOPEZ, J. et al. **An Aging-focused Heuristic Evaluation of Home Automation Controls**. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2019. p. 6-10.

LIANG, W. **Scene art design based on human-computer interaction and multimedia information system: an interactive perspective**. Multimedia Tools and Applications, v. 78, n. 4, p. 4767-4785, 2019.

LEVERENZ, Tiffany. **The development and validation of a heuristic checklist for clinical decision support mobile applications**. 2019. Tese de Doutorado. Wichita State University.

LEE, Y.; LEE, J. **A checklist for assessing blind users’ usability of educational smartphone applications**. Universal Access in the Information Society, p. 1-18, 2019.

LUURSEMA, J.; VORSTENBOSCH, M.; KOOLOOS, J. **Stereopsis, visuospatial ability, and virtual reality in anatomy learning**. Anatomy research international, v. 2017, 2017.

LIKER, J.; MAJCHRZAK, A. **Designing the human infrastructure of technology.** In KARWOWSKI, W.; SALVENDY, G. *Human Factors in Advanced Manufacturing.* NY: Wiley, 1993.

LEE, C.; SIDHU, M. **Engineering students learning preferences in UNITEN: Comparative study and patterns of learning styles.** *Journal of Educational Technology & Society*, v. 18, n. 3, p. 266-281, 2015.

LORENZO, G. et al. **The application of immersive virtual reality for students with ASD: A review between 1990–2017.** *Education and Information Technologies*, v. 24, n. 1, p. 127-151, 2019.

LAM, M. et al. **Interaction techniques in semi-immersive virtual environment: the study of visual feedback and precise manipulation method.** *Multimedia Tools and Applications*, v. 77, n. 13, p. 16367-16398, 2018.

LAUESSEN, S.; Younessi, H. **Six styles for usability requirements.** In: *Requirements Engineering: Foundations of Software Quality*, 4 jun. 1998 Pisa. Namur: Presses Universitaires de Namur, 1988.

LEÃO, D.; MARIA M., **Paradigmas contemporâneos de educação: escola tradicional e escola construtivista,** *Cadernos de Pesquisa*, nº 107, p. 187-206, julho/1999.

LECHNER, B.; FRUHLING, A.; PETTER, S.; SIY, H. **The chicken and the pig: user involvement in developing usability heuristics,** in: *Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems*, 2013.

LEE, E.; WONG, K. **Learning with semi-immersive virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected.** *Computers & Education*, v. 79, p. 49-58, 2014.

LUCIANO, D.: **Disney não irá mais distribuir mídias físicas em toda América Latina**, tudo geek, 28 de agosto de 2020 https://www.tudogeek.com.br/noticias/disney-nao-ira-mais-distribuir-midias-fisicas-em-toda-america-latina/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=disney-nao-ira-mais-distribuir-midias-fisicas-em-toda-america-latina acessado em 13/09/2020

MACEDO, L., **Aprender com jogos e situações-problema.** Porto Alegre: Artes Médicas, (2000).

MACHADO, M.; FERREIRA, R.; ISHITANI, L. **Heuristics and Recommendations for the Design of Mobile Serious Games for Older Adults.** *International Journal of Computer Games Technology*, v. 2018, 2018.

MANDEL, T. **The elements of user interface.** New York: John Wiley and Sons, 1997.

MARKOWITZ, D., et al. **Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change.** *Frontiers in psychology*, v. 9, p. 2364, 2018.

MAKRANSKY, G.; BORRE- GUDE, S.; MAYER, R. **Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments.** *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 35, n. 6, p. 691-707, 2019.

MAKRANSKY, G.; LILLEHOLT, L. **A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education.** *Educational Technology Research and Development*, v. 66, n. 5, p. 1141-1164, 2018.

MAKRANSKY, G.; PETERSEN, G. **Investigating the process of learning with semi-immersiva virtual reality: A structural equation modeling approach.** *Computers & Education*, v. 134, p. 15-30, 2019.

MAKRANSKY, G. et al. **Investigating the feasibility of using assessment and explanatory feedback in semi-immersiva virtual reality simulations.** *Educational Technology Research and Development*, v. 68, n. 1, p. 293-317, 2020.

MARTIROSOV, S.; KOPECEK, P. **Virtual reality and its influence on training and education-literature review.** *Annals of DAAAM & Proceedings*, v. 28, 2017.

MEMIKOĞLU, İ. **Utilization of Second Life as a tool for spatial learning in interior architecture.** *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 116, p. 1288-1292, 2014.

MERCHANT, Z. et al. **Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis.** *Computers & Education*, v. 70, p. 29-40, 2014.

MERCHANT, Z., et al. **The learner characteristics, features of semi-immersiva 3D virtual reality environments, and college chemistry instruction: A structural equation modeling analysis.** *Computers & Education*, v. 59, n. 2, p. 551-568, 2012.

MESE, C.; D., O., **Effectiveness of Gamification Elements in Blended Learning Environments.** *Turkish Online Journal of Distance Education*, v. 20, n. 3, p. 119-142, 2019.

MICHALOS, G. et al. **Workplace analysis and design using virtual reality techniques.** *CIRP Annals*, v. 67, n. 1, p. 141-144, 2018.

MILOFF, A. et al. **Automated virtual reality exposure therapy for spider phobia vs. in-vivo one-session treatment: A randomized non-inferiority trial.** *Behaviour research and therapy*, v. 118, p. 130-140, 2019.

MOSQUEIRA-REY, E; ALONSO-RÍOS, D. **Usability heuristics for domain-specific languages (DSLs).** In: *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. 2020. p. 1340-1343.

MUHANNA, M.; AMRO, R.; QUSEF, A. **Using a new set of heuristics in evaluating Arabic interfaces.** *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, v. 32, n. 2, p. 248-253, 2020.

MUÑOZ, R.; BARCELOS, T.; CHALEGRE, V. **Defining and validating virtual worlds usability heuristics**. In: 2011 30th International Conference of the Chilean Computer Science Society. IEEE, 2011. p. 171-178.

MUNOZ, R.; CHALEGRE, V. **Defining virtual worlds usability heuristics**. In: 2012 Ninth International Conference on Information Technology-New Generations. IEEE, 2012. p. 690-695.

MURTZA, R.; MONROE, S.; YOUMANS, R. **Heuristic evaluation for virtual reality systems**. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2017. p. 2067-2071.

MYLLY, S.; RAJANEN, M.; IIVARI, N. **Usable Usability Heuristics for Game Developers**. 2019.

NIEMELÄ, P.; ISOMÖTTÖNEN, V.; LIPPONEN, L., **Successful design of learning solutions being situation aware**. Education and Information Technologies, v. 21, n. 1, p. 105-122, 2016.

NIELSEN, J. **Ten usability heuristics**. Disponível em: <http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html>. Acesso em: 17 abr. 2020.

NORMAN, K., **The psychology of menu selection: designing cognitive control at the human/computer interface**. Ablex Publishing Corporation, 2003.

NBR 9241-11: **requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores**. Parte 11 — orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, 2002. <<http://www.ibict.br/cienciadainformacao/viewarticle.php?id=320>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

OBBERDÖRFER, S.; LATOSCHIK, M. **Knowledge encoding in game mechanics: Transfer-oriented knowledge learning in semi-imersiva-3d and vr**. International Journal of Computer Games Technology, v. 2019, 2019

OGBUANYA, T.; ONELE, N., **Investigating the effectiveness of semi-imersiva virtual reality for teaching and learning of electrical/electronics technology in universities**. Computers in the Schools, v. 35, n. 3, p. 226-248, 2018.

OLIVEIRA, E. **Usabilidade em ambientes de realidade virtual: verificação de eficácia de avaliações heurísticas em ambientes de realidade virtual imersivos em games**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

OMAR, K.; RAPP, B.; GÓMEZ, J. **Heuristic evaluation checklist for mobile ERP user interfaces**. In: 2016 7th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS). IEEE, 2016. p. 180-185.

OREN, T.; YILMAZ, L. **Quality principles for the ergonomics of human-computer interfaces modeling and simulation of software**. In: INTERNATIONAL.

ØVSTEGÅRD, K., **Heuristic Evaluation and Usability Heuristics in Virtual Reality**. 2019. Dissertação de Mestrado. NTNU.

PALLAVICINI, F.; PEPE, A.; MINISSI, M. **Gaming in virtual reality: What changes in terms of usability, emotional response and sense of presence compared to non-immersive video games?** *Simulation & Gaming*, v. 50, n. 2, p. 136-159, 2019.

PARMAR, D., et al. **A comparative evaluation of viewing metaphors on psychophysical skills education in an interactive virtual environment.** *Virtual Reality*, v. 20, n. 3, p. 141-157, 2016.

PIERRE. R. **Heurísticas em design: uma revisão de literatura.** Monografia, design, FUCAPI, Manaus, 2014, 136 pg.

PINELLE, W.; (2008) - **Avaliação Heurística para jogos: Usabilidade Princípios para o Vídeo Game Design de Pinelle, Wong & Stach**

PENN, M.; RAMNARAIN, U., **South African university students' attitudes towards chemistry learning in a virtually simulated learning environment.** *Chemistry Education Research and Practice*, v. 20, n. 4, p. 699-709, 2019.

PIETROCOLA, M. et al. **Science education in pandemic times: what can we learn from COVID-19 on science technology and risk society.**

POGGENPOHL, S.; SATO, K. **Models of dissertation research in design.** 3rd Doctoral Education in Design Conference, 2003.

PREECE, J. *et al.* **Human computer interaction.** Reading, MA: AddisonWesley, 1994.

PRENSKY, M., **Digital Natives, Digital Immigrants.** MCB University Press, Vol. 9 n. 5, 2001.

PRIBEANU, C. **A revised set of usability heuristics for the evaluation of interactive systems.** *Informatica Economica*, v. 21, n. 3, p. 31, 2017.

PROTOPSALTIS A.; PANNESE L.; PAPPAS D.; e HETZNER S., **Serious Games and formal and Informal Learning.** 2011.

PULJALA, Y. et al. **Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training—a randomized control trial.** *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 76, n. 5, p. 1065-1072, 2018.

QUIÑONES, D. et al. **Developing usability heuristics: a formal or informal process?** *IEEE Latin America Transactions*, v. 14, n. 7, p. 3400-3409, 2016.

QUIÑONES, D. et al. **Developing Usability Heuristics for Grid Computing Applications: Lessons Learned.** In: *Information Technology: New Generations*. Springer, Cham, 2016. p. 485-495.

QUIÑONES, D.; RUSU, C. **How to develop usability heuristics: A systematic literature review.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 53, p. 89-122, 2017.

QUIÑONES, D.; RUSU, C. **Applying a methodology to develop user eXperience heuristics.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 66, p. 103345, 2019.

QUIÑONES, D.; RUSU, C.; RUSU, Vi. **A methodology to develop usability/user experience heuristics.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 59, p. 109-129, 2018.

RADIANTI, J. et al. **A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda.** *Computers & Education*, v. 147, p. 103778, 2020.

RAMACHANDIRAN, C. et al. **Virtual reality based behavioural learning for autistic children.** *The Electronic Journal of e-Learning*, v. 13, n. 5, p. 357-365, 2015.

REIS, S.; GONÇALVES G., O Construtivismo e a educação moderna, Universidade Cândido Mendes, 2002

RENZI, Adriano Bernardo et al. **User experience journey with multiple devices and telepresence during quarantine jornada da experiência do usuário com múltiplos aparatos digitais e telepresença durante quarentena.** *Ergodesign & HCI*, v. 8, n. 1, p. 80-96, 2020.

ROSWELL, R.; COGBURN, C.; TOCCO, J.; MARTINEZ, J.; BANGERANYE, C.; BAIENSON, J.; WRIGHT, M.; MIERES, J.; SMITH, L. (2020) **Cultivating Empathy Through Virtual Reality**, *Academic Medicine*.

RUSU, C. et al. **Usability heuristics for virtual worlds.** In: *Proceedings of the Third International Conference on Advances in Future Internet*, ser. 2011. p. 16-19.

RUSU, C. et al. **Usability heuristics: reinventing the wheel?** In: *International Conference on Social Computing and Social Media*. Springer, Cham, 2016. p. 59-70.

Rusu, C.; Roncagliolo, S.; Rusu, V.; Collazos, C., **A methodology to establish usability heuristics**, in *ACHI2011 in: Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, pp. 59–62, 2011.

RUSU, C.; RUSU, V. **A methodology to develop usability/user experience heuristics.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 59, p. 109-129, 2018.

SAADATZI, M.; et al. **Small-group technology-assisted instruction: Virtual teacher and robot peer for individuals with autism spectrum disorder.** *Journal of autism and developmental disorders*, v. 48, n. 11, p. 3816-3830, 2018.

SALAH, B. et al. **Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0.** *Sustainability*, v. 11, n. 5, p. 1477, 2019.

SALES, D.; VIÉGAS, D.; SILVA, L.; SILVA, A.; LIMA, B. e LOPES, I., **Uso de Metodologias Ativas de Aprendizagem em Escolas de Alternância**, *Revista Espacios*, Caracas, Venezuela, 2019.

SALMAN, E. et al. **Exploring Projection Based Mixed Reality with Tangibles for Nonsymbolic Preschool Math Education.** In: *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. 2019. p. 205-212.

SARITAS, M. **Chemistry Teacher Candidates' Acceptance and Opinions about Virtual Reality Technology for Molecular Geometry**. Educational Research and Reviews, v. 10, n. 20, p. 2745-2757, 2015.

SHACKEL, B., **Usability–Context, framework, definition, design and evaluation**. Interacting with computers, v. 21, n. 5-6, p. 339-346, 2009.

SHNEIDERMAN, B. Designing the user interface: strategies for effective human-computer. **Interaction**, v. 3, 1998.

SENGUPTA, K.; KUMAR, C.; STAAB, S. **Usability heuristics for eye-controlled user interfaces**. In: Proceedings of the 19th European Conference on Eye Movements. Obtido em <http://cogain2017.cogain.org/camready/poster3-Sengupta.pdf>. 2017.

SIM, G.; READ, J. **Using computer- assisted assessment heuristics for usability evaluations**. British journal of educational technology, v. 47, n. 4, p. 694-709, 2016.

SILVIS, I.; BOTHMA, T.; DE BEER, K. **Evaluating the usability of the information architecture of academic library websites**. Library Hi Tech, 2019.

SCAICO, A.; SCAICO, P., **Uso de Jogos em Cursos Introdutórios de Programação no Ensino Superior na Área de Computação: Uma Revisão Sistemática**, Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), 2016.

SCHELL, J.; **The Art of Game Design: A Book of Lenses**. Florida: Crc Press, 2008. 520 p

SEFFAH, A. et al. **Usability measurement and metrics: A consolidated model**. Software quality journal, v. 14, n. 2, p. 159-178, 2006.

SENGUPTA, K.; KUMAR, Ch.; STAAB, S. **Usability heuristics for eye-controlled user interfaces**. In: Proceedings of the 19th European Conference on Eye Movements. Retrieved from <http://cogain2017.cogain.org/camready/poster3-Sengupta.pdf>. 2017.

SMITH, D.; GRANADOS, J.; SUSS, J. **Evaluating the Comprehensiveness of VR PLAY Guidelines Using Elder Scrolls: Skyrim VR**. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2019. p. 2287-2291.

SMITH, J.; SUZUKI, S., (2015). **Embedded blended learning within an Algebra classroom: a multimedia capture experiment**. Journal of Computer Assisted Learning, 31(2), 133-147.

SMITH, S.; MARSH, T., **Evaluating design guidelines for reducing user disorientation in a semi-imersiva virtual environment**. Virtual Reality, v. 8, n. 1, p. 55-62, 2004.

SUN, R.; WU, Y.; CAI, Q. The effect of a virtual reality learning environment on learners' spatial ability. Virtual Reality, v. 23, n. 4, p. 385-398, 2019.

SUTCLIFFE, A.; GAULT, B. **Heuristic evaluation of virtual reality applications**. Interacting with computers, v. 16, n. 4, p. 831-849, 2004.

STROHMANN, T.; HÖPER, L.; ROBBA-BISSANTZ, S. **Design guidelines for creating a convincing user experience with virtual in-vehicle assistants.** 2019.

SUTCLIFFE, A., et al. **Reflecting on the design process for virtual reality applications.** International Journal of Human-Computer Interaction, v. 35, n. 2, p. 168-179, 2019.

Bailey, J.; Bailenson, J.; Obradovic, J.; Aguiar, N., (2019). **Virtual Reality's Effect on Children's Inhibitory Control, Social Compliance, and Sharing.** The Journal of Applied Developmental Psychology.

SVENCER, B., **Edutainment: Entertainment in the K-12 Classroom,** Createspace Independent Publishing Platform, USA 2012.

SWAID, S.; SUID, T. **Usability Heuristics for M-Commerce Apps.** In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 2018. p. 79-88.

TALARICO N. et al. **Developing and evaluating web multimodal interfaces: case study with usability principles.** In: SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING, 2009 Honolulu. 2009. Anais. New York: ACM, 2009, p. 116-120.

TIERI, G. et al. **Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. Expert review of medical devices,** v. 15, n. 2, p. 107-117, 2018.

THITICHAIMONGKHOL, K.; SENIVONGSE, T. **Enhancing usability heuristics for android applications on mobile devices.** In: Proceedings of the world congress on engineering and computer science. 2016. p. 19-21.

TOKEL, S, İSLER, V., **Acceptance of virtual worlds as learning space.** Innovations in Education and Teaching International, v. 52, n. 3, p. 254-264, 2015

TOMLINSON, S.; HENDRICKS, B.; COHEN-GADOL, A. **Immersive three-dimensional modeling and virtual reality for enhanced visualization of operative neurosurgical anatomy.** World neurosurgery, v. 131, p. 313-320, 2019.

TONDELLO, G. et al. **Gameful Design Heuristics: A Gamification Inspection Tool.** In: International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2019. p. 224-244.

TOPU, F. et al. **Information retention's relationships with flow, presence and engagement in guided 3D virtual environments.** Education and Information Technologies, v. 23, n. 4, p. 1621-1637, 2018.

TORRES, E.; MAZZONI, A. **Conteúdos digitais multimídia: o foco na usabilidade e acessibilidade.** Ciência da Informação, Brasília, v. 33, n. 2, p. 10-12. 2004. In: CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERFACE FOR ADVANCES MODELING AND SIMULATION, jan. 2005 New Orleans. San Diego: Society for Computer Simulation International, 2005.

TÜZÜN, H.; ÖZDİNÇ, F. **The effects of 3D multi-user virtual environments on freshmen university students' conceptual and spatial learning and presence in departmental orientation.** Computers & Education, v. 94, p. 228-240, 2016.

VALDEZ, M.; FERREIRA, C.; BARBOSA, F. **Teaching circuit theory using a semi-imersiva VR system. International**. Journal of Engineering Pedagogy (iJEP), v. 3, n. 4, p. 5-9, 2013.

VALDEZ, M.; FERREIRA, C.; BARBOSA, F., **Distance education using a semi-imersiva virtual reality (VR) system**. In: 2013 24th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE 2013). IEEE, 2013. p. 145-150.

VANDERHEIDEN, G. **Fundamental principles and priority setting for universal usability**. In: Conference on universal Usability, 2000. Arlington, VA. New York: ACM, 2000

VAN GREUNEN, D.; YERATZIOTIS, A.; POTTAS, D., **A three-phase process to develop heuristics**, in: Proceedings of the 13th ZA-WWW conference, Johannesburg, South Africa, 2011.

VAN KERREBROECK, H; BRENGMAN, M; WILLEMS, K. **Escaping the crowd: An experimental study on the impact of a Virtual Reality experience in a shopping mall**. Computers in Human Behavior, v. 77, p. 437-450, 2017.

VARGAS G.; ANDRÉS N. et al. **Exploring the virtuality continuum for complex rule-set education in the context of soccer rule comprehension**. Multimodal Technologies and Interaction, v. 1, n. 4, p. 30, 2017.

WANG, P. et al. **A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training**. International journal of environmental research and public health, v. 15, n. 6, p. 1204, 2018.

WEI, Z.; LANDAY, J. **Evaluating speech-based smart devices using new usability heuristics**. IEEE Pervasive Computing, v. 17, n. 2, p. 84-96, 2018

XIA, P., et al. **Li virtual environment system for assembly training of complex products**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 58, n. 1-4, p. 379-396, 2012.

YERATZIOTIS, A.s; POTTAS, D.; VAN G., **A usable security heuristic evaluation for the online health social networking paradigm**. International Journal of Human-Computer Interaction, v. 28, n. 10, p. 678-694, 2012

ZARE, M. et al. **Application of virtual reality to improve physical ergonomics in a control room of a chemical industry**. In: Congress of the International Ergonomics Association. Springer, Cham, 2018. p. 296-308.

ZILLES B.; ZUFFO, M. **Paradigmas da interação humano-máquina em dispositivos de realidade virtual**. I Seminário Internacional de Pesquisa em Mídia e Processos Sociais. São Leopoldo: Unisinos, p. 1-11, 2016.

ZHU, M. et al. **Developing playability heuristics based on nouns and adjectives from online game reviews**. International Journal of Human-Computer Interaction, v. 33, n. 3, p. 241-253, 2017.

ANEXO A – Atualização da revisão e quinones e rusu

Tabela 11 - atualização da revisão e quinones e rusu

	Autor	Título	desenvolvimento de heurística ou metodologia ?	Como as heurísticas foram desenvolvidas, passos, ou metodologia
1	Aklesh et al, 2019	Usability guideline for Mobile learning applications: an update	Desenvolveu heurísticas Domínio: Ensino com tecnologias móveis	Baseado em revisão bibliográfica – levantou 72 problemas de usabilidade relatados na literatura – traduziu os problemas de usabilidade em princípios de usabilidade. Validou as heurísticas, comparando-as com testes com especialistas. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Não apresentou template.
2	Quinones ; Rusu 2019	Applying a methodology to develop user eXperience heuristics	Desenvolveu Heurísticas Domínio: aplicativos de agências de viagens online, sites, redes sociais e videogames.	Baseado em metodologia- Utilizou a metodologia de Quinones e Rusu 2018, que é a metodologia de Rusu aprimorada. A metodologia possui 8 passos: estágio exploratório; estágio experimental; estágio descritivo; estágio correlacional; estágio de seleção; estágio de especificação; estágio de validação; estágio de refinamento. Template: Template padrão proposto em: A methodology to develop usability/user experience heuristics.
3	Silvis et al, 2019	Evaluating the usability of the information architecture of academic library websites	Desenvolveu Heurísticas Domínio: sites de bibliotecas acadêmicas	Realizou uma revisão da literatura Fez uma integração entre as heurísticas encontradas: A integração foi feita comparando as heurísticas de Nielsen (1995b) de Neiderman et al. (2016), as regras de ouro e os princípios de diálogo da ISO (2006). Comparando-as, verificou quais correspondem às suas questões de pesquisa e contribuem para suas explicações, e quais podem ser consideradas novas heurísticas, além de as dez heurísticas. A lista resultante consiste em quatorze heurísticas. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Nome, nome do autor, nome e descrição da heurística.
4	Figueroa et al, 2019	Developing usability heuristics with PROMETHEUS: A case study in virtual learning environments	Desenvolveu heurísticas Domínio: ambientes de aprendizagem virtual	Utilizou a metodologia PROMETHEUS Prometeus tem 8 passos. A metodologia Prometheus pega os 6 passos da metodologia de Rusu (et al. 2011) e adapta. Fase exploratória; Fase descritiva; Estágio correlacional; Estágio explicativo; Estágio de validação; Estágio de refinamento; A 7ª etapa do PROMETHEUS requer a avaliação das heurísticas de domínio que estão sendo

				<p>desenvolvidas, contra um conjunto de heurísticas de controle, por padrão, as heurísticas de Nielsen. Como etapa final, PROMETHEUS requer o cálculo dos indicadores de qualidade, que orientam o processo de refinamento.</p> <p>Template: Tipo da heurística: se é para VLEs ou Nilsen, Identificação, definição da heurística.</p>
5	Lee; Lee, 2019	A checklist for assessing blind users' usability of educational smartphone applications	<p>Desenvolveu uma lista de verificação que podem ser consideradas heurísticas.</p> <p>Domínio: Aplicações educacionais em Smartphones</p>	<p>A revisão compreendeu 4 fases.</p> <p>O objetivo da fase 1 era desenvolver uma versão inicial da lista de verificação que seria validada em fases 2 e 3. Na fase 2, a validação da lista de verificação foi realizada com 10 revisores especialistas. Na fase 3 a segunda lista foi validada por usuários. E revisada de acordo com seus comentários. Na fase 4 essa lista revisada foi testada com dois aplicativos de smartphone.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p> <p>Template: Número do item da checklist, e descrição do item.</p>
6	Kumar; Goundar, 2019	Usability heuristics for mobile learning applications	<p>Desenvolveu heurísticas novas estendendo as de Nilsen.</p> <p>Domínio: Aplicações educacionais móveis.</p>	<p>Foi dividido em quatro partes;</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fonte de dados - envolve a seleção de artigos dos quais os problemas de usabilidade serão extraídos. 2. Categorização do problema -problemas de usabilidade foram extraídos e um mapeamento feito para heurísticas tradicionais. 3. Desenvolvimento das Heurísticas - As novas heurísticas foram desenvolvidas por meio de análise temática dos problemas de usabilidade. 4. Validação heurística. <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p> <p>Template: Nome da heurística, explicação da heurística.</p>
7	DA COSTA, et al 2019	Set of Usability Heuristics for Quality Assessment of Mobile Applications on Smartphones	<p>Desenvolveu heurísticas baseado em revisão da literatura.</p> <p>Domínio: Aplicações móveis em smartphones</p>	<p>Realizou revisão sistemática da literatura para identificar as heurísticas usadas para avaliar a qualidade dos aplicativos móveis. Também para ver se estas heurísticas são efetivas, eficientes e satisfatórias, tendo sempre o usuário no centro das avaliações. Comparou as heurísticas de Nilsen, com outros autores, e listas adaptadas de outros autores.</p> <p>Levantando as heurísticas existentes para o assunto, também identificou a qualidade e métodos de validação destas heurísticas e as métricas utilizadas para verificar a qualidade destas. Com base no cruzamento destas informações, propôs um conjunto de 13 heurísticas de usabilidade.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p> <p>Template: Identificação, Nome, Definição, Explicação, Estudos primários; benefícios associados; e problemas associados à sua interpretação errada.</p>
8	Kumar; et al, 2019	Usability guideline for Mobile learning applications: an update	<p>Nesta pesquisa, propuseram guidelines de usabilidade</p>	<p>O método de obtenção das heurísticas foi realizado baseado em revisão da literatura. A metodologia foi dividida em três partes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fonte de dados – envolve selecionar papéis relevantes a partir dos quais os problemas de usabilidade serão

			<p>atualizadas para auxiliar no processo de design de aplicativos de aprendizagem móvel.</p> <p>Domínio: Aplicações educacionais móveis</p>	<p>identificados e extraídos. 2. Desenvolver heurísticas de usabilidade 3. Atualização das heurísticas 4. Validação das heurísticas. - A lista de 72 problemas extraída na fase “fonte de dados” foi usada para desenvolver as novas heurísticas de usabilidade. As novas heurísticas de usabilidade foram desenvolvidas traduzindo problema usabilidade em princípios.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Dividiu as heurísticas em categorias, como Layout, ajuda e documentação, navegação, organização de conteúdo; e fez a descrição do princípio de usabilidade dentro de cada categoria.</p>
9	Bashir; Farooq, 2019	EUHSA: Extending Usability Heuristics for Smartphone Application	<p>Desenvolveu heurísticas baseadas em falhas de usabilidade relacionadas.</p> <p>Domínio: Aplicativos para smartphones</p>	<p>Em nosso estudo, seguimos a metodologia de 8 etapas atualizada desenvolvida por Rusu et al. (2011), visto que essa metodologia foi aplicada na maioria dos estudos de desenvolvimento de heurísticas de usabilidade específicas para domínios.</p> <p>Passo 1- Estagio Exploratório, Passo2 - Estagio descritivo, Passo 3- Estagio Correlacional, passo 4- Estagio explicativo, passo 5- Validação passo 6 – Refinamento.</p> <p>Template: Número, nome, descrição e explicação da heurística ou princípio.</p>
10	Smith, et al, 2019	Evaluating the Comprehensiveness of VR PLAY Guidelines Using Elder Scrolls: Skyrim VR	<p>Propôs alterações em heurísticas existentes</p> <p>Domínio: Desenvolvimento de jogos de realidade virtual</p>	<p>O autor pegou as heurísticas VR PLAY, que são para o domínio específico de jogos em realidade virtual, e aplicou na avaliação de um jogo, no caso Elder Scrolls: Skyrim VR para encontrar problemas de usabilidade, que foram categorizados usando VR PLAY. A partir daí, encontrou falhas, e propôs heurísticas novas.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Categoria, código da heurística, e descrição.</p>
11	Strohmann, et al, 2019	Design Guidelines for Creating a Convincing User Experience with Virtual In-vehicle Assistants	<p>Desenvolveu heurísticas para a avaliação destes assistentes, que podem ser consideradas heurísticas.</p> <p>Domínio: Assistentes virtuais em veículos</p>	<p>A abordagem desta pesquisa é baseada na metodologia DSR. De acordo com PEFFERS ET AL., O objetivo da DSR é desenvolver um artefato que forneça uma solução para um problema de pesquisa. Tal artefato pode ser, por exemplo, um construto, modelo, método, Instanciação, ou inovação social. Neste caso, o artefato são as heurísticas de design para assistentes virtuais em veículos. Baseou-se em revisão da literatura e em entrevistas com experts para levantar estes princípios de design existentes. Foram utilizados 5 peritos nas entrevistas para criação dos princípios de usabilidades propostos.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Necessidade do assistente do aplicativo, a literatura que suporta o princípio, e a descrição do princípio.</p>
12				

				<p>Fizeram várias alterações com o objetivo de aprimorar a metodologia que foi proposto por Rusu (et al 2011).</p> <p>Template: identificador da heurística, prioridade, nome, definição, explicação, recurso de aplicativo, exemplos, benefícios, problemas, lista de verificação, atributo de usabilidade / ux, e heurísticas relacionadas.</p>
16	Desurvire; Kreminski, 2018	Are game design and user research guidelines specific to virtual reality effective in creating a more optimal player experience? Yes, VR PLAY	<p>Desenvolveu heurísticas</p> <p>Domínio: Jogos em realidade virtual</p>	<p>Ao desenvolver as heurísticas do VR PLAY, os pesquisadores basearam-se em pesquisas existentes em usabilidade e jogabilidade para jogos e outros softwares e na pesquisa da própria RV, incluindo perspectivas físicas, psicológicas, sociais e éticas sobre RV. Também conduziram sua própria pesquisa de usuário em jogos de RV, onde se realizou várias experiências e coletou-se mais informações de discussões com outros pesquisadores de RV. Dividiram as informações que coletaram em várias categorias, cada uma das quais indicaram as heurísticas s que devem representar.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Categoria; código; nome; descrição detalhada.</p>
17	Dowding; Merrill, 2018	The Development of Heuristics for Evaluation of Dashboard Visualizations	<p>Desenvolveu heurísticas.</p> <p>Domínio: Avaliar sistemas que produzem visualizações de informações.</p>	<p>Para este estudo, uma lista de princípios heurísticos gerais foi desenvolvida com base em fatores de usabilidade específicos derivados dos 10 princípios de usabilidade da Nielsen e itens da lista de verificação delineada por Pierotti5.</p> <p>Uma segunda lista de heurísticas específicas de visualização de informações foi desenvolvida, com base em um estudo realizado por Forsell e Johansson. Seu estudo descreve 10 visualizações de informações heurísticas, que foram derivadas de seis conjuntos anteriores de heurísticas. Destes conjuntos, utilizaram-se as heurísticas mais fortes, para compor uma lista final.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Nome, descrição e explicação.</p>
18	Machado, et al, 2018	Heuristics and Recommendations for the Design of Mobile Serious Games for Older Adults	<p>Apresentou um conjunto de heurísticas</p> <p>Domínio: Jogos sérios para celular para adultos mais velhos</p>	<p>Baseado na literatura, a primeira parte do estudo focou na avaliação, adaptação e validação de um conjunto de heurísticas compiladas da literatura.</p> <p>Posteriormente, trinta participantes mais velhos interagiram com um jogo casual móvel desenvolvido especificamente para este público e avaliou-o, através de um questionário. Depois foi realizada uma análise de dados e o refinamento das heurísticas e seleção das heurísticas consideradas aptas para o estudo.</p> <p>Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número e código da heurística, descrição detalhada da heurística.</p>
19	Wei; Landay, 2018	Evaluating Speech-Based Smart Devices Using New	<p>Desenvolveu heurísticas</p> <p>Domínio: Dispositivos inteligentes</p>	<p>Ao adaptar a avaliação heurística para SUIs, alguns pesquisadores modificaram as 10 heurísticas de Nielsen para serem mais aplicáveis ao novo estilo de interface, enquanto outros os ampliaram adicionando Heurísticas específicas para o domínio. Com base nesta revisão bibliográfica, compilaram um conjunto de 17 novas heurísticas agrupadas</p>

		Usability Heuristics	baseados em fala	em 5 categorias: geral (S1 – S5); estilo conversacional (S6 – S8); guiando, ensinando e oferecendo ajuda (S9 – S10); feedback e avisos (S11 – S14); e erros (S15 – S17). Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número da heurística, descrição da heurística.
20	Franco, et al, 2018	Customizing Usability Heuristics for Augmentative and Alternative Communication Systems	Desenvolveu heurísticas, como princípios de “boas práticas”. Domínio: Sistemas alternativos de comunicação, para pessoas com dificuldade de se comunicar.	Customizou as heurísticas de Nilsen, desenvolvendo 69 orientações de boas práticas. O processo para definir as heurísticas propostas neste trabalho baseia-se na técnica de focus group, pois esta permite obter, em pouco tempo, múltiplos pontos de vista de um grupo de especialistas, bem como admite a intervenção do pesquisador mediador durante a sessão, viabilizando assim o direcionamento das discussões e a elucidação de dúvidas. Foram reunidos 05 (cinco) profissionais da área de CAA, os quais foram orientados por 01 (um) profissional de usabilidade que conduziu as sessões, e, num prazo de 05 (cinco) dias corridos (16-20/10/2017), foram realizadas 10 (dez) sessões de brainstorming (uma para cada heurística). Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Categoria da heurística, número da heurística e a descrição, em forma de pergunta como um “checklist”.
21	Swaid; Suid, 2018	Usability Heuristics for M-Commerce Apps	Propõe heurísticas de usabilidade. Domínio: Aplicativos para Comércio móvel	O método adotado foi adaptar as heurísticas de Nilsen, utilizando as heurísticas de usabilidade do Google e as heurísticas de fatores humanos da Apple, com o fim de criar heurísticas mais adaptadas para o domínio em questão. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Regra de usabilidade, definição e checklist.
22	Jiménez, et al 2017	PROMETHEUS: Procedural Methodology For Developing Heuristics Of Usability	Desenvolve uma metodologia Domínio: Domínios específicos	A metodologia Prometheus foi desenvolvida refinando a metodologia de Rusu et al. (2011), e é composto por 8 etapas. PROMETHEUS define claramente os artefatos que são necessários e produzidos por cada etapa, e também apresenta um conjunto de indicadores de qualidade, a fim de avaliar a necessidade de mais refinamento no desenvolvimento de novas heurísticas. Template: Não apresentou um template.
23	Sengupta, et al 2017	Usability Heuristics for Eye-controlled User Interfaces	discute heurísticas – Domínio: Interfaces de usuário controladas por olhos	Seguindo as orientações citadas por Rusu et al. (2011) para o desenvolvimento de novas heurísticas de usabilidade e aderente a Kumar et al. (M. Kumar et al., 2007), Chitty (Chitty, 2013), Hatfield et al. (Hatfield, Jenkins, Jennings, & Calhoun, 1996), dez heurísticas são descritas, para fornecer orientação para projeto e avaliação de interfaces de usuário controladas pelos olhos. Template: Número, nome e descrição.
24				

	Díaz, et al, 2017	Experimental Validation of a Set of Cultural-Oriented Usability Heuristics: e-Commerce Websites Evaluation	Desenvolveu heurísticas Domínio: Usabilidade de sites de comércio eletrônico	Desenvolvemos o conjunto de Heurísticas de usabilidade orientadas para a cultura, utilizando uma metodologia de 6 etapas proposta por Rusu et. al. (2011) Passo 1- Estagio Exploratório, Passo2 - Estagio descritivo, Passo 3- Estagio Correlacional, passo 4- Estagio explicativo, passo 5- Validação passo 6 – Refinamento. Template: identificação, nome e definição, explicação, exemplos- exemplos de violação, benefícios e problemas.
25	Endsley, et al, 2017	AUGMENTED REALITY DESIGN HEURISTICS: DESIGNING FOR DYNAMIC INTERACTIONS	Desenvolve heurísticas Domínio: Heurísticas para realidade aumentada	O conjunto atual de heurísticas de design AR foi desenvolvido aproveitando diagramas de afinidade, avaliações de especialistas, opinião de designers de AR e análises estatísticas. A partir do método de Investigação contextual, diagramação de afinidade ofereceu um método sistemático para o surgimento de hierarquias orgânicas a partir de um grande conjunto de conceitos (Beyer e Holtzblatt, 1997). Em seguida, os autores recrutaram um conjunto de especialistas, avaliadores e designers para dar um Feedback qualitativo indicado a usabilidade e mudanças semânticas que foram necessárias. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número, nome, e descrição detalhada.
26	Alroobaea, 2017	Developing Specific Usability Heuristics for Evaluating the Android Applications	Desenvolve heurísticas Domínio: Heurísticas para aplicações android	Para atingir o objetivo deste artigo, métodos híbridos de coleta de dados e de design multifaces foram adotados. Assim, existem três etapas de desenvolvimento, conforme descrito abaixo, para reunir componentes adequados para obter informações de usuários e especialistas para desenvolver novos conjuntos heurísticos para aplicativos Android. Essas etapas são: Etapa 1: (a) Identificar o problema e seu escopo; (b) Revisão do material publicado e análise dos dados coletados; (c) método de análise de conteúdo Passo 2: (a) O método de estudos de campo é usado para obter feedback sobre os aplicativos Android dos usuários reais nos ambientes naturais. Os resultados da etapa 1 e 2 são usados como o ponto de partida para a próxima etapa: Etapa 3: (a) Focus group - método é usado para obter a opinião de especialistas através de uma discussão entre especialistas, que são desenvolvedores de aplicativos móveis e especialistas em usabilidade. Metodologia: não utilizou uma metodologia formal. Template: Foram divididas por área de problema de usabilidade, contendo o nome e descrição em forma de passos a serem seguidos.
27				Realizou a revisão da literatura.

	Ferati; Beyene, 2017	Developing Heuristics for Evaluating the Accessibility of Digital Library Interfaces	Desenvolve heurísticas Domínio: Heurísticas para livrarias digitais.	Considerando todos os estudos levantados, o objetivo foi desenvolver heurísticas para avaliar o nível de acessibilidade de interfaces de bibliotecas digitais. Os autores adotaram uma abordagem mista. (1) abordagem baseada em pesquisa, analisando heurísticas existentes usadas para avaliar a acessibilidade de interfaces da web e aquelas usadas para avaliar a usabilidade de interfaces digitais. (2) abordagem empírica, analisando os dados coletados e relatado em detalhes em um estudo anterior publicado. Um total de 72 itens foi avaliado de forma independente por dois especialistas do domínio, em uma escala de zero (não relevante) a três (muito relevante). Esse processo gerou uma lista inicial de heurísticas com 16 itens. Como alguns itens eram repetitivos ou muito semelhantes, a lista permaneceu com doze itens extraídos de três fontes. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número, nome, descrição e a fonte de onde foi obtida.
28	Baghaei, et al, 2016	Diabetic Mario: Designing and Evaluating Mobile Games for Diabetes Education	Desenvolve heurísticas 4 heurísticas extras. Domínio: Games móveis para educação de diabéticos.	Realizou uma revisão da literatura levantando as heurísticas de domínio específico para games, criadas por um período de 20 anos. A partir daí, propôs mais 4 heurísticas, que os autores acreditam que não foram contempladas nos estudos anteriores. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Nome e descrição das heurísticas.
29	LLING; MCKAY, 2016	Heuristic Evaluation for Novice Programming Systems	Desenvolve heurísticas. Domínio: conjunto de heurísticas para serem utilizadas em avaliações heurísticas de programação iniciante.	A definição do novo conjunto de heurísticas seguiu uma metodologia sistemática, baseada nos critérios definidos para garantir a utilidade e praticidade de cada heurística, bem como o conjunto como um todo. Uma vez definidas, as heurísticas foram testadas pelos autores, seguidas por testes com avaliadores independentes (descritos no final deste artigo). Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número, nome e descrição.
30	Gumussoy, 2016	Usability guideline for banking software design	Desenvolve heurísticas. Domínio: Design de software para bancos.	Buscou heurísticas na literatura, e juntou os conjuntos de heurísticas levantadas para posteriormente validar e criar uma lista própria, com heurísticas capazes de identificar os problemas mais graves. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número, nome e descrição.
31	Inostroza, et al, 2016	Developing SMASH: A set of Smartphone's usability Heuristics	Desenvolve heurísticas Domínio: Heurísticas	Desenvolvemos SMASH (heurísticas de usabilidade do Smartphone) usando a metodologia de 6 etapas proposta por Rusu et al. (2011):

			para smartfone	<p>Passo 1- Estagio Exploratório, Passo2 - Estagio descritivo, Passo 3- Estagio Correlacional, passo 4- Estagio explicativo, passo 5- Validação passo 6 – Refinamento.</p> <p>Template: identificação, nome e definição, explicação, exemplos- exemplos de violação, benefícios e problemas.</p>
32	Sim; Read, 2016	Using computer-assisted assessment heuristics for usability evaluations	<p>Desenvolve Heurísticas</p> <p>Domínio: Sistemas educacionais .</p>	<p>As heurísticas foram levantadas baseadas em pesquisa na literatura, e estas foram testadas por um grupo de 32 estudantes, onde os pesquisadores selecionaram as que melhor identificavam problemas de usabilidade.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p> <p>Template: Número, nome e descrição.</p>
33	Kongkhol; Senivongs, 2016	Enhancing Usability Heuristics for Android Applications on Mobile Devices	<p>Desenvolve heurísticas.</p> <p>Domínio: Aplicações android</p>	<p>A metodologia para construir a lista de verificação de design de IU do Android aprimorada é a seguinte.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Revise as heurísticas de usabilidade existentes. 2. Construir lista de verificação para avaliação de usabilidade do Android Com base na revisão da literatura. 3. Validar a lista de verificação: Temos a lista de verificação validada por 5 desenvolvedores de dispositivos móveis Android, eles avaliam cada questão na lista de verificação e registram o resultado em um formulário de validação. Com os valores: concordo totalmente, concordo parcialmente e discordo, recebem as pontuações de 3, 2 e 1, respectivamente. 4. Definir o uso da lista de verificação: A lista de verificação pode ser usada em diferentes fases de desenvolvimento de aplicativos por designers ou desenvolvedores de IU, desde o protótipo até a avaliação do produto acabado. <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p> <p>Template: Classificação, número e descrição.</p>
34	Quiñones, et al, 2016	Developing Usability heuristics for Grid Computing applications: Lessons Learned	<p>Desenvolve heurísticas</p> <p>Domínio: Aplicações de computação em grid</p>	<p>Desenvolvemos o conjunto de Heurísticas de usabilidade orientadas para a cultura, utilizando uma metodologia de 6 etapas proposta por Rusu et. Al (2011)</p> <p>Passo 1- Estagio Exploratório, Passo2 - Estagio descritivo, Passo 3- Estagio Correlacional, passo 4- Estagio explicativo, passo 5- Validação passo 6 – Refinamento.</p> <p>Template: identificação, nome e definição, explicação, exemplos- exemplos de violação, benefícios e problemas.</p>
35	Johnston, Pickrell, 2016	Designing for Technicians Working in the Field: 8 Usability Heuristics for Mobile Application Design	<p>Desenvolve heurísticas</p> <p>Domínio: Aplicativos móveis</p>	<p>Um projeto de estudo qualitativo foi usado para obter uma descrição detalhada e compreensão das perspectivas pessoais do técnico na tecnologia que eles usam no dia a dia. Pesquisas contextuais foram realizadas com oito técnicos que trabalham em campo e usam aplicativos como uma forma de comunicar e registrar as informações relevantes para eles e sua empresa. Com base nas informações as heurísticas foram elaboradas.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal.</p>

				Template: Número, nome, e descrição detalhada.
36	Kuparinen, 2016	VALIDATION AND EXTENSION OF THE USABILITY HEURISTICS FOR MOBILE MAP APPLICATIONS	Desenvolve heurísticas Domínio: Aplicações de mapas móveis	Partiu das heurísticas de Kuparinen et al. (2013) A validação começou testando as heurísticas por 58 avaliadores que as usaram para avaliação de usabilidade de quatro aplicativos de mapas diferentes. Os avaliadores também preencheram um questionário sobre a compreensibilidade das heurísticas. A quantidade, gravidade e qualidade dos problemas encontrados com as heurísticas foram revisadas e a compreensibilidade das heurísticas analisada. Com base nisso. Propôs melhorias e adaptações, desenvolvendo heurísticas próprias. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Número, nome, e descrição detalhada.
37	Omar, et al 2016	Heuristic Evaluation Checklist for Mobile ERP User Interfaces	Desenvolve heurísticas Domínio: Sistemas de recursos de planejamento o móveis para empresas. (ERPs)	Quatro etapas a seguir serão seguidas para obter heurísticas e heurísticas centradas em ERPs móveis UIs, esses estágios foram adaptados: 1. Identificar uma definição clara do escopo do problema. 2. Analisar e enriquecer as heurísticas de usabilidade atuais, e compilá-los em uma nova lista que contém heurísticas para contexto de ERP móvel. 3. A lista previamente compilada será enriquecida com sub-heurísticas a fim de esclarecer a lista de heurísticas abstratas que foi compilada no estágio 2 e, a fim de preservar a usabilidade da IU do aplicativo móvel e UI de ERP móvel. 4. Homogeneizar a redação e o formato da nova lista, a fim de torná-lo útil para não especialistas. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Nome e descrição.
38	Mosqueira; Alonso-Ríos. 2020	Usability Heuristics for Domain-Specific Languages (DSLs)	Desenvolve heurísticas Domínio: Linguagem de domínio específico.	Este trabalho é baseado na taxonomia de usabilidade proposta por Alonso-Ríos et al. Este modelo visa sintetizar as definições existentes de usabilidade e organizar seus atributos em uma hierarquia. Com base nestes princípios, elaborou uma revisão na literatura não encontrando heurísticas diretamente elaboradas para DSL. No entanto, DSLs e APIs estão intimamente relacionados, então usou as heurísticas de usabilidade para APIs propostas por Mosqueira-Rey et al. e propôs heurísticas baseadas nas encontradas, que foram organizadas de acordo com a taxonomia apresentada. Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Classificação, código e descrição das heurísticas.
39	Muhanna, et al, 2020	Using a new set of heuristics in evaluating Arabic interfaces	Desenvolve heurísticas Domínio: Interfaces árabicas	A metodologia de pesquisa dos autores foi baseada em duas fases principais: Na Fase I, nosso objetivo era revisar as heurísticas atualizadas de Nielsen (Nielsen, 1994) para eliminar, atualizar e adicionar heurísticas que são aplicáveis a interfaces árabes. O objetivo da Fase II foi comparar as heurísticas revisadas resultantes com as de Nielsen durante a realização de uma avaliação heurística formal de interfaces árabes. A

				<p>metodologia de desenvolver o novo conjunto de heurísticas é semelhante ao apresentado por Baker et al. (2002), bem como Mankoff et al. (2003), em que os autores aplicaram suas heurísticas propostas aos domínios de computador com suporte a trabalho cooperativo e exibições ambientais, respectivamente. Realizou também modificações das heurísticas de Nielsen, com adaptações para o domínio pesquisado, através de sessões de brainstorming.</p> <p>Metodologia: Não utilizou uma metodologia formal. Template: Código e classificação das heurísticas</p>
--	--	--	--	---

ANEXO B – - Tabela dos dados levantados na pesquisa de RV Semi-imersiva

Tabela 12 - Dados levantados na pesquisa de RV semi-imersiva para criação das heurísticas

	Autor	Título	Descrição dos aplicativos, dos experimentos, e de outras informações úteis. (para etapa 1)
1	Berki, 2020	Experiencing the Sense of Presence within an Educational Semi-imersiva Virtual Reality	<p>Este estudo examina a sensação de presença na realidade virtual semi-imersiva “MaxWhere”. Para medir a presença, foi utilizado o Igroup Presence Questionnaire (IPQ). O texto também expõe as vantagens da realidade virtual para a educação.</p> <p>Encontramos nesse artigo relações importantes entre presença e RV. Também encontramos uma definição de presença. E os fatores que contribuem para a presença em ambientes de realidade virtual. Também relatou que a presença foi fundamental para o aprendizado.</p> <p>Entre os problemas de usabilidade encontrados, o autor relata sobre problemas de navegação, navegação mais intuitiva com controles mais naturais, uma interface mais mapeada, para dar ao usuário melhor clareza e orientação no ambiente virtual.</p>
	Makransky, et al, 2020	Investigating the Feasibility of Using Assessment and Explanatory Feedback in Semi-imersiva Virtual Reality Simulations	<p>Exatamente o mesmo trabalho já abordado abaixo. Praticamente só modificaram o título do artigo.</p>
2	Sun, et al, 2019	The effect of a virtual reality learning environment on learners’ spatial ability	<p>Este estudo empregou eletroencefalografia, para registrar e investigar a diferença na aprendizagem, e desempenho entre alunos com diferentes níveis de habilidade espacial, em um ambiente de aprendizagem que utiliza apresentação de slides o outro com realidade virtual (RV)</p> <p>O autor relata a respeito da teoria da carga cognitiva. Também fornece uma definição de RV, composta pelos 3 “is”: interação, imersão e imaginação.</p> <p>Entre os problemas de usabilidade encontrados, também verificou a necessidade da redução da carga positiva para melhoria da aprendizagem em Rv, além de verificar que a habilidade também impacta nesse aprendizado.</p>
3	Mafor; Umesh, 2019	South African university students attitudes towards chemistry learning in a virtually simulated learning environment	<p>Este estudo de método misto investigou as mudanças nas atitudes dos alunos do 3º ano do Bacharelado em Educação, com relação a química, após intervenções de aprendizagem com simulações em realidade virtual. Chamaram seu simulador de Phet e este auxiliou os alunos a visualizar conceitos abstratos da química.</p> <p>O autor relata sobre a teoria construtivista suportando o aprendizado com RV.</p> <p>Entre os problemas de usabilidade encontrados os autores reconheceram que outros fatores, incluindo o método de</p>

			instrução, tempo para sessões de laboratório e os ambientes de aprendizagem podem influenciar atitudes negativas dos alunos antes da intervenção. Da mesma forma, relatou que, os alunos que estavam confortáveis em usar laboratórios virtuais, mostraram uma atitude positiva em relação ao aprendizado de conceitos de química.
4	Makransky, Bøg, 2019	Investigating the process of learning with semi-immersive virtual reality: A structural equation modeling approach	<p>Este estudo investigou os fatores afetivos e cognitivos que desempenham um papel na aprendizagem com uma simulação de RV semi-imersiva. Utilizando pré e pós-teste, verificaram o que muda na motivação, auto-eficácia e conhecimento sobre genética.</p> <p>O autor relatou fatores psicológicos e de usabilidade, que tem papel importante na aprendizagem em ambientes de RV. Fatores como: fidelidade representacional, imediatismo de controle, presença, motivação, prazer percebido, benefícios cognitivos, controle e aprendizagem ativa, motivação intrínseca, auto-eficácia, e pensamento reflexivo. Também trouxe uma definição de presença,</p> <p>Fala sobre a facilidade de uso percebido e a importância da usabilidade para o aprendizado com tecnologia.</p>
5	Fokides, Foteini, 2019	3D Multiuser Virtual Environments and Environmental Education: The Virtual Island of the Mediterranean Monk Seal	<p>O estudo apresenta os resultados de um projeto em que um ambiente virtual 3D multiusuário foi usado para informar os alunos sobre questões relacionadas com a proteção da foca-monge do Mediterrâneo. O grupo-alvo era de 326 alunos de 10-12 anos. Os dados foram coletados por meio de folhas de avaliação e três questionários para registrar as opiniões e atitudes dos alunos.</p> <p>Trouxe relações entre o construtivismo e RV, e as bases que essa corrente educacional possui, e que tem relações com o aprendizado em realidade virtual.</p> <p>Com relação a problemas de usabilidade relatados, O autor fala sobre a qualidade da representação 3D dos objetos, as características de jogo (gamificação) das aplicações de RV, o prazer e a motivação ao utilizar esta tecnologia para o aprendizado.</p>
6	Pallavicini, et al, 2019	Gaming in Virtual Reality: What Changes in Terms of Usability, Emotional Response and Sense of Presence Compared to Non-Immersive Video Games?	<p>Este artigo trata de um jogo de realidade virtual semi-imersiva que foi jogado por 24 jovens adultos em um ambiente imersivo, e em outro não imersivo. Foram avaliadas as respostas emocionais dos usuários e a sensação de presença relatada, para saber em qual modalidade os usuários se sentiam mais presentes.</p> <p>Foram fornecidas definições a respeito de níveis de imersão, duas definições de presença, definição de sistema de realidade Virtual, descrição da RV semi-imersiva e de RV Imersiva.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade levantadas, trouxe questões importantes a respeito da gamificação, engajamento dos usuários, e presença.</p>
7	Wei, 2019	Scene art design based on human-	Este artigo trata do ensino através de ambiente de realidade virtual com técnicas de VRML

		computer interaction and multimedia information system: an interactive perspective	<p>Em sua Classificação de sistemas de realidade virtual dividiu a RV em 4 categorias. Forneceu uma Definição de VRML. Também se orienta pelo construtivismo para a criação de ambientes educacionais de realidade virtual, fornecendo definições conceitos e heurísticas.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatados, fala sobre otimização de cena, fornecendo Sugestões, e também fala sobre a utilização do hardware e adequado.</p>
8	Makransky, et al, 2019	Equivalence of using a semi-imersiva virtual reality science simulation at home and in class.	<p>Neste artigo, foi explorado se os resultados de aprendizagem, e motivação, da interação com uma simulação de RV semi-imersiva, no laboratório de ciências de realidade virtual (VR), e na casa dos alunos. Verificou-se se seria equivalente a interagir com a mesma simulação em aula com supervisão do professor, e em casa. Um amostras de 112 pessoas participaram da pesquisa.</p> <p>O artigo levanta questões, que não necessariamente são problemas de usabilidade.</p>
9	Makransky, et al, 2019	Investigating the feasibility of using assessment and explanatory feedback in semi-imersiva virtual reality simulations	<p>Neste estudo, investigamos a viabilidade de desenvolver uma simulação de laboratório de realidade virtual (VR) para semi-imersiva, no tema da genética, com avaliação integrada por meio de questões de múltipla escolha, com base na teoria de resposta ao item (IRT) e feedback com base na teoria cognitiva de aprendizagem multimídia.</p> <p>Os autores forneceram uma definição semi-imersiva VR. Sobre as questões ou problemas de usabilidade relatados, mas o texto relata a respeito de feedback do aprendiz, e do feedback do sistema.</p>
10	Abichandani, et al, 2019	Solar Energy Education Through a Cloud-Based Semi-imersiva Virtual Reality System	<p>Este artigo elucida um novo sistema pedagógico de realidade virtual (VR) baseado em nuvem, que fornece aos alunos os fundamentos de células solares ou fotovoltaicas (PV), módulos solares (PV), e configurações de instalação de painéis solares (PV). O sistema VR foi desenvolvido usando o software Unity3d, e foi integrado com um Learning Management System (LMS). O sistema foi hospedado no Google Cloud Platform.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade levantados, o texto relata a respeito do fornecimento de avisos visuais de forma cuidadosa e sistemática, à medida que os alunos trabalharam em exercícios específicos, como forma de fornecer feedback para o aprendiz dos alunos.</p>
11	Oberdörfer, et al, 2019	Knowledge Encoding in Game Mechanics: Transfer-Oriented Knowledge Learning in Semi-imersiva-3D and VR	<p>Este artigo compara a eficácia e eficiência da RV de Semi-imersiva, em respeito ao resultado de aprendizagem alcançado.</p> <p>Fala sobre a teoria do Fluxo, e dos elementos que propiciam ao usuário entrar neste estado: feedback para os usuários de seus progressos, exatidão de suas ações, e desafios.</p> <p>Nas questões de usabilidade continua relatório do sobre questões envolvendo fluxo.</p>
13			

	Makransky, 2019	Motivational and Cognitive Benefits of Training in Immersive Virtual Reality Based on Multiple Assessments	<p>O principal objetivo deste estudo foi examinar a eficácia da imersão virtual na Realidade virtual (VR), como um meio para fornecer treinamento de segurança de laboratório. Os autores compararam especificamente uma simulação de RV imersiva, e uma simulação de VR semi-imersiva e um dispositivo de segurança convencional.</p> <p>Relatou sobre as possibilidades da RV com educação, sobre problemas para utilização da RV em sala. Também definiu fatores de usabilidade como utilidade percebida e facilidade de uso percebida, desenvolvendo a questão com relação aos ambientes de RV. Por fim, falou sobre como a facilidade de uso percebida afeta o aprendizado.</p> <p>Sobre problemas ou questões de usabilidade, o artigo relata a respeito da teoria da autodeterminação, e da autonomia do usuário, e fala também sobre a necessidade de familiaridade do usuário com o ambiente de RV.</p>
14	Makransky; Lilleholt, 2018	A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education	<p>Este artigo explora se existem diferenças em relação ao uso de RV imersiva ou semi-imersiva para administrar uma simulação virtual de aprendizagem de ciências. Também investiga como o nível de imersão impacta os resultados de aprendizagem percebidos usando modelagem de equações estruturais.</p> <p>O Artigo trouxe definições de RV, dos tipos de rv, e de usabilidade.</p> <p>Sobre problemas ou questões de usabilidade, o artigo traz fatores psicológicos, emocionais e técnicos. Fala da presença, da motivação intrínseca, do prazer (diversão), do controle e imediatismo do controle, do conhecimento ativo, da fidelidade representacional e fluxo. Também fala da necessidade de rastreamento da posição da cabeça, da necessidade de dispositivos mais intuitivos para aumentar a sensação de controle e como problemas técnicos atrapalham a usabilidade.</p>
15	Fokides; Atsikipasi, 2018,	Development of a model for explaining the learning outcomes when using 3D virtual environments in informal learning settings	<p>O estudo apresenta o desenvolvimento e teste de um modelo para explicar os resultados de aprendizagem quando os indivíduos usam ambientes virtuais 3D (VEs) na aprendizagem informal. Para o efeito, foi desenvolvido um VE, apresentando a obra de uma escultora, nomeadamente Nausica Pastra. Os seguintes fatores subjetivos foram considerados para a construção de uma pesquisa modelo: utilidade percebida, facilidade de uso percebida, motivação, presença, aplicação percebida, realismo, bem como o prazer ao usar ambientes virtuais. Estes fatores foram elencados após uma revisão de literatura realizada pelos autores.</p> <p>Também expande a discussão para controle, pensamento reflexivo, auto eficácia e crenças cognitivas.</p>
16	Topu, et al, 2018	Information retention's relationships with flow, presence and engagement in guided 3D virtual environments	<p>O objetivo deste estudo foi examinar a correlação de diferentes variáveis com retenção de informações em ambientes virtuais de aprendizagem 3D guiados, empregando três projetos experimentais. Em cada experimento, diferentes participantes foram incluídos na mesma população e foram consideradas diferentes variáveis.</p>

			<p>Fluxo, presença, escalas de engajamento foram usadas como ferramentas de coleta de dados.</p> <p>O artigo traz diversas definições, descrições e explicações sobre o fluxo. Também elucida sobre os elementos que propiciam ao usuário vivenciar a experiência do fluxo, como objetivos claramente definidos, o fornecimento de feedback, dificuldade da tarefa, concentração perdendo a consciência do tempo e de si mesmo, e motivação interna devido à tarefa.</p> <p>Sobre problemas ou questões de usabilidade relata sobre:</p> <p>O conteúdo deve ser sequenciado, projetar o ambiente de forma realista, possuir interatividade, fidelidade representacional, imediatismo de comunicação, consistência e persistência nos padrões engajamento e fluxo. Fala do prazer, e sua relação com atenção e fluxo. Relata sobre os fatores encontrados que afetam o engajamento e o fluxo. A relação entre engajamento e aprendizado. E por fim, de como a consistência e persistência dos padrões afetam o engajamento e o fluxo. Também fala de um sistema de ajuda para auxiliar os usuários.</p>
17	Saadatz, et al, 2018	Small-Group Technology-Assisted Instruction: Virtual Teacher and Robot Peer for Individuals with Autism Spectrum Disorder	<p>Os autores combinaram tecnologia de realidade virtual e robótica social para desenvolver um sistema de tutoria que lembrava busca viabilizar um arranjo de estudos de pequeno grupo entre um professor, alunos e um robô.</p> <p>Visou o aprendizado de crianças com espectro de autismo.</p>
19	Markowitz, et al, 2018	Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change	<p>Em quatro estudos, dois experimentos de laboratório controlados e dois estudos de campo, os autores testaram a eficácia da Realidade Virtual (RV) não imersiva como meio de educação para o ensino de consequências das alterações climáticas, particularmente da acidificação dos oceanos. Mais de 270 participantes de quatro ambientes de aprendizagem diferentes experimentaram um mundo subaquático imersivo projetado para mostrar o processo e os efeitos do aumento da acidez da água do mar.</p> <p>Traz informações importantes sobre imersão, também definições de presença, imersão e uma leve de VR.</p> <p>Sobre questões de usabilidade importantes, fala sobre o rastreamento da posição da cabeça.</p>
20	Buttussi; Chittaro, 2018	Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario	<p>Este estudo considerou três tipos diferentes de visores usados pelos participantes para treinamento em procedimentos de segurança da aviação com um jogo sério em Realidade virtual. Apenas faz uma comparação entre os diferentes tipos de displays de RV, porém não os aborda de forma conceitual, e não relata nada de relevante para esta pesquisa.</p> <p>Sobre questões de usabilidade relatou que o rastreamento da cabeça pode afetar a sensação de imersão e a presença espacial.</p>

21	Ibrahim; Ali, <u>2018</u>	A Conceptual Framework for Designing Virtual Heritage Environment for Cultural Learning	<p>Este artigo fornece uma estrutura conceitual que orienta o design de um ambiente que facilita a aprendizagem cultural para usuários casuais. A abordagem exploratória de design de método misto sequencial foi usada como base para o desenho geral da pesquisa. Cinco estudos envolvendo especialistas e usuários finais foram realizados para identificar e avaliar os componentes do framework. Foi avaliado com especialistas com entrevistas “cara a cara”.</p> <p>O texto não traz nenhuma questão de usabilidade ou problema. faz considerações a respeito de como estruturar informações incluídas em ambientes de realidade virtual e como comunicar as informações de forma eficaz. Com base nestas observações, os autores elaboraram guidelines: informações contextuais, declaração provocativa, informações estruturadas, camada de informações e experiência multimídia, liberdade e controle do usuário. auxílios de navegação, gráficos de qualidade, configuração contextual.</p>
22	Martirosov; Kopecek, <u>2018</u>	Virtual Reality and its Influence on Training and Education--Literature Review	<p>Este artigo apresenta uma robusta revisão da literatura sobre o tema Realidade Virtual e seu uso na formação e na educação.</p> <p>Fala da história da RV, suas características, definições. Também vantagens e desvantagens em termos de influência na capacidade de aprendizagem ou treinamento dos indivíduos. Taz definições de: simulação, de RV, de presença, e imersão. Também relata como a presença aumentou a motivação e o engajamento.</p>
23	Ogbuanya; Onele, <u>2018</u>	Investigating the Effectiveness of Semi-imersiva Virtual Reality for Teaching and Learning of Electrical/Electronics Technology in Universities	<p>Este estudo comparou a eficiência da realidade virtual semi-imersiva com uma prática convencional de aprendizagem em sala de aula para o ensino e aprendizagem de tecnologia elétrica / eletrônica. Foi medido por meio de desempenho acadêmico, interesse de aprendizagem, e engajamento. Quatro universidades foram utilizadas para o estudo. E um total de 149 alunos participaram deste experimento.</p> <p>Este artigo trouxe a característica específica de utilizar um software proprietário para a aplicação o VD-Circuit, que foi usado para fornecer o ambiente de aprendizagem para os alunos. É baseado em um simulador de realidade virtual de circuito eletrônico.</p> <p>Nas definições, trouxe uma definição de RV e de RV semi-imersiva.</p> <p>Não relatou problemas ou questões de usabilidade.</p>
24	Deggim, et al, 2017	SEGERBERG 1600 – RECONSTRUCTING A HISTORIC TOWN FOR VIRTUAL REALITY VISUALISATION	<p>Nesta contribuição, apresentou-se o desenvolvimento de uma reconstrução 3D de duas cidades, Segeberg e Gieschenhagen (hoje: Bad Segeberg) em Schleswig-Holstein, na Alemanha no início da Idade Moderna por volta de 1600.</p> <p>Os autores apresentam uma descrição / definição da RV. Também uma definição de game engines, seus tipos, descrições e como estes são utilizados para RV.</p>

		AS AN IMMERSIVE EXPERIENCE	Sobre problemas de usabilidade, fala sobre otimização.
25	Luursema, et al, 2017	Stereopsis, Visuospatial Ability, and Virtual Reality in Anatomy Learning	<p>Os autores relatam um ensaio clínico randomizado para avaliar a contribuição da estereopsia para o aprendizado de anatomia, para alunos de diferentes habilidades visuoespaciais. Sessenta e três participantes envolvidos em uma sessão de uma hora, incluindo uma fase de estudo e pós-teste. Um grupo estudou modelos 3D da anatomia do pescoço profundo em realidade virtual estereoscópica completa; outro grupo estudou estruturas em realidade virtual sem profundidade estereoscópica.</p> <p>Na parte de questões ou problemas de usabilidade, relatou a respeito das limitações com relação aos elementos interativos, que eram pouco naturais e pouco intuitivos.</p>
27	Hoareau, et al 2017	Evaluation of Internal and External Validity of a Virtual Environment for Learning a Long Procedure	<p>O principal objetivo deste estudo é avaliar a eficácia de um ambiente virtual (VE) para aprender um procedimento complexo no domínio biomédico. Dois experimentos foram realizados. O primeiro avaliou a validade interna do VE, que é a eficácia do uso de um VE no processo de aprendizagem de um novo procedimento. O segundo testou a validade externa do VE, que é a capacidade dos participantes de reproduzir as competências adquiridas em contexto real.</p> <p>Os autores trouxeram uma definição completa e aprofundada da RV, muito bem explicada. Não relatou problemas de usabilidade.</p>
28	Dubovi, et al 2017	Now I know how! The learning process of medication administration among nursing students with non-immersive semi-immersiva virtual reality simulation	<p>O objetivo deste estudo foi criar e explorar um método de ensino eficaz e acessível para a formação superior de profissionais que requerem competências práticas. O objetivo era avaliar a eficácia de uma simulação de Farmacologia de Realidade Virtual de Aprendizagem Interfolhas (PILLVR) quando aplicada ao ensino de enfermagem, como ferramenta para o aprendizado de procedimentos de administração de medicamentos.</p> <p>Os autores trouxeram definições de RV, presença e as classificações de ambientes de RV. Também falaram sobre os fatores que influenciam a sensação de presença: controle, realismo, fluxo e entrada sensorial.</p> <p>Como questões próprias de RV, relatou que o ambiente foi desenvolvido com OpenSim, uma multi plataforma de VR para semi-imersiva 3D de código aberto para aplicações de RV, e envolveu 110 horas de programação de computador.</p> <p>Nas questões e problemas de usabilidade, concluiu que a presença é induzida pela fidelidade de representação, e alto grau de interação e controle do usuário.</p>
29	Parmar, et al, 2016	A comparative evaluation of viewing metaphors on psychophysical skills education in an interactive virtual environment	<p>Em uma avaliação empírica, os autores examinaram o efeito da condição de visualização nas habilidades psicofísicas na educação através de uma simulação 3D interativa para treinar usuários em circuitos elétricos. Compararam um sistema imersivo (HMD) com RV semi-imersiva. Os autores criaram uma simulação de circuito interativo (IBAS), onde os participantes poderiam aprender sobre eletricidade,</p>

			<p>instrumentos de medição, em um sistema simulador de placa de ensaio VR. Vinte e quatro participantes utilizaram a simulação.</p> <p>Como característica própria, ressaltou que usou o Unity3D (Unity 2015), para criar IBAS.</p> <p>Como problemas de usabilidade, relatou a falta de visão estereoscópica, no entanto, afetou a profundidade e percepção em ambos os cenários. Também que a visão periférica, atrapalhou, no caso a falta de visão periférica causada pela resolução do HMD, e a inexistência da visão periférica na RV semi-imersiva.</p>
30	Huang, et al 2016	Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of semi-imersiva and projection-based display systems	<p>Esta pesquisa descreve o uso de um software interativo de desempenho em tempo real (VR4MAX) para construir um protótipo 3D VR de sistema de aprendizagem. Um questionário foi distribuído a 167 estudantes universitários para investigar as atitudes do aluno em relação à aprendizagem por meio de aplicativos de RV.</p> <p>Trouxe as definições de RV semi-imersiva, a Definição de RV (dos 3 “Is”) e detalhou a imersão, a interatividade e a imaginação.</p> <p>Como problema de usabilidade, utilizou projetores ao invés de telas. Mas no caso, um projetor para todos os alunos, não dá possibilidades da interação individual com o sistema.</p>
32	Borsci, et al, 2016	When simulated environments make the difference: the effectiveness of different types of training of car service procedures	<p>Uma análise empírica foi realizada para comparar a eficácia de diferentes abordagens para treinar um conjunto de habilidades procedimentais para uma amostra de estagiários novatos. Sessenta e cinco participantes foram atribuídos aleatoriamente a um de três grupos de treinamento a seguir: (1) aprender fazendo em um ambiente virtual semi-imersiva 3D, (2) aprender observando uma explicação em vídeo (mostre e conte) dos procedimentos, e (3) tentativa e erro.</p> <p>Porém o artigo não trouxe definições, ou características próprias da RV, ou questões ou problemas de usabilidade relevantes a serem relatados.</p>
33	Hernández, et al, 2016	Designing Empathetic Animated Agents for a B-Learning Training Environment within the Electrical Domain	<p>Os autores propuseram um modelo de e-learning para apoiar treinamentos adaptativos e a distância para o setor elétrico. A adaptação é baseada em uma representação do conhecimento e afeto do estagiário. Um dos componentes principais é um agente pedagógico animado que orienta os estagiários e dá instruções. O agente desenvolve diferentes expressões faciais transmitindo emoção e empatia aos estagiários. Esse personagem foi desenvolvido com o objetivo de alcançar credibilidade, interação social e engajamento do usuário e, assim, melhorar a aprendizagem.</p> <p>Utiliza o modelo “Blended learning”, ou aprendizado mesclado, para potencializar o aprendizado, trazendo as definições e explicações sobre o modelo.</p> <p>O único problema de usabilidade relatado basicamente foi sobre a má qualidade gráfica dos agentes</p>

34	Tüzün; Özding, 2016	The effects of 3D multi-user virtual environments on freshmen university students' conceptual and spatial learning and presence in departmental orientation	<p>O objetivo deste estudo foi examinar a utilidade de ambientes virtuais 3D multiusuário (MUVES) para fins de orientação de calouros. Para fazer isso, um ambiente virtual foi desenvolvido no Active Worlds MUVE. A amostra do estudo incluiu 55 alunos matriculados em um departamento universitário.</p> <p>Os autores relataram sobre como a Presença aumenta o aprendizado.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade, encontraram relações entre o aprendizado dos alunos e sua capacidade de se orientar no cenário virtual. Compararam a presença, os movimentos oculares e a fadiga visual em uma experiência de ambiente 3D. Um aumento na presença reduziu a fadiga visual, embora tenha aumentado os movimentos dos olhos.</p>
35	García, et al 2016.	Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines	<p>A manutenção da sobrecarga de alta tensão de linhas de energia envolve procedimentos de alto risco; os acidentes envolvendo a manutenção de linhas vivas pode ser letal. Este artigo apresenta a arquitetura e as principais características de um novo sistema de treinamento não imersivo de realidade virtual (RV semi-imersiva) para manutenção de linhas aéreas de alta tensão. O objetivo geral deste trabalho era fornecer às concessionárias de energia elétrica uma força de trabalho adequada, e sistema de treinamento para treinar e certificar operadores trabalhando em ambientes complexos e inseguros.</p>
36	Fominykh, et al, 2016	Boundary objects in collaborative work and learning	<p>Neste artigo, os autores exploraram a cooperação em um ambiente interdisciplinar e contexto transcultural, com foco nas oportunidades de aprendizagem que surgem em limites diferentes e em objetos de limite correspondentes, para facilitar a colaboração e aprendizagem. Apresentaram e discutiram um estudo que foi conduzido dentro de um curso de Tecnologia de Cooperação.</p> <p>Trouxe definição de RV imersiva e não imersiva.</p> <p>Descreve como funciona o ambiente de RV, com suas partes e funcionalidades, mas fora isso, nada de relevante a relatar.</p>
37	Hu; et al, <u>2016</u>	The Research on Chinese Idioms Educational Games in TCFL Based on Virtual Reality	<p>Segundo os autores, nos últimos anos, o exterior desencadeou uma mania de aprender chinês. O ensino de idiomas chineses é importante, mas difícil para estrangeiros, como língua estrangeira. O jogo educacional de RV deve ser uma boa escolha para resolver o problema com educação, entretenimento e alta imersão. Neste estudo, “movimentos de Yu Gong a montanha” é projetada como um exemplo de jogo educacional.</p> <p>O Unity 3D é a principal ferramenta de desenvolvimento, assim como o Leap Motion.</p>
	Valdez, et al, 2013	Distance education using a semi-imersiva virtual reality (VR) system.	<p>Este artigo apresenta um novo sistema de aprendizagem de um currículo unidade de Teoria de Circuito usando realidade virtual semi-imersiva (VR). O software oferece a possibilidade de entender a relação entre os conceitos físicos</p>

			<p>de um circuito elétrico, com sistema direto ou corrente alternada, por meio de simulações de computador e animações.</p> <p>Sobre questão específica sobre a RV, os autores relataram que a maioria dos objetos de laboratório foram modelados usando o software Autodesk® 3DS Max®, VizUp 5.0 WireFusion®</p> <p>A ideia geral era criar um modelo tridimensional (3DS Max), reduzir o tamanho do 3D dos objetos com VizUp e, em seguida, exportá-los para o IreFusion, onde foi possível adicionar alguma interatividade.</p> <p>Os autores relataram sobre Ensino à distância, Utilização de vários sentidos, e sobre definições e teorias construtivistas.</p> <p>Não relatou problemas ou questões de usabilidade.</p>
38	Niemelä, et al, 2016	Successful design of learning solutions being situation aware	<p>Este artigo apresenta um novo sistema de aprendizagem de um currículo de Teoria de Circuito usando realidade virtual semi-imersiva (VR). O software oferece a possibilidade de entender a relação entre os conceitos físicos de um circuito elétrico, direto ou corrente alternada, por meio de simulações de computador e animações. Este trabalho foi desenvolvido para demonstrar como um protótipo semi-imersiva VR, chamado "Manual Elétrico Virtual" - VEMA, pode ser aplicado a uma unidade de engenharia e usado para aumentar a segurança e desenvoltura no uso de equipamentos elétricos.</p> <p>Sobre problemas ou questões de usabilidade, os autores relatam sobre a necessidade de estímulo a mais de um sentido, e de um computador por aluno.</p>
41	Aziz, et al, 2015	Virtual Mechanical Assembly Training Based on a 3D Game Engine	<p>Este artigo apresenta uma estrutura para criação de ambientes virtuais (VEs) para treinamento de montagem mecânica usando um motor de jogo 3D disponível comercialmente. O VE apresentado aqui permite que vários usuários realizem simulações de procedimentos de montagem de forma colaborativa, e fornece uma experiência de usuário envolvente, com interações humano computador amigáveis.</p> <p>Os autores falam sobre a utilização de game engines (motores de jogos) e RV, elencando detalhadamente suas vantagens, e também fazem considerações sobre as limitações destes softwares.</p> <p>Não relatou outros conceitos, nem problemas ou questões de usabilidade relevantes.</p>
42	Chen, et al, 2015	A feasible group testing framework for producing usable virtual reality learning applications	<p>Este artigo apresenta teste de usabilidade de grupo modificado (MGUT) como uma estrutura viável para avaliar a usabilidade de sistemas não imersivos, para aplicativos de aprendizagem de realidade virtual (VR) semi-imersiva. Ao contrário da abordagem um para um, a abordagem em grupo, envolve vários participantes, realizando tarefas simultaneamente, com vários avaliadores observando e interagindo com os participantes. Este artigo</p>

			<p>descreve o procedimento completo passo a passo para conduzir MGUT para descobrir problemas de usabilidade de um aplicativo de aprendizagem de RV, que visa educar seus usuários sobre segurança e prevenção contra incêndios.</p> <p>Os autores fazem uma revisão sistemática sobre as técnicas de avaliação empregadas em semi-imersiva vr.</p> <p>Como questões próprias ou características da RV, este artigo utilizou o modelo consolidado Quim (Seffah et al 2006) para avaliar a usabilidade do sistema. Este modelo consolidou vários modelos e definições de usabilidade em um modelo só. (CHEN et al 2015) Os atributos de usabilidade que considerou, a partir da análise são</p> <p>Eficiência, efetividade, satisfação, produtividade, aprendizado, segurança, confiança (no sistema) acessibilidade, universalidade, usabilidade.</p> <p>Com relação a problemas e questões de usabilidade, encontrou 43 problemas de usabilidade categorizados com base nos seguintes critérios que compõem o modelo QUIM.</p> <p>Comportamento do tempo, utilização de recursos atratividade, simpatia, flexibilidade, ação mínima carga de memória mínima, operabilidade, orientação do usuário, consistência, autodescrição, feedback precisão, integridade, tolerância ao erro, segurança de recursos, legibilidade, controlabilidade, navegabilidade, simplicidade, privacidade, segurança, seguro, familiaridade, tempo de carregamento.</p> <p>Porém não detalhou os problemas de usabilidade encontrados.</p>
43	Tokel, et al 2015	Acceptance of virtual worlds as learning space	<p>Este estudo investigou as relações entre utilidade percebida (PU), facilidade de Uso, e prazer percebido, além de suas relações com o comportamento e intenção dos indivíduos em usar os mundos virtuais como um espaço de aprendizagem.</p> <p>Trouxe as Definições de mundos virtuais e suas aplicações.</p>
44	Cho, et al, 2015	Physical and social presence in 3D virtual role-play for pre-service teachers	<p>O presente estudo investiga as influências das diferenças individuais como idade, gênero, e crenças epistemológicas, sobre a presença física e social em ambientes de RV semi-imersiva. Consistiu em professores em formação ensinarem seus colegas em uma sala de aula realista, no Second Life e para refletir sobre o uso da língua como professores.</p> <p>Forneceu definições para os chamados “nativos digitais”, geração que nasceu no mundo com os avanços das tecnologias da informação e da internet.</p>
45	Barrett, et al, 2015	Constrained interactivity for relating multiple representations in science: When virtual is better than real	<p>Segundo os autores, modelos virtuais são cada vez mais usados no ensino de ciências, especialmente em áreas que demandam domínios de visão de espaço. No entanto, poucos estudos compararam diretamente a eficácia de modelos virtuais e concretos, ou diferenças sistematicamente caracterizadas entre eles. Sendo assim, comparam precisão e</p>

			<p>eficiência usando modelos virtuais e concretos para alinhar e produzir diferentes representações no domínio da química orgânica. Estudantes iniciantes de graduação aprenderam convenções de diferentes representações moleculares (diagramas e modelos) e, em seguida, realizando tarefas que envolviam combinar modelos com diagramas e usar modelos para completar diagramas.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatada, utilizou um sistema háptico para o usuário interagir com o modelo virtual. Isso potencializou o aprendizado.</p>
46	Ramachandiran, et al, 2015	Virtual Reality Based Behavioural Learning For Autistic Children	<p>Esta pesquisa teve como objetivo projetar um ambiente de aprendizagem eficaz para crianças autistas através do desenvolvimento de um protótipo de ambiente virtual. O protótipo projetado identifica as necessidades de crianças autistas e de seus pais e também aborda as limitações de um ambiente virtual existente.</p>
48	Lee, et al, 2014	Learning with semi-immersive virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. (Report) (Author abstract)	<p>Este estudo tem como objetivo verificar a eficácia de aprendizagem de um ambiente baseado em realidade virtual semi-imersiva (semi-imersiva VR), para investigar os efeitos do ambiente de aprendizagem baseado em RV semi-imersiva em alunos com diferentes habilidades espaciais. O resultado da aprendizagem foi medido cognitivamente por meio do desempenho acadêmico. Um desenho experimental pré-teste e pós-teste foi empregado para este estudo. Um total de 431 estudantes de quatro escolas selecionadas aleatoriamente participou deste estudo, onde estavam atribuídos aleatoriamente a grupos experimentais ou de controle com base em suas classes.</p> <p>Trouxe definições de RV semi-imersiva. Também definições, teorias e conceitos da carga cognitiva. Como questões específicas, um programa de realidade virtual para semi-imersiva, V-Frog™, foi usado para fornecer o ambiente de aprendizagem virtual aos alunos. Este software era desenvolvido e fornecido pela Tactus Technologies, Inc., Nova York. Os alunos podem cortar, puxar, sondar e examinar um espécime virtual usando as ferramentas de dissecação, como bisturi e pinça.</p> <p>Sobre problemas e questões de usabilidade encontrada, os autores relataram questões envolvendo a carga cognitiva no aprendizado.</p>
49	Pellas, 2014	The influence of computer self-efficacy, metacognitive self-regulation and self-esteem on student engagement in online learning programs: Evidence from the virtual world of Second Life	<p>Este artigo discute a contribuição efetiva de um Objeto de Aprendizagem (OA), para ensinar a Teoria dos Circuitos, com base em pesquisas realizadas com alunos do ensino superior, e sua interação com um professor. Apresenta um modelo de protótipo de realidade virtual, cujo objetivo é desenvolver habilidades e competências, e tem a capacidade de ser usado como um manual elétrico virtual e ferramenta educacional para alunos do primeiro ano de um curso de engenharia elétrica.</p> <p>Como conceitos importantes, classificou a RV em 4 categorias e trouxe definições de RV semi-imersiva.</p>

			Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, falou sobre necessidade de clareza nos ambientes virtuais.
50	Merchant, et al, 2014	Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis	<p>O objetivo desta meta-análise é examinar o efeito geral, bem como o impacto da seleção princípios de design instrucional, no contexto de instrução baseada em tecnologia de realidade virtual (ou seja, jogos, simulação, mundos virtuais) em ambientes de ensino fundamental e médio ou de ensino superior.</p> <p>Como conceitos importantes, trouxe definições de simulações e de mundos virtuais.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, falou sobre elementos de gamificação e feedback para o aluno, de sua aprendizagem.</p>
51	Fominykh, et al, 2014	Increasing Immersiveness into a 3D Virtual World: Motion-tracking and Natural Navigation in vAcademia	<p>Neste artigo, apresentou-se um projeto que visa integrar tecnologias de realidade virtual imersiva em um mundo virtual tridimensional. Usou-se uma plataforma educacional vAcademia, como uma base de teste para o projeto, e concentrou-se em melhorar o processo de aprendizagem e, posteriormente - os resultados. O objetivo foi aumentar a imersão da experiência do mundo virtual 3D, aplicando rastreamento de movimento para controlar o avatar e duas tecnologias para navegação natural: projeção imersiva e visor montado na cabeça (HMD). Além disso, propomos os principais tipos de cenários de aprendizagem para o uso dos sistemas projetados.</p> <p>Como conceitos importantes, trouxe definições de CAVEs, Definições de Head-Mounted Display e falou sobre o Oculus Rift.</p>
52	Valdez; et al, 2013	Teaching Circuit Theory using a Semi-Immersive VR System	<p>Este artigo discute a contribuição efetiva de um Objeto de Aprendizagem (OA), para ensinar a Teoria dos Circuitos, com base em pesquisas realizadas com alunos do ensino superior, e sua interação com um professor. Apresenta um modelo de protótipo de realidade virtual, cujo objetivo é desenvolver habilidades e competências, e tem a capacidade de ser usado como um manual elétrico virtual e ferramenta educacional para alunos do primeiro ano de um curso de engenharia elétrica.</p> <p>Como conceitos importantes, trouxe classificação sistemas RV (classificou em 4) e baseou-se em teorias construtivistas, embora não declare formalmente.</p> <p>Nas características específicas, relatou que utilizou o 3DS MAX para modelar detalhes geométricos em 3D. Também otimização elementos 3D para a renderização em tempo real.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, falou sobre a necessidade de dicas visuais ou pistas (cues) e preocupou-se com a fidelidade representacional.</p>
53	Kozhevnikov, et al, 2013.	Learning Relative Motion Concepts in Immersive and Non-	<p>O foco do estudo atual é entender quais características únicas de uma realidade virtual imersiva tem o potencial de melhorar o aprendizado relativo a conceitos de movimento. Trinta e sete alunos de graduação aprenderam conceitos de</p>

		immersive Virtual Environments	movimento relativo usando simulação de computador em ambiente virtual imersivo (IVE) e um não imersivo condições do ambiente virtual semi-imersiva (DVE).
54	Barrett; lackledge, 2013	Development and Evaluation of a Semi-imersiva VR System for Electrical Services Engineers	<p>Este artigo apresenta um protótipo de realidade virtual semi-imersiva (semi-imersiva VR), desenvolvido para aumentar a segurança elétrica e design no ambiente construído. O modelo apresentado tem potencial para ser usado como uma ferramenta educacional para alunos do terceiro nível, uma ferramenta de design da indústria ou como um manual de segurança elétrica virtual para o público em geral. Posteriormente, um estudo de caso é realizado para avaliar as atitudes dos usuários em relação aos ambientes de aprendizagem de RV, e também a usabilidade do modelo de protótipo desenvolvido.</p> <p>Como conceitos importantes, trouxe uma descrição da RV.</p> <p>Nas características específicas, os autores relataram que o aplicativo VR apresentado neste artigo utiliza a ferramenta de autoria Quest3D desenvolvida por ACT-3D.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, falou de uma série de problemas do usuário ao navegar pelo sistema e trouxe questões a respeito do requisito mínimo para utilizar o sistema e da fidelidade representacional.</p> <p>Mediu a usabilidade e efetividade do ambiente virtual em cima dos seguintes requisitos: usabilidade, imersão, fidelidade representacional, imediatismo do controle, percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso, feedback dos fatores psicológicos, presença, motivação, benefícios cognitivos, atitude dos usuários em relação ao sistema, intenção de utilizar o sistema, percepção da efetividade do aprendizado e satisfação.</p>
55	Hafner, et al, 2013	The impact of motion in virtual environments on memorization performance.	<p>Neste trabalho, examinou-se o efeito de diferentes tipos de movimento na aquisição de conhecimento dos usuários em vários ambientes virtuais. Para nosso estudo, escolheu-se uma tarefa de memorização simples, como aproximação de baixo nível cognitivo de aquisição de conhecimento. Hipotetizou-se se os tipos de movimento e níveis de imersão influenciam o desempenho de memorização nos ambientes virtuais. A tarefa de memorização foi realizada em dois ambientes virtuais com diferentes níveis de imersão: um Altamente imersivo, uma Caverna Ambiente Virtual Automático (CAVE) e um ambiente virtual semi-imersiva (semi-imersiva vr) de baixa imersão.</p>
56	Irizarry, et al, 2013	Human Computer Interaction Modes for Construction Education Applications: Experimenting with Small Format Interactive Displays	<p>Este artigo discute os resultados de pesquisas realizadas para avaliar várias opções de hardware e modos de interação humano-computador (HCI) que podem ser benéficos para o ensino, com aplicativos relacionados ao BIM na educação de construção ambientes. As tecnologias de exibição interativa têm o potencial de aprimorar muito a experiência educacional dos alunos, e fornecerá ao corpo docente uma</p>

			<p>ferramenta que pode facilitar o ensino de conceitos de construção de forma mais visual e interativa.</p> <p>Como característica específica, o programa de modelagem SketchUp foi selecionado como uma modelagem representativa para o Aplicativo, com baixo nível de dificuldade, em que a interface do usuário não varia entre plataformas de computação ou sistemas operacionais.</p>
57	Dodd; Antonenko, 2012.	Use of signaling to integrate semi-immersive virtual reality and online learning management systems	<p>Esta revisão sistemática examina a literatura de sinalização recente, no contexto da aprendizagem multimídia e aprendizagem hipermídia. A sinalização é uma técnica que envolve o uso de dicas para enfatizar informações importantes nos materiais (Mayer, 2009, pp. 108-117). A análise concluiu que a profundidade e amplitude da literatura de sinalização é gravemente ausente.</p> <p>Embora certos corpos de literatura relacionados possam ser usados para informar a pesquisa de sinalização em realidade virtual semi-imersiva, e sistemas de gerenciamento de aprendizagem online, nenhum estudo foi encontrado diretamente abordar esses tópicos.</p> <p>Trouxe uma definição estranha semi-imersiva VR, onde a define como um ambiente “online”.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, fala bastante sobre sinalização e sobre o “cue”, que é a dica visual que realça importantes elementos da simulação, em ambientes de RV semi-imersiva.</p>
58	Merchant, et al 2012	The Learner Characteristics, Features of Semi-immersive 3D Virtual Reality Environments, and College Chemistry Instruction: A Structural Equation Modeling Analysis	<p>Os autores examinaram um modelo do impacto de um ambiente de realidade virtual semi-imersiva 3D nas características do aluno (ou seja, variáveis perceptivas e psicológicas) que podem melhorar o aprendizado relacionado à química, com relação a uma aula introdutória de química na faculdade. As relações entre as características da realidade virtual 3D, e o teste de aprendizagem de química no que se refere à percepção das variáveis selecionadas (orientação espacial e usabilidade) e psicológicas (auto eficácia e presença) foram analisadas usando uma abordagem estrutural de modelagem de equações. A usabilidade mediou fortemente a relação entre recursos de realidade virtual 3D, orientação espacial, auto eficácia, e presença.</p> <p>Como conceitos ou outras informações relevantes, falou sobre o Início da RV na educação e sobre como é possível utilizar dispositivos não convencionais para incrementar a imersão e a interação.</p> <p>Como característica específica, utilizou o Second Life, uma tecnologia 3D inovadora, lançada pela Linden Labs em 2003, e que foi usada para fornecer instrução espacial para os participantes este estudo.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas considerou a usabilidade e efetividade do sistema semi-</p>

			imersiva vr em termos de: fidelidade representacional, interatividade dos aprendizes, percepção da facilidade de uso, percepção da significância, presença auto eficazia, orientação espacial.
59	Harrington, 2012	The Virtual Trillium Trail and the empirical effects of Freedom and Fidelity on discovery-based learning	<p>A Trilha do Trillium Virtual é um novo tipo de aplicativo de realidade virtual para semi-imersiva que cruza dados para as áreas de simulações geoespaciais e educacionais. A fidelidade visual afeta significativamente a aprendizagem intrínseca, a atividade in situ, e conhecimento adquirido, independentemente de outros fatores. A principal contribuição empírica deste relatório é sobre o impacto dos parâmetros de design da interface do usuário, de fidelidade gráfica e liberdade de navegação nos resultados de aprendizagem.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas, o texto relata sobre a fidelidade visual, e a liberdade de navegação, como fatores de impacto para uma excelente experiência de aprendizado em ambientes de RV e de RV semi-imersiva.</p>
61	Chambers, et al 2012	Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system	<p>Este artigo descreve uma simulação de soldagem em tempo real, através da realidade virtual semi-imersiva. Simula um sistema de treinamento de soldagem de Gás Inerte e metal, a simulação define a forma do cordão de solda, a profundidade de penetração, e a distribuição de temperatura na peça de trabalho, com base em entradas do sistema de rastreamento de movimento, que rastreia a posição da pistola de soldagem em função do tempo. Um método finito de diferença é usado para calcular a distribuição de temperatura, incluindo a largura do cordão de solda e a profundidade de penetração.</p> <p>Como problemas ou questões de usabilidade relatadas considerou o feedback das ações do usuário e as reações físicas do sistema muito importantes para o aprendizado.</p>
63	Li, et al, 2012	Collaborative virtual maintenance training system of complex equipment based on immersive virtual reality environment	<p>O artigo visa fornecer um sistema integrado para treinamento de manutenção colaborativa de equipamentos complexos baseado em manutenção virtual, e ambiente de realidade virtual imersivo.</p> <p>Para isso, uma plataforma integrada para operação de manutenção virtual colaborativa e treinamento de equipamentos complexos foi desenvolvida.</p> <p>Trouxe uma classificação de RV, mas fora isso, nada mais de relevante para esta pesquisa a relatar.</p>
64	Elgamal, et al 2012	The Effectiveness of a proposed system Based on semi-imersiva virtual reality to promote the	<p>Neste artigo, os autores projetaram uma proposta de sistema baseada em realidade virtual semi-imersiva para promover os conceitos básicos de segurança de computador, usando objetos 3D de visualização animada. Isso ajuda os alunos a ter uma compreensão melhor. O estudo foi realizado para observar a eficácia do sistema proposto. Os alunos foram</p>

		basic concepts of Computer security	distribuídos aleatoriamente em grupos experimentais e de controle. Os conceitos de segurança do computador foram ensinados através do sistema proposto, no experimental e através do método de aula tradicional, no grupo de controle.
65	Xia, et al, 2012	A new type haptics-based virtual environment system for assembly training of complex products	<p>O treinamento de montagem baseado em realidade virtual (VR) tem sido um tema interessante nas últimas décadas. Geralmente, existem duas lacunas para a montagem virtual, hoje em dia, em sistemas de treinamento. Uma é que os operadores não podem se mover em torno do ambiente virtual de uma forma natural como as pessoas em atividade no mundo real. Um novo tipo de ambiente virtual baseado em sistema hápticos para treinamento de montagem de produtos complexos é descrito neste artigo. É um simulador de baixo custo, e feito para auxiliar o usuário a perceber o efeito da liberdade de andar pelo ambiente virtual.</p> <p>Os autores ressaltam a interação e imersão como aspectos importantes da RV para treinamentos. Também Realizaram uma avaliação heurística para avaliar o modelo, com heurísticas para avaliar aspectos físicos da interação. Porém utilizou heurísticas que não foram relatadas em nenhum estudo na literatura, e não explicam de onde vêm estas heurísticas, nem como foram elaboradas, nem como chegaram a elas. Por isto, estas heurísticas não entraram na pesquisa desta tese.</p>

ANEXO C - Heurísticas especificadas

Fatores gerais

ID: H-1	Nome: Facilidade de uso	Prioridade: Alta
Definição	<p>O sistema de RV deve ser fácil de utilizar, fácil de aprender, e fácil de entender suas normas, e regras. Simplicidade – A interface do sistema e os controles de hardware devem ter um design e navegação simples e intuitivos. Assim como os elementos e informações contidos no ambiente de RV. Clareza - O ambiente virtual deve ter clareza, e oferecer elementos que sejam de fácil compreensão para o usuário.</p>	
Explicação	<p>O sistema deve ser fácil de utilizar, fácil de aprender, e fácil de entender suas normas, e regras. De uma maneira geral as heurísticas propostas neste conjunto, servem para tornar o sistema fácil de ser utilizado, mas esta heurística deve ser a primeira a ser analisada, pois é específica para o usuário verificar se tem realmente essa sensação de facilidade. O usuário ou avaliador também deve verificar, nessa primeira impressão sobre o sistema, se consegue aprender sobre o ambiente virtual, suas regras, interações e objetivos, de forma intuitiva, sem necessitar recorrer a sistemas de ajuda, em um primeiro momento.</p> <p>Caso nesse primeiro momento o sistema pareça confuso, complicado, difícil de entender, ou difícil de aprender, essa heurística sinaliza erro.</p> <p>Clareza e Simplicidade</p> <p>A interface do sistema (com seus comandos e elementos de controle por parte do usuário) e os de hardware utilizados para a experiência de RV devem ter um design e navegação simples e intuitivos. Assim como os elementos e informações contidos no ambiente de RV. O ambiente virtual também deve ter clareza, e todos os seus elementos (gráficos, textuais, modelos, sonoros) devem ser de claro entendimento para o usuário.</p>	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> -Há menus difíceis de entender -A navegação é fácil -As informações são de fácil acesso -Você sente facilidade em utilizar o sistema -O sistema é intuitivo e fácil de aprender -Sente facilidade em encontrar algo que procura (informação, objeto, menu, ícone) -Sente que você fica travado sem saber para onde ir ou o que fazer - As mensagens são claras? (caso não, sinalizar um erro para cada mensagem que não possui clareza). - As mensagens estão na língua do usuário? (caso não, sinalizar um erro). - Os ícones, caso existam possuem clareza visual e são fáceis de entender? (caso não, sinalizar um erro para cada ícone que não possui clareza). - Os objetos e elementos de cenário possuem clareza em suas formas? (caso não, sinalizar um erro para cada elemento que não possui clareza). - As informações passadas são claras? (caso não, sinalizar um erro para cada informação que não possui clareza). - As mensagens são passadas de forma simplificada? (caso não, sinalizar um erro para cada mensagem, que é transmitida de forma complicada). - Os ícones, caso existam possuem complexidade visual e formas complexas? (caso sim, sinalizar um erro para cada ícone que não possui simplicidade). - As informações passadas de forma simplificada? (caso não, sinalizar um erro para cada informação que é passada de forma complicada). - Os elementos de interface, caso existam, são simples de entender? (caso não, sinalizar um erro para cada elemento que não possui simplicidade e seja complicado em seu entendimento). 	

ID: H-2	Nome: Navegação	Prioridade: alta
Definição	O sistema de RV deve fornecer ferramentas e recursos para que o usuário possa se localizar dentro dele, saber sua posição atual, e possa encontrar caminhos, ou retornar a lugares onde já esteve.	
Explicação	Os usuários devem sempre ser capazes de encontrar onde eles estão no ambiente de RV e retornam às posições predefinidas conhecidas. O ambiente virtual deve ter uma navegação intuitiva e memorável. E deve dar ao usuário uma maneira de localizá-lo dentro e uma maneira de encontrar um local determinado. O ambiente também deve fornecer informações completas (personalizáveis) sobre a posição do avatar, caminhos para um destino desejado e passagens de uma posição para outra (de acordo com as regras da VW).	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há um sistema de localização, tipo mini mapa (para saber sua posição atual e caminhos) - Há um sistema que informa e sinaliza os caminhos e rotas (com símbolos sinais ou placas) - Há alguma forma de saber onde você já passou - Há um sistema que informa os caminhos (seja com mapa, símbolos ou placas) 	

ID: H-3	Nome: Precisão e controle do usuário	Prioridade: alta
Definição	O usuário precisa sentir que controla o ambiente, e esse controle deve ocorrer o mais natural possível, e da forma mais rápida (imediate) possível. O sistema deve apresentar o máximo de precisão com respeito às ações do usuário, simulações físicas, e animações. Deve responder rapidamente (imediatamente) às ações do usuário, possuir física semelhante ao mundo real, e animações bem executadas e condizentes com o mundo real também.	
Explicação	<p>O usuário precisa sentir que controla o ambiente, e esse controle deve ocorrer o mais natural possível, e da forma mais rápida (imediate) possível. Sendo assim, o controle, se refere aos elementos que podem ser controlados no ambiente, como a capacidade de mudar o ponto de vista do usuário, ou de interagir ou manipular objetos no ambiente virtual. Por exemplo, excesso de teclas de atalhos, ou atalhos mal estruturados (muito distantes, ou que o usuário tenha que soltar os controles principais de navegação) são prejudiciais.</p> <p>Também se deve evitar dispositivos difíceis para navegação em ambientes de RV, como touchpads de notebooks. No caso da RV semi-imersiva deve-se sempre optar por mouse e teclado (no mínimo). Sempre que possível, é recomendado utilizar dispositivos que rastreiem as partes do corpo, e que trabalhem de forma mais intuitiva e natural.</p> <p>Essa heurística sinalizará erro, quando não houver controles para as ações básicas que o usuário deve desempenhar, como olhar em volta (câmera que rotacional 360 graus), caminhar para frente, para trás, e para os lados, e quando essa navegação for difícil, feita com teclas ou atalhos complicados, distantes e pouco intuitivos.</p> <p>Também sinalizará erros quando faltarem mecanismos de interação com elementos necessários para o usuário realizar suas tarefas, ou quando esses mecanismos forem insuficientes, complicados, pouco intuitivos e pouco realistas.</p> <p>Sinalizará erro quando os dispositivos utilizados no sistema de RV forem pouco intuitivos, como touchpads, ou de difícil domínio, como certos joysticks ou outros instrumentos de interação.</p> <p>Também sinalizará erro quando a interação for lenta, apresentar atrasos, travamentos, ou demorar para responder aos comandos ou movimentos do usuário.</p> <p>O sistema deve apresentar o máximo de precisão com respeito às ações do usuário, simulações físicas, e animações. As ações que o usuário desempenha, devem sofrer reações em um tempo que seja imperceptível para o usuário, (em tempo real) que deve ter a sensação de que ocorrem instantaneamente e sem nenhum atraso.</p>	

Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Achou os controles de navegação intuitivos? (sinalizar um erro caso não) - Achou os atalhos e as teclas de atalho complicadas? (sinalizar um erro caso sim, e para cada conjunto de teclas de atalho complicadas) - Os periféricos (luvas caso existam, mouses, teclados, rastreio da cabeça caso existam) são fáceis de usar? - Os periféricos (luvas caso existam, mouses, teclados, rastreio da cabeça caso existam) propiciam uma navegação mais intuitiva? - Você sente que o sistema responde rapidamente aos seus comandos? (sinalizar um erro) - Ao realizar algum comando, o sistema responde de forma adequada, sem tremedeiras, movimentos involuntários, ou estranhos (sinalizar um erro para cada situação). - A interação com os elementos e com o cenário é realista? (caso não, sinalizar um erro para cada interação pouco realista). - As ações que o usuário desempenha, possuem reações imediatas e em um tempo imperceptível? (caso não, sinalizar um erro para cada ação). - É possível atravessar partes da malha de objetos ou elementos de cenário que não deveriam ser atravessados. (caso sim, sinalizar um erro para cada elemento que pode ser atravessado). - Há objetos que são afetados pela gravidade se comportando de forma estranha ao caírem ou serem manipulados pelo usuário. (caso não, sinalizar um erro para cada objeto). - Os elementos animados estão bem animados, ou animados de acordo com seu comportamento natural no mundo real. (caso não, sinalizar um erro para cada elemento). - Os painéis de controle atendem ao ser acionada alguma ação? (caso não, sinalizar um erro para cada elemento). - Os elementos interativos como botões, gatilhos (para ações), alavancas, armadilhas, ou outro elemento que interage com o usuário, funciona rápido, ou como deveria? (caso não, sinalizar um erro para cada elemento).

Fatores técnicos

ID: H-4	Nome: Erros do sistema	Prioridade: alta
Definição	O sistema de RV deve promover uma experiência o máximo possível livre de falhas de sistema (software) como travamentos, atrasos, e movimentos estranhos, ou elementos comportando-se de maneira diversa.	
Explicação	<p>O sistema deve promover uma experiência o máximo possível livre de falhas. Sendo assim, deve manter baixos os problemas de travamentos; erros de física no ambiente virtual; lentidão em qualquer ação, feedback, ou elemento interativo; erros de sistema no computador; problemas de software; elementos com comportamento estranho, como coisas “tremendo”, “deslizando”, “movendo-se” quando não deveriam; elementos mudando de cor, problemas com texturas, ou qualquer outro problema gráfico; luzes falhando; interações que não funcionam corretamente; ou outro problema relatado. Qualquer um dos problemas relatados acima, ou outro não relatado, que envolva o sistema (parte de software), irá implicar em um erro nesta heurística (para cada um).</p> <p>Toda a parte de hardware deve estar pronta para rodar a aplicação de RV antes do usuário iniciar sua experiência. Computadores que não rodam, ou não rodam corretamente a aplicação, irão implicar em uma experiência pobre e usabilidade ruim.</p> <p>Assim, travamentos, ou lentidão, provocados pelo fato de o computador não suportar a aplicação, devem ser analisados antes. E caso o usuário relate, o hardware deve ser revisto.</p> <p>Ausência de dispositivos necessários para interações específicas; cabeamento que atrapalha o usuário, ou é curto demais para suas livres ações; hardware lento; ausência de placas gráficas para o desempenho 3D são elementos que apontarão erros nesta heurística. A partir de lentidões ou</p>	

	<p>problemas detectados, o avaliador pode indagar ou buscar informações sobre o hardware para apontar os erros nesta heurística. Também deve-se levar em conta o espaço físico em que o usuário deverá estar, e caso utilize, o conforto de elementos de hardware e periféricos em seu corpo, como headsets, fones, luvas, ou sistemas rastreadores de movimento.</p>
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Erros de física no ambiente virtual - Lentidão em qualquer ação (sinalizar um erro para cada ação) - Sistema demora a responder ao receber um comando ou ação, que deveria gerar um retorno (sinalizar um erro para cada ação). - Lentidão ao girar a câmera responsável pelo seu ponto de vista (sinalizar um erro) - Lentidão ao caminhar ou se locomover pelo ambiente de EV (sinalizar um erro) - Travamentos (sinalizar um erro para cada tipo de travamento diferente) - Erros de sistema no computador (sinalizar um erro para cada erro de sistema) - Elementos congelados (sinalizar um erro para cada elemento) - Elementos interativos comportando-se de forma estranha? (sinalizar um erro para cada elemento) - Elementos tremendo ou com movimentos estranhos (sinalizar um erro para cada elemento) - Elementos que não deveriam, mas movem-se sozinhos (sinalizar um erro para cada elemento). - Elementos deslizando sozinhos (sinalizar um erro para cada elemento) - Ao ficar parado, verifica que o mouse, ou a sua câmera de visão move-se sozinha. (sinalizar um erro) - Bugs (ao verificar algum bug de sistema, sinalizar um erro para cada um) - Problemas com sistema de informações (sinalizar um erro para cada problema) - Algum elemento funcionando inadequadamente? (sistemas de erros, ajuda, orientação, etc, caso existam e estejam funcionando mal, sinalizar um erro para cada sistema e para cada problema encontrado) - Considera o computador que está utilizando lento? (sinalizar um erro) - O computador que está utilizando possui placa de vídeo e configuração adequada? (sinalizar um erro) Pode solicitar estas informações para a pessoa responsável, caso necessário. - Identificou a ausência de algum equipamento que seria necessário para realizar as tarefas ou atividades propostas? (caso sim, sinalizar um erro para cada um).

ID: H-5	Nome: Minimizar a Alternância entre o real e o virtual	Prioridade: alta
Definição	O sistema deve ser capaz de ser autossuficiente para todos os usos, mantendo todas as tarefas e informações necessárias para o usuário dentro do próprio ambiente da RV, em vez de criar tarefas ou informações, que o usuário só poderá executar ou acessar caso tenha que se desconectar do ambiente de RV.	
Explicação	O sistema deve ser capaz de confiar em si mesmo para todos os usos, isto é, manter todas as tarefas e informações que são necessárias para o usuário dentro do ambiente da RV, em vez de criar tarefas ou informações, que o usuário só poderá executar ou acessar caso tenha que se desconectar do ambiente de RV. Em resumo: o usuário não deve se desconectar do ambiente de Rv por motivo algum. Caso o usuário precise de alguma instrução, ou informação, ou por qualquer outro motivo, mesmo que leve, após o início da sessão de navegação, que tenha que se desligar do ambiente de RV, esta heurística sinaliza um erro para cada situação.	
Checklist	- Tudo o que precisa fazer, é feito dentro do ambiente virtual? (Caso haja alguma pergunta, dúvida, ação, ou consulta, que você tenha que se desconectar do ambiente de RV para fazer, sinalizar um erro para cada uma).	

ID: H-6	Nome: Fidelidade representacional	Prioridade: alta
Definição	Os elementos representados no ambiente virtual 3D devem possuir qualidade visual, gráfica, e serem fiéis aos seus representantes reais, ou imaginários. Deve-se ter qualidade de modelos 3D, texturas, materiais, e realismo nestes elementos.	
Explicação	Os elementos no ambiente de RV que representam algum elemento, cenário, objeto, peça, pessoa, ou qualquer elemento real ou imaginário, devem possuir qualidade e fidelidade em sua representação, inclusive com qualidade gráfica 3D convincente. Assim, a modelagem 3d dos elementos deve ser bem executada: sem defeitos na malha poligonal, possuir representação mais idêntica possível ao objeto ou elemento representado, e não ter aspecto “poligonal”. As texturas convincentes, e os materiais realistas. Os ambientes devem ser iluminados da forma mais realista possível. O realismo dos elementos deve ser buscado sempre que possível, mas para os ambientes “estilizados”, a qualidade de representação dos elementos está na qualidade técnica em que foram concebidos em 3D.	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Os modelos estão bem feitos? (apontar um erro para cada modelo que não se enquadra) - As texturas são convincentes? (apontar um erro para cada modelo que não se enquadra) - Os materiais estão convincentes? (apontar um erro para cada modelo que não se enquadra) - Há objetos com aspecto poligonal? (apontar um erro para cada modelo que não se enquadra) - Há objetos com defeitos ou características estranhas no modelo? (relacionado à modelagem e apontar um erro para cada modelo que se enquadra) - Há objetos ou modelos irreconhecíveis? (apontar um erro para cada modelo que se enquadra) O cenário possui iluminação convincente ou realista? (apontar um erro para cada elemento ou ambiente que não se enquadra) - As sombras são convincentes? (apontar um erro para cada elemento que não se enquadra) - Há ambiente occlusion (sombra de contato) nos ambientes? (apontar um erro caso não exista, pois é aplicado de maneira geral). 	

ID: H-7	Nome: Interação	Prioridade: alta
Definição	O sistema de RV deve apresentar elementos interativos, e possuir mecanismos que possibilitem ao usuário interagir com estes elementos, com o máximo de naturalidade possível, e o mais próximo possível de como seria no mundo real. O ambiente de RV deve proporcionar estímulos para mais de um sentido, principalmente visão, audição e tato e de preferência, concomitantemente.	
Explicação	<p>O sistema de RV deve apresentar ao usuário a possibilidade de interagir com elementos, objetos, e partes do cenário, como parte fundamental das tarefas a serem realizadas, e parte da imersão e sensação de presença. Essa interação se faz através da criação de elementos 3D e possuem propriedades interativas, e com a utilização de dispositivos especiais, como luvas ou outros, e não especiais, como mouse e teclado. Essa interação deve acontecer em tempo real, ou seja, o usuário realiza uma ação, o sistema detecta a entrada deste usuário e reage, apresentando instantaneamente os resultados desta ação. Essa interação também deve acontecer o mais natural possível, em relação a como seria realizada no mundo real.</p> <p>O sistema de RV deve ter algum modo de rastrear os movimentos da cabeça do usuário, pois isto aumenta a imersão, a presença, e o imediatismo de controle do usuário.</p>	

	Falta de interação em elementos que deveriam ser interativos para não comprometer a tarefa, ou a missão, ou a atividade a ser executada pelo usuário, ou elementos com interações difíceis, ou interações pouco naturais, sinalizam erro nesta heurística.
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há elementos interativos no ambiente de Rv? (caso não haja nenhum, sinalizar um erro e não precisa trabalhar os itens abaixo – esse erro é grave e crítico). - Os itens interativos são fáceis de identificar? (sinalizar um erro para cada item difícil de encontrar) - As interações são intuitivas de aprender seu funcionamento e fáceis de manipular? (sinalizar um erro para cada item difícil de aprender ou de manipular) - As interações funcionam bem? (sinalizar um erro para cada item que não funciona bem) - As interações são naturais, e semelhantes ao mundo real? (sinalizar um erro para cada item que não seja) - Há algum sistema de rastreamento da posição da cabeça? (caso não, sinalizar um erro).- Sente que faltou algum equipamento, que seria necessário para melhorar ou facilitar alguma interação? (sinalizar um erro para cada item que precisaria de dispositivos especiais para que seu funcionamento não comprometa a tarefa, trabalho ou objetivo). - Há estímulo a mais de um sentido (prioritariamente visão e audição)? (caso não haja nenhum estímulo além da visão, ou seja, poucos, sinalizar um erro)

ID: H-8	Nome: Flexibilidade	Prioridade: média
Definição	O sistema de RV deve fornecer recursos para customização da experiência para diferentes usuários, como por exemplo, a customização de atalhos, ou de elementos da interface, que facilitem a utilização por usuários com características diferentes.	
Explicação	O ambiente virtual deve fornecer recursos para customização da navegação, como por exemplo, a customização de atalhos, ou de elementos da interface, que facilitem a utilização por usuários diferentes. Assim um usuário experiente, por exemplo, pode customizar atalhos com os quais se sinta mais confortável, e agilizar o processo de utilização e sua experiência com o ambiente. Elementos da interface também podem ser revelados ou escondidos, de acordo com a vontade e necessidade do usuário.	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há formas de customizar os controles para navegação? (caso não, sinalizar um erro – se houver um ou mais, sinalizar erro para os outros que não podem – um erro para cada). - Há formas de customizar os atalhos? (caso não, sinalizar um erro – se houver um ou mais, sinalizar erro para os outros que não podem – um erro para cada). - Há formas de customizar os elementos de interface? (caso não, sinalizar um erro – se houver um ou mais, sinalizar erro para os outros que não podem – um erro para cada). Há formas de customizar a câmera (pontos de vista)? (caso não, sinalizar um erro) Há formas de customizar os avatares? (caso não, sinalizar um erro) 	

Fatores cognitivos

ID: H-9	Nome: Redução da Carga cognitiva	Prioridade: alta
Definição	O ambiente de Rv não deve sobrecarregar a memória de trabalho do usuário, apresentando um excesso e informações de uma vez só. As informações fornecidas em forma de texto devem ser legíveis, possuir hierarquia e serem organizadas.	
Explicação		

	O ambiente de RV deve buscar minimizar os esforços da memória do usuário, tornado os objetos, opções, e ações, visíveis ou de fácil acesso. O número de elementos que contenham informações, ou que dependam da memória, ou do esforço cognitivo do usuário, não deve ser exagerado, ou em apresentado em excesso, respeitando o esforço cognitivo do usuário, e não o sobrecarregando de informações. Também deve apresentar recursos, para que o usuário escolha quais informações quer absorver primeiro, deixando ele próprio reduzir sua carga cognitiva.
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - O conteúdo (textos, sons, falas, imagens, modelos, animações) é apresentado de forma gradual? (caso não, sinalizar um erro para cada conteúdo que acredite estar sobrecarregando de informações de uma vez). - Há excesso de informações em cada ambiente da simulação de RV? (caso sim, apontar um erro para cada momento em que o conteúdo sobrecarrega). - O usuário tem que realizar muitas tarefas ao mesmo tempo? (caso sim, apontar um erro para cada momento em que as tarefas sobrecarregam). - As informações são claras (em relação às cores, formas da letra, figura e fundo) para a leitura? (caso não, sinalizar um erro para cada problema encontrado). Há informações ofuscadas por luzes, sobras, ou outro elemento? Há informações que só podem ser lidas de muito perto?

Fatores afetivos

ID: H-10	Nome: Aprendizagem facilitada e percebida	Prioridade: alta
Definição	O sistema de RV deve fornecer dicas, pistas, ou informações que auxiliem o usuário a ter a percepção de que aprendeu algo. O conteúdo de informações apresentado ao usuário, para qualquer fim, deve ser apresentado de forma lógica, coerente, apresentando uma sequência, e da parte mais fácil para a mais difícil.	
Explicação	O sistema de RV deve fornecer dicas, pistas, ou informações que auxiliem o usuário a ter a percepção de que aprendeu algo. Sendo assim, deve dar ao usuário, não apenas feedbacks do aprendizado como na heurística “feedback do aprendizado”, mas demonstrar que o usuário realmente está progredindo em conhecimentos, e dar para ele a impressão (real) de que realmente está aprendendo algo.	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - O sistema de RV fornece dicas, pistas, ou informações que auxiliem o usuário a ter a percepção de que aprendeu algo? (caso não, sinalizar um erro). - O sistema de RV retoma os conhecimentos fornecidos anteriormente, em forma de questões, ou novos desafios, ou outras formas, que façam o usuário ter que utilizar um conhecimento adquirido durante a experiência em RV? (caso não, sinalizar um erro). - O sistema de RV tem alguma barra de progresso, ou elemento visual que informe o progresso em conhecimentos para o usuário? (caso não, sinalizar um erro). - O conteúdo, caso haja, é apresentado de forma sequenciada? (caso não, sinalizar um erro). - O conteúdo começou da parte mais fácil e foi crescendo progressivamente em dificuldade? (caso não, sinalizar um erro para cada conteúdo que foi apresentado de forma diferente). - Percebeu uma ordem lógica no conteúdo? (caso não, sinalizar um erro). 	

ID: H-11	Nome: gamificação e fluxo	Prioridade: alta
----------	---------------------------	------------------

Definição	Tarefas bem definidas, que apresentem desafios, e com objetivos claros, além de sensação de controle, são elementos que estimulam o fluxo. Esta heurística trata de como analisar a sensação de entrar em fluxo no ambiente virtual. O ambiente de RV deve se apropriar de mecânicas e dinâmicas de jogos, para a realização das tarefas, atividades e desafios.	
Explicação	<p>Tarefas desafiadoras, com novos desafios constantes, e feedback sobre os efeitos, e do progresso do usuário para resolver um desafio; objetivos claramente definidos; fidelidade representacional; interatividade; boa experiência do usuário; controle por parte do usuário; e proporcionar uma experiência prazerosa. Assim, estes elementos devem estar bem conectados e bem planejados, para induzir a experiência do fluxo. Cada um destes elementos é tratado em heurísticas específicas deste conjunto. Esta heurística trata de como eles se relacionam, e se o usuário está entrando no estado de fluxo. Caso o fluxo não esteja sendo alcançado, a relação entre estes elementos, e os elementos em si devem ser revistos.</p> <p>O ambiente de RV deve se apropriar de mecânicas e dinâmicas de jogos, para a realização das tarefas, atividades e desafios. Assim deve possuir desafios, conquistas e missões, com objetivo claro; deve oferecer elementos de competição; deve possuir um ou mais sistemas de recompensas; deve dar feedbacks ao usuário para que este tenha pleno conhecimento de seu rendimento. É necessário ter informações sobre a “progressão”, que são informações e pistas, que indiquem que o usuário está no caminho certo para solução da missão ou desafio, e saber o quanto falta para realiza-lo. “Ter elementos de Storytelling”, ou “contar histórias” e elementos de uma narrativa;</p>	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Sentiu que se desligou do ambiente real durante a navegação e realização das tarefas? (caso não, sinalizar um erro). - Sentiu que entrou em fluxo? (caso não, sinalizar um erro). - Sente que há elementos que estimulem a competição? (caso não, sinalizar um erro). - Há uma missão final a cumprir? (caso não, sinalizar um erro). - Há desafios? (caso não, sinalizar um erro). - Há tarefas que auxiliam a completar uma missão ou objetivo final? (caso não, sinalizar um erro). - Há um objetivo claro para ser cumprido? (caso não, sinalizar um erro). - Há um ou mais sistemas de recompensas? (caso não, sinalizar um erro). - Há um sistema de progressão, para o usuário saber como está na tarefa a ser realizada, e quanto falta? (caso não, sinalizar um erro). - Há alguns feedbacks para o usuário para que tenha pleno conhecimento de seu rendimento? (caso não, sinalizar um erro). - Há sistema de pontuação? (caso não, sinalizar um erro). - Há elementos de Storytelling? 	

Fatores visuais

ID: H-12	Nome: Consistência e persistência dos padrões	Prioridade: alta
Definição	O ambiente virtual deve ter consistência em todos os seus aspectos, de uma maneira geral. Deve apresentar padrões que podem ser previstos, pela forma como fluem seguindo um aspecto coerente e consistente.	
Explicação	O ambiente virtual deve ter consistência em todos os seus aspectos, de uma maneira geral. No uso da linguagem, em seus conceitos, em seus objetos, em sua interface, e também em suas mensagens,	

	ícones e estilo visual. As ações do usuário e de seu avatar, devem produzir efeitos no ambiente que sejam coerentes e consistentes. Deve ter uma constância nos padrões para que o usuário possa, de alguma maneira, prever resultados com base em uma ação realizada.
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há consistência nos padrões de textura, iluminação, ambientes, painéis de controle, ou de uma maneira geral no cenário? (caso não, sinalizar um erro para cada problema encontrado). - Os modelos possuem a mesma qualidade gráfica? Es modelos muito detalhados e outros pouco detalhados, ou com qualidade de detalhes inferior no mesmo ambiente virtual) - Há ambientes ou cenários dentro do mesmo ambiente de RV que não seguem lógica nenhuma ou são confusos? (sinalizar um erro para cada um) - Elementos informacionais que não seguem um padrão? - Há qualquer outro elemento que deveria seguir um padrão e não segue?

ID: H-13	Nome: Pistas visuais - “cues”	Prioridade: alta
Definição	As dicas visuais, ou “cues” (pistas) utilizam recursos que sinalizam ou sobre diversos aspectos dentro do ambiente de RV, e ressaltam elementos mais importantes, destacando as informações mais importantes para o usuário em determinado momento.	
Explicação	<p>As dicas visuais utilizam recursos que sinalizam ou dão pistas sobre diversos aspectos dentro do ambiente de RV. A sinalização é a colocação de elementos visuais e / ou verbais sem conteúdo que servem para guiar a atenção do usuário e auxiliar nos processos cognitivos, de seleção e organização de materiais instrucionais. Por exemplo, sinalizam o que é interativo, em meio aos elementos que não são; elementos perigosos; sinalizam caminhos; elementos importantes, entre outros.</p> <p>São importantes para ajudar os usuários a concentrarem-se em informações ou aspectos importantes da experiência.</p> <p>As técnicas de sinalização podem ser verbais, como sons, falas, ênfase vocal, e palavras indicadoras; ou visuais, como setas, cores distintas, flashes, gestos de apontar, conteúdo acinzentado, ou spots de luz sobre objetos e elementos ressaltados com luzes (Dodd e Antonenko 2012)</p> <p>O cenário não possui nenhum tipo de pista visual ou “cue”, é necessário apontar um erro dessa heurística para cada dica que facilitaria a experiência do usuário, mas não existe.</p> <p>Esta heurística fica totalmente ao critério e avaliação do avaliador, sobre a necessidade ou não das dicas visuais, e onde, no ambiente avaliado.</p>	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há dicas visuais, ou pistas visuais, sinalizando (seja por sinais verbais, como sons, falas, ênfase vocal, e palavras indicadoras; ou visuais, como setas, cores distintas, flashes, gestos de apontar, conteúdo acinzentado, ou spots de luz sobre objetos e elementos ressaltados com luzes) os elementos mais importantes em cada momento? (caso não, sinalizar um erro por elemento). - Há dicas visuais, ou pistas visuais, sinalizando (seja por sinais verbais, como sons, falas, ênfase vocal, e palavras indicadoras; ou visuais, como setas, cores distintas, flashes, gestos de apontar, conteúdo acinzentado, ou spots de luz sobre objetos e elementos ressaltados com luzes) os elementos interativos em cada momento? (caso não, sinalizar um erro por elemento). <p>Há informações escondidas ou mal sinalizadas, ou elementos importantes para o usuário que estão escondidos, ou estão mal sinalizados? (caso não, sinalizar um erro por elemento).</p>	

Feedback

ID: H-14	Nome: Feedback do aprendizado	Prioridade: alta
----------	-------------------------------	------------------

Definição	Para sistemas de RV que envolvam algum aprendizado, seja de habilidade, conhecimento prático, ou teórico, é importante que o sistema possua mecanismos para dar um feedback deste aprendizado para o usuário.
Explicação	<p>Para sistemas de RV que envolvam algum aprendizado, seja de habilidade, conhecimento prático, ou teórico, é importante que o sistema possua mecanismos para dar um feedback deste aprendizado para o usuário. Estes feedbacks devem ser projetados no sistema, de forma inteligente e eficiente, e ser apresentados de forma clara.</p> <p>Avisos, mensagens, barras de progresso, sistema de pontuação, podem ser implementados para mostrar ao usuário o quanto ele aprendeu, e quanto ainda falta, para, por exemplo, completar uma tarefa ou terminar uma avaliação. Também utilizar testes e avaliações, e elementos que testam as habilidades e conhecimentos adquiridos ajudam o usuário saber o que aprendeu. O feedback também pode ser dado em cima das ações do usuário, quando por exemplo, ao executar um procedimento, o sistema aponta o que fez, e o que poderia ou deveria fazer, através de mensagens, que podem ser visuais ou auditivas.</p> <p>Caso não haja nenhum tipo de feedback do aprendizado do usuário, a heurística aponta o erro. Caso estes feedbacks existam, mas sejam mal elaborados, mal projetados, ou não funcionem, a heurística também aponta os erros, sendo um erro para cada tipo de feedback mal feito.</p>
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há algum aviso ou mensagem sobre a aprendizagem do usuário, que demonstre o que aprendeu? (caso não, sinalizar um erro). - Há algum aviso ou mensagem sobre a aprendizagem do usuário, que o incentive a aprender mais? (caso não, sinalizar um erro). - Há alguma barra de progresso do aprendizado? (caso não, sinalizar um erro). - Há algum sistema de pontos para o aprendizado? (caso não, sinalizar um erro). - Há algum sistema de progresso para o aprendizado? (caso não, sinalizar um erro). - Há enigmas ou desafios sinalizados pelo sistema? (caso não, sinalizar um erro). - Quando o aprendizado realizado pelo usuário é fraco, ou insuficiente, o sistema sinaliza? (caso não, sinalizar um erro).

Erros e ajuda

ID: H-15	Nome: Ajuda e documentação	Prioridade: alta
Definição	O Sistema de RV deve ter um sistema de ajuda, com informações que auxiliem o usuário a entender o ambiente de RV e solucionar problemas por conta própria.	
Explicação	<p>A aplicação de RV deve fornecer ao usuário boas informações dentro do próprio ambiente virtual. Essas informações devem ser de fácil acesso, escritas ou faladas no idioma do usuário, fáceis de entender, fáceis de encontrar, e serem completas.</p> <p>Caso o ambiente de RV não possua nenhum tipo de ajuda, nem manual que auxilie a compreender o ambiente, ou informações e dicas que auxiliem o usuário, esta heurística implica em erros.</p>	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há um sistema de ajuda? (caso não, sinalizar um erro e um erro neste item, significa erro nos 4 próximos) - Este sistema de ajuda é fácil de encontrar? (caso não, sinalizar um erro). - As informações estão organizadas? (caso não, sinalizar um erro). - As informações são úteis? (caso não, sinalizar um erro). - As informações são completas? (caso não, sinalizar um erro). 	
ID: H-16	Nome: conserto de erros	Prioridade: alta

Definição	A tolerância a erros se divide em dois aspectos: a prevenção de erros, e a recuperação de erros. Ambos auxiliam o usuário a poder evitar e recupera-se de situações problemáticas.	
Explicação	A tolerância a erros se divide em dois aspectos: a prevenção de erros, e a recuperação de erros. A prevenção trata do ambiente virtual auxiliar o usuário, através de informações e avisos, a evitar de cometer qualquer erro, confundir-se de forma danosa, ou envolver-se em situações indesejadas, relacionadas com a interface ou com o próprio ambiente de RV. Já a recuperação de erros, indica mecanismos de sair dos erros, e das situações listadas acima, caso por algum motivo, o usuário incorra nelas, sempre que não pode sair da situação por si mesmo. Deve incluir mensagens claras, indicando causas e soluções recuperar-se dos erros.	
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> - Há mecanismos para evitar erros? (caso não, sinalizar um erro, para cada erro encontrado no ambiente de RV). - Há mecanismos para se recuperar dos erros? (caso não, sinalizar um erro, para cada erro encontrado no ambiente de RV). - Caso existam sistemas de recuperação de erros, as mensagens, ou outra forma de comunicação, são claras? (caso não, sinalizar um erro, para cada problema com as mensagens encontrado). - Caso existam sistemas para evitar erros, as mensagens, ou outra forma de comunicação, são claras? (caso não, sinalizar um erro, para cada problema com as mensagens encontrado). 	

ANEXO D – Ficha base para avaliação heurística

Formulário enviado aos avaliadores com as instruções para o teste de avaliação heurística como parte da validação

Avaliação heurística do Vr Design

Esta é uma avaliação de experiência do usuário/ usabilidade de um ambiente semi-imersivo de Realidade Virtual. Será realizada na forma de avaliação heurística. Toda o processo de avaliação é realizado por você no seu tempo livre, não precisarei estar presente. Ao terminar me enviará os resultados por e-mail ou WatsApp. O tempo estimado da tarefa é de 2 horas.

É preciso que você realize essa avaliação com calma, e tire um tempo para fazer, para que possa encontrar o máximo de erros que puder no ambiente virtual e possa realiza-la de uma vez só.

Instalando o VrDesign

Você pode baixar o Vr Design no link abaixo:

<https://mega.nz/folder/rsByVBJK>

senha de acesso

FDmhMIYImMnx3_2215fooQ

Passo a passo para a instalação:

- Baixe o VrDesign
- Descompacte tudo para uma pasta
- Rode o arquivo .exe com nome “projeto simulador”
- Na próxima tela em que pergunta sobre a instalação clique em “Sim”
- Mantenha todos os arquivos que foram descompactados sempre na mesma pasta, caso contrário o VR Design não roda

Passos da avaliação

Basicamente, você irá inspecionar o ambiente virtual procurando erros e defeitos, utilizando heurísticas de ux/usabilidade que te forneci abaixo, como um parâmetro para achar os erros.

As heurísticas são as guias através das quais você buscará erros e problemas na interface. No design de interface do usuário, o termo heurística é quase sinônimo de regras gerais, ou “guidelines”, criadas previamente, que podem ser usadas por designers e avaliadores, tanto para

orientar o processo de design e criação, como o processo de avaliação de interfaces IHC (ENDSLEY et al 2017). Estas orientam o processo chamado avaliação heurística.

Você deve utilizar um computador semi-imersiva, ou notebook (semi-imersiva de preferência) comum e apenas os periféricos comuns, como mouse e teclado, não sendo necessário utilizar nenhum dispositivo especial como HMD (óculos de realidade virtual).

Você não pode se comunicar com outras pessoas que também estejam realizando o teste, caso conheça.

Passo 1: baixar e instalar o simulador VrDesign

Passo2: ler a tabela com as informações sobre cada heurística

Passo 3: Para essa avaliação que fará do ambiente virtual, você deve iniciar com a primeira heurística e percorrer o cenário inteiro analisando-o de acordo com a heurística em questão, anotando os erros encontrados no ambiente virtual associados a esta Heurística. Isto deve ser feito para cada heurística (todas), uma de cada vez.

Passo 4: Os erros encontrados associados às heurísticas devem ser anotados na tabela abaixo neste documento.

- Deve-se sinalizar um erro para cada item encontrado, exemplo: as texturas das portas estão com problemas. Há 3 portas com esse problema. Então o avaliador irá anotar mais 3 erros na lista de erros associados a heurística que estiver avaliando este tipo de erro.

- Também deve descrever na tabela de forma sucinta o erro encontrado. Ex: “a textura das portas está desencaixada”. Utilize o espaço à vontade para descrever quantos erros forem necessários.

Ex

Heurística: problemas com portas	Problemas com os modelos das portas	5
	Problemas com as texturas das portas	7
	Problemas com a movimentação das portas	3

- Também na mesma tabela, deve assinalar com sim ou não, se considera o erro severo (erros muito aparentes, muito graves, muito grosseiros, ou que atrapalham muito a experiência do usuário).

- Na coluna sobre erros específicos, você diz (com sim ou não) se considera o erro encontrado um erro específico, do tipo que só ocorre em ambientes virtuais, e não em sites, aplicativos móveis ou qualquer aplicação de outro gênero.

- Por fim há uma coluna para você fazer comentários, caso possua, sobre a heurística utilizada (não obrigatório). No final do documento há as heurísticas com um checklist (não obrigatório), que você pode utilizar ou não, ficando a seu critério (é só para ajudar).

Passo 5: ao terminar me envie os resultados por e-mail: diegoparreiras@gmail.com com o título: resultados da validação, ou por whatsapp.

Você deve ser bem severo e crítico em seu julgamento, o objetivo aqui é exatamente encontrar os erros através das heurísticas.

Caso uma heurística refira-se a um elemento que não exista no ambiente virtual, e sua não existência não seja um erro sinalizado por esta heurística, deve-se ignorar o elemento não existente.

Caso não encontre erro algum associado a determinada heurística, e você ache que é porque ela não serve ou não se aplica para este tipo de ambiente, explique por favor na seção de comentários o porquê.

Caso haja alguma heurística que não conseguiu entender como utilizá-la, ou quais erros ela avalia, peço por favor que aponte nos comentários, dando uma breve justificativa.

Obs: lembrando, o processo deve ser feito para cada heurística.

O prazo para entrega da avaliação é até este domingo dia 7/11. (estou com pouco prazo para concluir).

Não esqueça de colocar seu nome na tabela de preenchimento dos erros, que está logo após as heurísticas.

A tabela para preenchimento dos dados está logo abaixo da tabela sobre as heurísticas.