

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**

FABRÍCIO HERPICH

**Recursos Educacionais em Realidade Aumentada
para o Desenvolvimento da Habilidade de
Visualização Espacial em Física**

Porto Alegre

2019

FABRÍCIO HERPICH

**RECURSOS EDUCACIONAIS EM
REALIDADE AUMENTADA PARA O
DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE DE
VISUALIZAÇÃO ESPACIAL EM FÍSICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Orientador(a):

Prof^ª. Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Linha de Pesquisa:

Ambientes Informatizados e Ensino à Distância

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Herpich, Fabrício
Recursos Educacionais em Realidade Aumentada para o
Desenvolvimento da Habilidade de Visualização Espacial
em Física / Fabrício Herpich. -- 2019.
207 f.
Orientadora: Liane Margarida Rockenbach Tarouco.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em
Novas Tecnologias na Educação, Programa de
Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto
Alegre, BR-RS, 2019.

1. Realidade Aumentada. 2. Visualização Espacial.
3. Ensino de Física. 4. Recursos Multimídia. I.
Margarida Rockenbach Tarouco, Liane, orient. II.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Prof^ª. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Celso Giannetti Loureiro Chaves

Diretor do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação: Prof. Dr. Leandro
Krug Wives

Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Informática na Educação: Prof^ª. Dra. Liane
Margarida Rockenbach Tarouco



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
FABRÍCIO HERPICH**

Às quatorze horas do dia vinte e dois de julho de dois mil e dezenove, na sala 329 do PPGIE/CINTED, nesta Universidade, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Magda Bercht, Adelina Mezzari e Roseclea Medina para a análise da defesa de Tese de Doutorado intitulada **“Recursos Educacionais em Realidade Aumentada para o Desenvolvimento da Habilidade de Visualização Espacial em Física”**, do doutorando do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação Fabrício Herpich, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Liane Margarida Rockenbach Tarouco. A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

- Considera a Tese aprovada
 sem alterações;
 sem alterações, com voto de louvor;
 e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

Considera a Tese reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

(assinatura consta no documento original)

Prof.^a Dr.^a Liane M. Rockenbach Tarouco

(assinatura consta no documento original)

Prof.^a Dr.^a Magda Bercht
PPGIE/UFRGS / ,

(assinatura consta no documento original)

Prof.^a Dr.^a Adelina Mezzari
Farmácia/UFRGS

(assinatura consta no documento original)

Prof.^a Dr.^a Roseclea Medina
UFSM

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à Deus, por me guiar durante esta trajetória e me dar força e coragem para enfrentar os desafios.

À professora Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco, minha orientadora, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho, por todos os ensinamentos e orientações durante o período do doutorado, além de todo o apoio e incentivo para a realização de pesquisas e participação em congressos. Estendo meu agradecimento aos demais professores e funcionários do PGIE, pelo excelente trabalho que realizam ajudando a alcançar os resultados de excelência deste programa.

Aos professores das escolas que abriram as portas e me concederam a oportunidade de validar a minha pesquisa em suas disciplinas: Aline Grunewald Nichele, Tatiana Wollmann, Ivo Mai e Marcelo Krause.

Aos professores membros da banca, tanto da qualificação quanto da defesa, pelas pertinentes contribuições que enriqueceram este trabalho.

À minha família, que não mediu esforços para que eu pudesse sempre continuar estudando e buscando melhor qualificação profissional. Em especial, agradeço aos meus pais, Marlise e Wilson, e aos meus irmãos, Francine e Maikon, assim como à minha namorada Juliana e familiares, por todo o apoio que me foi dado durante este período, sem vocês eu não teria conseguido superar este desafio.

Aos colegas do PGIE e aos “megamentes” pelas confraternizações, conhecimentos trocados e contribuições para esta tese. Em especial aos meus amigos de longa data, Felipe e Gleizer, por toda ajuda durante esta jornada, mas que antes de tudo isso se concretizar, mostraram o caminho para a entrada no doutorado. Aos bolsistas do Projeto AVATAR, que contribuíram para esta tese, em especial, Renan e Amaury.

Aos amigos do “Serious Boys” e “Centelha Nativa”, pela amizade de sempre e apoio para a conclusão deste trabalho. Meu agradecimento também aos amigos de Três de Maio, Alpestre, Santa Maria e Porto Alegre.

RESUMO

O uso da realidade aumentada na educação vem evoluindo rapidamente, incentivada pela ascensão dos dispositivos móveis, a onipresença da tecnologia e a acessibilidade aos recursos multimídia. Tendo em vista que seu benefício para o processo de ensino e aprendizagem destaca-se em áreas que demandam da abstração dos estudantes, esta tese tem como objetivo apresentar o potencial da realidade aumentada para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, com destaque a aprendizagem de Física. Para tanto, foram desenvolvidos recursos multimídia no formato de simulações tridimensionais em um aplicativo móvel de realidade aumentada, buscando oportunizar interações com fenômenos físicos. Um estudo quasi-experimental foi realizado com estudantes do nível fundamental e médio, que realizaram pré e pós-teste de habilidade de visualização espacial para avaliar a intervenção com o aplicativo e o uso dos seus recursos educacionais aumentados. Para embasar a relevância educacional, professores em formação foram consultados, afirmando a usabilidade pedagógica e possibilidades de interações, validação de hipóteses, experiências de aprendizagem autênticas e fidedignas ao mundo real. Também foram analisadas as percepções dos estudantes, obtendo uma avaliação positiva quanto aos recursos educacionais aumentados para a aprendizagem de Física. A partir da análise dos resultados, foi possível constatar os benefícios práticos das interações realizadas pelos estudantes com o aplicativo, ao se observar que as interações com os recursos educacionais aumentados correlacionou-se com o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial e com a aprendizagem de Física.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. Visualização Espacial. Ensino de Física. Recursos Multimídia.

ABSTRACT

The use of augmented reality in education has been evolving rapidly, encouraged by the rise of mobile devices, ubiquity of technology, and accessibility to multimedia resources. Considering that its benefit to the teaching and learning process stands out in areas that require students' abstraction, this thesis aims to present the potential of augmented reality for the development of the spatial visualization ability, with emphasis on the learning of Physics. For that, multimedia resources were developed in the form of three-dimensional simulations in a mobile application of augmented reality, seeking to provide opportunities for interactions with physical phenomena. A quasi-experimental study was carried out with students at the elementary and high-school level who performed pre and post-test of spatial visualization ability to evaluate intervention with the application and the use of their augmented educational resources. In order to support educational relevance, teachers in training were consulted, affirming pedagogical usability and possibilities for interactions, validation of hypotheses, authentic and reliable learning experiences in the real world. We also analyzed students' perceptions, obtaining a positive evaluation regarding the augmented educational resources for learning physics. From the analysis of the results, it was possible to verify the practical benefits of the interactions carried out by the students with the application, when it was observed that the interactions with the augmented educational resources correlated with the development of the spatial visualization ability and with the learning of Physics.

Keywords: Augmented Reality. Spatial Visualization. Teaching Physics. Multimedia Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica – Metas estabelecidas e IDEB Observado	14
Figura 1.2 – Distribuição de Escolas e de Dispositivos Tecnológicos disponíveis para Uso Pedagógico	18
Figura 2.1 – Virtuality Continuum	26
Figura 2.2 – Uso da realidade aumentada em indústrias.....	27
Figura 2.3 – Uso da realidade aumentada visual-háptica para a educação	28
Figura 3.1 – Etapas e Questões de Pesquisa analisadas	67
Figura 3.2 – Demonstração da tela inicial do aplicativo e seus recursos.....	70
Figura 3.3 – Modo offline do aplicativo avatAR UFRGS	71
Figura 3.4 – Recursos de realidade aumentada do aplicativo avatAR UFRGS.....	72
Figura 3.5 – Inventário do usuário e anotações sobre o experimento	73
Figura 3.6 – Experimento exibido no aplicativo avatAR UFRGS e níveis de interação	74
Figura 3.7 – Protocolo de Testes de Visualização Espacial e Conhecimento em Física	78
Figura 3.8 – Distribuição da População - Grupos	79
Figura 3.9 – Distribuição da População - Escolas.....	80
Figura 3.10 – Distribuição da População - Séries	81
Figura 3.11 – Distribuição da População - Gêneros.....	81
Figura 3.12 – Distribuição da População – Faixa Etária.....	82
Figura 3.13 – Distribuição dos Participantes do Grupo Controle por Série	83
Figura 3.14 – Distribuição dos Participantes do Grupo Experimental por Série	84
Figura 3.15 – Exemplo de item do teste de visualização espacial TVZ	85
Figura 4.1 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 9º ano	110
Figura 4.2 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 9º ano.....	111
Figura 4.3 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 1º ano	112
Figura 4.4 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 1º ano.....	113
Figura 4.5 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 2º ano	114
Figura 4.6 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 2º ano.....	115
Figura 4.7 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 3º ano	116
Figura 4.8 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 3º ano.....	117
Figura 4.9 – Gráfico de dispersão para o desempenho em V.E. e o número de interações	125

Figura 4.10 – Gráfico de dispersão para o desempenho em visualização espacial e o número de interações - agrupamento por gênero.....	127
Figura 4.11 – Comparação de desempenho entre grupos (n = 208).....	130
Figura 4.12 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 9º ano.....	133
Figura 4.13 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 9º ano.....	134
Figura 4.14 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 1º ano.....	135
Figura 4.15 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 1º ano.....	136
Figura 4.16 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 2º ano.....	137
Figura 4.17 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 2º ano.....	138
Figura 4.18 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 3º ano.....	139
Figura 4.19 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 3º ano.....	140
Figura 4.20 – Gráfico de dispersão para o desempenho em C.F. e o número de interações.....	145
Figura 4.21 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1.....	160
Figura 4.22 – Simulação sobre o motor a combustão - demonstração em níveis.....	161
Figura 4.23 – Simulações de corrente elétrica e motor elétrico - visualização das cargas elétricas....	162
Figura 4.24 – Mandala com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1.....	163
Figura 4.25 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 2.....	167
Figura 4.26 – Demonstração das explicações disponíveis ao participante em cada simulação.....	168
Figura 4.27 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 3.....	170
Figura 4.28 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 4.....	173
Figura 4.29 – Exemplo de interação do usuário com o experimento e seus conteúdos.....	174
Figura 4.30 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 5.....	177
Figura 4.31 – Exemplo de experimento e suas reações mediante a interação do usuário.....	178
Figura 4.32 – Simulação para representar as grandezas peso e massa.....	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Realidade Aumentada aplicada na Educação.....	36
Tabela 2.2 – Plataformas de Realidade Aumentada.....	46
Tabela 2.3 – Descrição dos Recursos Virtuais das Plataformas de Realidade Aumentada	48
Tabela 3.1 – Definição das características de qualidade.....	91
Tabela 3.2 – Questões de Análise	91
Tabela 4.1 – Avaliação dos Aspectos de Pedagogia do Aplicativo avatAR UFRGS.....	93
Tabela 4.2 – Avaliação dos Aspectos de Ensino de Ciência do Aplicativo avatAR UFRGS	98
Tabela 4.3 – Avaliação dos Aspectos de Usabilidade do Aplicativo avatAR UFRGS	103
Tabela 4.4 – Análise descritiva dos testes realizados com a população	108
Tabela 4.5 – Comparações entre Turmas da mesma série	118
Tabela 4.6 – Comparações entre Grupos da mesma série em relação ao desempenho de Visualização Espacial.....	122
Tabela 4.7 – Comparações de gêneros intergrupo	123
Tabela 4.8 – Comparação geral do Grupo Controle com o Grupo Experimental.....	129
Tabela 4.9 – Comparação da média global do TVZ em relação a amostra desta tese.....	131
Tabela 4.10 – Comparações entre Turmas da mesma série.....	142
Tabela 4.11 – Comparações entre Grupos da mesma série em relação ao desempenho de Física	144
Tabela 4.12 – Comparação geral do Grupo Controle com o Grupo Experimental	147
Tabela 4.13 – Percepção sobre os aspectos de Usabilidade do aplicativo avatAR UFRGS	149
Tabela 4.14 – Percepção sobre aspectos de Engajamento do aplicativo avatAR UFRGS.....	150
Tabela 4.15 – Percepção sobre aspectos de Motivação do aplicativo avatAR UFRGS	152
Tabela 4.16 – Percepção sobre aspectos de Aprendizagem do aplicativo avatAR UFRGS	154
Tabela 4.17 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1	158
Tabela 4.18 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 2	165
Tabela 4.19 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 3	169
Tabela 4.20 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 4	171
Tabela 4.21 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 5	175

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARLIS	AR Library Instruction System
AVATAR	Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BR	Brasil
CETIC	Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação
CF	Conhecimento em Física
CTML	Cognitive Theory of Multimedia Learning
DP	Desvio Padrão
EF	Ensino Fundamental
EM	Ensino Médio
EMMAP	Emotional Mapping of Museum Augmented Places
GPS	Global Positioning System
GQM	Goal-Question-Metric
ID	Identificador do Participante
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
MAR	Mobile Augmented Reality
MAREEA	Evaluation model of Mobile Augmented Reality Educational Approaches
MEC	Ministério da Educação
Méd.	Média
MRT	Mental Rotation Test
NMC	New Media Consortium
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PISA	Programme for International Student Assessment
QR-Code	Quick Response Code
RA	Realidade Aumentada
SDK	Software Development Kit
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
STEAM	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
TAM	Technology Acceptance Model
TVZ	Teste Informatizado de Visualização Espacial
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VE	Visualização Espacial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa e Motivação.....	14
1.2 Problema de Pesquisa.....	22
1.3 Objetivo	23
1.3.1 Objetivos Específicos	23
1.4 Estrutura da tese.....	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 Realidade Aumentada	25
2.1.1 Realidade Aumentada na Educação.....	27
2.1.2 Aprendizagem Multimídia e a Realidade Aumentada no Desenvolvimento Cognitivo ..	30
2.1.3 Recursos de Realidade Aumentada para a Educação	34
2.1.4 Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Aumentada.....	37
2.1.4.1 Análise de Recursos das Plataformas de Realidade Aumentada	41
2.1.4.2 Recursos Multimídia das Plataformas de Realidade Aumentada	47
2.1.4.3 Considerações Finais sobre as Plataformas de Realidade Aumentada	49
2.2 Desenvolvimento Cognitivo.....	50
2.2.1 Aprendizagem Situada	53
2.3 Trabalhos relacionados	56
2.3.1 Aprendizagem Situada e Realidade Aumentada.....	56
2.3.2 Realidade Aumentada no contexto da Aprendizagem Móvel	59
2.3.3 Contribuições da Realidade Aumentada no Desenvolvimento Cognitivo	62
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	67
3.1 Aplicativo de Realidade Aumentada - avatAR UFRGS.....	68
3.2 Etapa 1 - Avaliação da Usabilidade Pedagógica do Aplicativo avatAR UFRGS.....	75
3.2.1 Descrição demográfica da população	76
3.2.2 Instrumento de Análise de Coleta de Dados	76
3.3 Etapa 2 - Avaliação da Visualização Espacial e do Conhecimento em Física	77
3.3.1 Descrição demográfica da população	80
3.3.1.1 Caracterização do Grupo Controle	82
3.3.1.2 Caracterização do Grupo Experimental.....	83
3.3.2 Instrumentos de Coleta de Dados	84
3.3.3 Análise dos Dados	86
3.4 Etapa 3 - Avaliação da Qualidade da Abordagem Educacional em RA	88
3.4.1 Descrição demográfica da população	88
3.4.2 Instrumentos de coleta de dados	89
3.4.2.1 Questionário de avaliação MAREEA	89
3.4.2.2 Entrevistas sobre a percepção dos participantes	90
4 RESULTADOS	93
4.1 Análise dos Resultados da Usabilidade Pedagógica	93
4.1.1 Questão de Pesquisa 1: Quais aspectos pedagógicos estão relacionados ao uso de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?	93
4.1.2 Questão de Pesquisa 2: Como professores em formação percebem a utilização de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?	98

4.1.3 Questão de Pesquisa 3: Qual a opinião dos professores em formação sobre os aspectos de usabilidade de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?	103
4.2 Resultados estatísticos da avaliação de visualização espacial e conhecimento de Física	107
4.2.1 Questão de Pesquisa 4: O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial?	109
4.2.1.1 Análises estatísticas do desempenho em visualização espacial entre turmas	118
4.2.1.2 Análises estatísticas do desempenho em visualização espacial entre grupos de mesma série	120
4.2.1.3 Diferenças de gênero intergrupo em relação a habilidade de visualização espacial ..	123
4.2.1.4 Análise do Desempenho em Visualização Espacial e Interação com recursos educacionais aumentados	125
4.2.1.5 Comparação entre resultados observados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental.....	128
4.2.2 Questão de Pesquisa 5: O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento do conhecimento de Física?	132
4.2.2.1 Análises estatísticas do desempenho em Física entre turmas	141
4.2.2.2 Análises estatísticas do desempenho em Física entre grupos de mesma série	143
4.2.2.3 Análise do Desempenho em Física e Interação com recursos educacionais aumentados	145
4.2.2.4 Comparação entre resultados observados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental.....	146
4.3 Resultados da avaliação da qualidade da abordagem educacional.....	148
4.3.1 Questão de Pesquisa 6: Qual é a percepção de qualidade dos participantes acerca da abordagem educacional com os recursos educacionais aumentados para o ensino de Física?	148
4.3.2 Resultados das Entrevistas com os Participantes.....	157
QA1: Quais foram os aspectos positivos e negativos observados durante as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada?	157
QA2: As atividades que envolveram o uso do aplicativo de realidade aumentada foram úteis para o seu desempenho acadêmico na disciplina de Física?.....	165
QA3: Você gostaria de continuar utilizando o aplicativo de realidade aumentada em suas atividades educacionais?.....	168
QA4: Quais foram as diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais?	171
QA5: Quais recursos educacionais despertaram sua atenção nas atividades envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada? Você saberia descrever algumas características desses recursos?	175
5 CONCLUSÃO	180
5.1 Trabalhos Futuros	187
REFERÊNCIAS.....	189
APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES	205
APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO	206

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e Motivação

As escolas brasileiras têm enfrentado dificuldades para alcançar as metas estabelecidas pelo Ministério da Educação do Governo Federal, em todas as esferas administrativas, tanto no Ensino Fundamental como no Ensino Médio (Figura 1.1). Este ponto de vista fundamenta-se nos dados apresentados na plataforma do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) referentes ao Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) (2018), no qual foi possível verificar que os resultados dos Anos Finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, em nenhuma das dependências administrativas (Estadual, Privada e Pública) o IDEB observado correspondeu com as metas estabelecidas para os anos 2013, 2015 e 2017, apenas foi observado o atendimento parcial das metas nos anos 2007, 2009 e 2011 (os quais são destacados em verde na Figura 1.1).

Figura 1.1 – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica – Metas estabelecidas e IDEB Observado

Anos Finais do Ensino Fundamental															
	IDEB Observado							Metas							
	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021
Total	3.5	3.8	4.0	4.1	4.2	4.5	4.7	3.5	3.7	3.9	4.4	4.7	5.0	5.2	5.5
Dependência Administrativa															
Estadual	3.3	3.6	3.8	3.9	4.0	4.2	4.5	3.3	3.5	3.8	4.2	4.5	4.8	5.1	5.3
Municipal	3.1	3.4	3.6	3.8	3.8	4.1	4.3	3.1	3.3	3.5	3.9	4.3	4.6	4.9	5.1
Privada	5.8	5.8	5.9	6.0	5.9	6.1	6.4	5.8	6.0	6.2	6.5	6.8	7.0	7.1	7.3
Pública	3.2	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	3.3	3.4	3.7	4.1	4.5	4.7	5.0	5.2

Ensino Médio															
	IDEB Observado							Metas							
	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021
Total	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.4	3.5	3.7	3.9	4.3	4.7	5.0	5.2
Dependência Administrativa															
Estadual	3.0	3.2	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.1	3.2	3.3	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9
Privada	5.6	5.6	5.6	5.7	5.4	5.3	5.8	5.6	5.7	5.8	6.0	6.3	6.7	6.8	7.0
Pública	3.1	3.2	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.1	3.2	3.4	3.6	4.0	4.4	4.7	4.9

Fonte: INEP (2018).

Dentre as diversas atividades que as escolas brasileiras desenvolvem e as mais variadas dificuldades que enfrentam, nesta tese pretende-se investigar apenas os aspectos que estão relacionados ao ensino e em como essa questão tem se tornado um obstáculo para as escolas brasileiras alcançarem as metas estabelecidas pelo MEC. Neste sentido, a literatura tem apresentado inúmeros trabalhos que discorrem acerca dos conteúdos em que os alunos apresentam maiores dificuldades, os quais frequentemente estão relacionadas às áreas de Ciências, Matemática e Física. Em relação ao ensino de Física no Brasil, Heck et al. (2016) afirmam que tem sido praticado, usualmente, por meio da apresentação de conceitos, leis, fórmulas matemáticas e resolução de exercícios, que pouco se relacionam com a realidade vivenciada pelos alunos.

Os dados do PISA corroboram com esta discussão, demonstrando que o Brasil tem apresentado dificuldades no desenvolvimento do ensino de conteúdos relacionados à Ciências, sendo que dentre 70 países participantes (média de pontos 493), a posição do Brasil (média de pontos 401) durante a última avaliação foi 63º, ficando à frente apenas do Peru (média de pontos 397), Líbano (média de pontos 386), Tunísia (média de pontos 386), Macedônia (média de pontos 384), Kosovo (média de pontos 378), Argélia (média de pontos 376) e República Dominicana (média de pontos 332) (OECD, 2016).

Pesquisas recentes apontam que as áreas da ciência, tecnologia, engenharia e matemática, também conhecidas como STEM, demandam habilidades específicas dos estudantes, tais como a capacidade espacial, as habilidades práticas, a compreensão conceitual e a investigação científica, para o pleno processo de ensino e aprendizagem (IBÁÑEZ e DELGADO-KLOOS, 2018). Dentre as habilidades demandadas, uma característica que estas áreas de conhecimento têm em comum, consiste na exigência da habilidade imaginativa dos estudantes para compreender as leis da física e as reações químicas, em virtude do fato de que essas manifestações muitas vezes são abstratas e, assim, não podem ser visualizadas pelos alunos, ou então são microscópicas, sendo apenas visualizáveis com o uso de equipamentos de ampliação científicos. No caso da Física, Nascimento (2010) ressalta que, por ser uma ciência experimental, que procura compreender o comportamento da matéria, utiliza-se de modelos abstratos que procuram relacionar o mundo macroscópico com o microscópico universo atômico-molecular, tornando esse exercício de grande valia para o desenvolvimento do raciocínio do estudante.

Além das áreas de Física e Química, outros domínios do conhecimento que exigem uma apurada habilidade imaginativa na aprendizagem dos estudantes, é a Matemática e a Geografia. Em se tratando da Geografia, a Base Nacional Curricular Comum (2019) ressalta

que o ensino de estudantes em geografia deve incentivar e praticar o pensamento de modo espacial, com a intenção de que realizem a leitura do mundo em que vivem, desenvolvendo o raciocínio geográfico, que por sua vez, irá auxiliar o aprendiz no exercício do pensamento espacial através de princípios como analogia, conexão, diferenciação, distribuição, extensão, localização e ordem.

Eventuais dificuldades neste procedimento, que envolvem as operações mentais de abstração, podem vir a comprometer o pleno entendimento dos estudantes sobre o assunto que está sendo apresentado em sala de aula, em virtude de que a reflexão e a idealização do conteúdo de maneira adequada ficam prejudicados e, em decorrência, os alunos podem ser obrigados a abstrair de forma parcial ou limitada alguns fenômenos que se manifestam na natureza. Estas operações mentais de abstração, também conhecida como habilidade espacial ou habilidade de visualização espacial, é definida por Yilmaz et al. (2015) como o conjunto das habilidades utilizadas pelo estudante para visualizar objetos na mente, conhecê-los de diferentes perspectivas e translada-los.

Além de poder prejudicar o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, a insuficiência na capacidade de visualização espacial pode impactar significativamente na sociedade, uma vez que Nascimento (2010) afirma que a Física participa do desenvolvimento científico e tecnológico com importantes contribuições e as consequências possuem um amplo alcance, podendo impactar em esferas do domínio econômico, social e político.

Além da complexidade que afeta a capacidade imaginativa dos estudantes, outro fator que contribui de forma negativa no desenvolvimento cognitivo, consiste na precariedade ou até mesmo na inexistência de infraestrutura escolar adequada, no que diz respeito aos laboratórios de Ciências. De acordo com o Censo Escolar de 2018 (INEP, 2018), apenas 11% das escolas brasileiras contam com recursos relacionados à infraestrutura de laboratório de ciências, ou seja, do total de 181.939 escolas, apenas 19.380 das escolas brasileiras dispõem de laboratório de ciências para que seus alunos coloquem em prática os conhecimentos vistos em sala de aula.

A insuficiência de laboratórios, além de dificultar a visualização do conteúdo conceitual estudado pelo aluno, de acordo a investigação de Krummenauer (2016), também promove o sentimento de frustração, característica elencada pelo autor como um dos motivos de evasão na disciplina de Física, em razão de que os alunos nutrem uma expectativa pelas aulas de laboratório que não se confirmam. Além disso, outros aspectos que impedem a realização de atividades experimentais nas aulas de Física são apresentados por Heck et al. (2016), em que os autores destacam os seguintes cenários: a falta de tempo para preparação de

plano de aula e conteúdo didático que relaciona teoria e prática; falta de pessoal para manutenção, limitando assim o acesso a equipamentos mais delicados; falta de equipamentos laboratoriais e/ou materiais; laboratórios com dimensões não adequadas ao número de alunos e ausência de laboratórios presenciais na escola.

Outros fatores que têm dificultado o ensino da Física são apresentados por Mees (2004). De acordo com o autor, quando é apresentada pela primeira vez ao aluno, dentro do conteúdo de ciências, há um contato superficial com a Física e com a Química, geralmente através dos fenômenos da natureza e no âmbito conceitual. No entanto, o autor identificou que os materiais de apoio às aulas de Ciências, que apresentam conteúdos de introdução à Física, também abordam conteúdos relacionados à mecânica, fazendo com que ocorra uma exigência de um nível de abstração e uma habilidade com formalismo Matemático para o qual o aluno ainda não está preparado e, eventualmente, pode desestimulá-lo completamente para o estudo da Física ou da área das Ciências exatas.

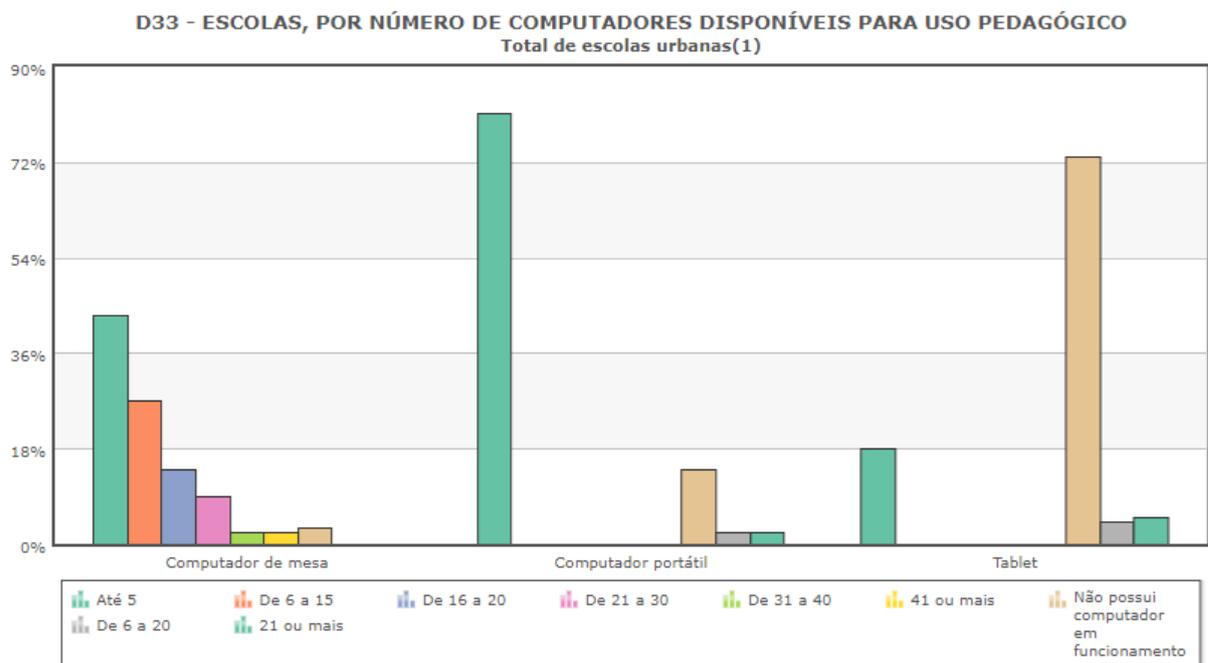
Por outro lado, apesar do grande número de escolas brasileiras que não possuem laboratórios para a prática de experimentos nas áreas de Ciências, Química e Física, ou então não possuem profissionais qualificados para operar e desempenhar estas atividades práticas, uma alternativa que se apresenta para complementar o desenvolvimento cognitivo dos alunos, consiste no uso de laboratórios virtuais para promover a experimentação dos alunos com conteúdos práticos. Nesta perspectiva, o Censo Escolar de 2018 (INEP, 2018) apresenta números mais significativos do que em relação ao laboratório de ciências, dado que 38% das escolas brasileiras contam com laboratório de informática, sendo que do total de 181.939 escolas, o total de 68.591 das escolas brasileiras dispõem de laboratório de informática.

Ao analisar este cenário a nível nacional, sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras, a pesquisa realizada pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (CETIC.br) (2017), demonstrou que 99% do total das escolas brasileiras (do perímetro urbano) possuem computadores, sendo que 96% destas instituições possuem acesso à Internet. Ao observar estes dados sob a perspectiva das escolas que possuem laboratório de informática, foi possível identificar que 72% possuem laboratório de informática, mas em relação a sua utilização, apenas 55% das escolas brasileiras afirmam que de fato utilizam, 17% não utilizam e 28% que não possuem laboratório de informática. Estes indicativos ficam ainda mais baixos quando analisados os dados sob a perspectiva relacionada à quantidade de dispositivos tecnológicos disponíveis para uso com finalidade pedagógica (Figura 1.2), em que 43% das escolas brasileiras possuem no máximo 5 computadores de mesa disponíveis, acompanhados de 81% de escolas que

possuem o máximo de 5 computadores portáteis e 18% possuem o máximo de 5 *tablets* disponíveis para fins pedagógicos.

Ainda que o número de dispositivos tecnológicos disponíveis ao acesso dos estudantes nas escolas brasileiras seja limitado, alternativas como o professor demonstrar simulações em sala de aula podem contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento cognitivo dos alunos. No entanto, outro problema destacado por Krummenauer (2016) consiste no fato de que as simulações computacionais, que poderiam auxiliar o professor na demonstração de diversos fenômenos físicos, não são exploradas pela maioria dos docentes pesquisados. O autor também enfatiza que aqueles professores que utilizam simulações computacionais, consideram seus alunos interessados, pois torna-se possível aproximar os conceitos físicos de situações concretas e contextualizadas, mesmo que seja em um cenário virtual, além de auxiliar na compreensão e problematização dos conhecimentos físicos.

Figura 1.2 – Distribuição de Escolas e de Dispositivos Tecnológicos disponíveis para Uso Pedagógico



Fonte: (CETIC.br, 2017).

Dentre os recursos educacionais disponíveis para a educação, uma alternativa que tem se apresentado de maneira eficaz consiste na implantação de laboratórios virtuais. De acordo com Nunes et al. (2014), os laboratórios virtuais possuem potencial para dirimir um dos grandes problemas do ensino de Ciências enfrentado atualmente nas escolas brasileiras, que consiste na falta de laboratórios reais, que possibilitem uma aprendizagem ativa e de cunho

prático, uma vez que estes laboratórios ensinam a realização de experimentos que simulam procedimentos reais. Para tanto, incorporam recursos que, segundo Makransky e Petersen (2019), apresentam bom grau de fidelidade nos cenários simulados e imediatismo de controle em ações realizadas pelos usuários. Neste sentido, Guillermo (2016) enfatiza que a realização simulada de experimentos com auxílio da informática, se assemelha às que eventualmente poderão ser desenvolvidas na realidade do laboratório, e permitem unir os conteúdos vistos em aula, a leitura do texto (que acompanha o próprio experimento) e também conta com o interesse peculiar dos estudantes pelo uso do computador como ferramenta de trabalho.

Em relação às vantagens oferecidas pelos laboratórios virtuais, algumas características consideradas relevantes e que promovem uma ampla aceitação no uso destes ambientes virtuais para fins educacionais, consistem em: a) baixo custo, pois os investimentos limitam-se ao desenvolvimento tecnológico, sendo reduzidos os gastos com a compra de vários exemplares de equipamentos e com a manutenção do laboratório em si, bem como a contratação de profissionais para gerenciar as atividades práticas; b) não oferece riscos à segurança e à saúde dos usuários, uma vez que diferente dos laboratórios reais, os estudantes interagem com simulações e não entram em contato direto com materiais perigosos (e.g. reagentes, ácidos, gases tóxicos, radiações, eletricidade e descargas elétricas) que possam causar lesões; e, c) as ações dos usuários não geram danos ambientais, ao contrário do que pode ocorrer em ambientes reais, em que um determinado experimento pode utilizar grande quantidade de energia ou então pode resultar em resíduos perigosos (sólidos ou gasosos) que prejudicam o meio ambiente (GONZALEZ-PARDO, ROSA, CAMACHO, 2014; POTKONJAK et al., 2016; HERPICH et al., 2017).

Outro argumento em favor dos laboratórios virtuais consiste no fato de que em muitos casos, os laboratórios reais possuem apenas um equipamento para aulas práticas, tornando-a meramente demonstrativa (MICHELS, 2017). Em contrapartida, a implantação de laboratórios virtuais permite que o mesmo experimento seja disponibilizado a mais de um estudante, sem que a interação de um aluno impossibilite a interação dos outros, habilitando assim uma experiência individual, em que o aprendiz interage com as simulações disponíveis e também possibilita que haja uma colaboração com os demais estudantes.

No que concerne ao desenvolvimento cognitivo dos usuários, Gruber et al. (2011) afirmam que, do ponto de vista pedagógico, a atividade experimental proporcionada nesses ambientes virtuais encoraja a construção de modelos mentais baseados na observação prática de conceitos e princípios envolvidos, proporcionando uma conexão entre a teoria e a realidade, especialmente em assuntos que envolvem as Ciências naturais e tecnológicas. O

autor também faz uma observação no sentido de que quanto mais esta atividade incentivar a resolução de problemas práticos, maior será a contribuição no aprendizado do aluno, pois irá enriquecer e solidificar o conhecimento teórico, em oposição às formas de conhecimento abstrato e muitas vezes voláteis.

A introdução de modernas tecnologias de informação e informática, juntamente com as formas tradicionais de educação, conforme Daineko, Dmitriyev e Ipalakova (2017), estão aumentando significativamente a experiência de ensino e melhorando a qualidade da educação. Estes autores demonstram como determinados artefatos de *software*, baseados nas ideias de laboratórios virtuais, poderiam ser integrados ao currículo existente, a fim de ajudar os estudantes a dominar determinadas disciplinas de Ciências naturais.

No contexto de laboratórios virtuais, outra potencialidade com fins pedagógicos que se apresenta consiste na utilização da realidade aumentada, uma vez que esta tecnologia conta com uma vasta gama de recursos multimídia, além de oferecer a capacidade de portabilidade entre diferentes dispositivos tecnológicos. Na área educacional, a realidade aumentada tem apresentado avanços relevantes, demonstrando a sua capacidade de contribuir efetivamente para o processo de ensino e aprendizagem de estudantes nas mais diversas áreas, e.g. Ciências (MATCHA e RAMBLI, 2013) e (YOON et al., 2017), Física (IBÁÑEZ et al., 2014), Português (SANTOS et al., 2014a), Geografia (SILVA et al., 2014), áreas que englobam a STEM (IBÁÑEZ e DELGADO-KLOOS, 2018), entre outras áreas.

A realidade aumentada consiste na integração destes recursos multimídia com elementos físicos do mundo real, em que os elementos gráficos criados por computador são apresentados no dispositivo tecnológico do usuário, simultaneamente com os elementos do ambiente real. Wang (2017a) corrobora afirmando que os recursos de realidade aumentada mesclam elementos de um ambiente do mundo real com imagens geradas virtualmente e apresentam visualizações e simulações interativas ao lado de conteúdos 2D. Desta forma, torna-se possível transformar o ambiente real, pois de acordo com Milgram e Kishino (1994) a realidade aumentada trata-se de um ambiente real “aumentado” por meio de objetos virtuais.

Através da realidade aumentada e dos seus recursos, é possível ampliar os canais de interação dos usuários com conteúdos educacionais e ensejar maiores oportunidades de aprendizagem. Outros benefícios possibilitados pela realidade aumentada consistem no alcance de níveis mais elevados de motivação e engajamento dos usuários; a visualização 3D de objetos virtuais interpostos aos reais; a visualização em escala de fenômenos que não são perceptíveis no mundo real e a partir de diferentes perspectivas ou ângulos; características que auxiliam os usuários na assimilação de conceitos abstratos e complexos, facilitando a

compreensão sobre um determinado conteúdo educacional (CHANG et al., 2014; FURIÓ et al., 2015). Além disso, Billinghurst e Dünser (2012) argumentam que a realidade aumentada suporta a compreensão de fenômenos complexos, fornecendo experiências visuais e interativas únicas, que combinam informações reais e virtuais e ajudam a comunicar problemas abstratos aos estudantes.

Ainda em relação ao potencial pedagógico, Cai et al. (2014) ressaltam que a realidade aumentada pode apresentar recursos multimídia em escala, transformando os recursos didáticos tradicionais (e.g. imagens e livros didáticos em 2D), mas que, em muitos casos, impõem uma elevada carga cognitiva aos estudantes, sobrecarregando as suas estruturas cognitivas e eventualmente comprometendo o desempenho e o desenvolvimento cognitivo dos mesmos. Já Santos et al. (2014b), destacam que muitos protótipos voltados para a aprendizagem não fazem uso de uma importante característica da realidade aumentada, a qual consiste na demonstração de uma relação explícita entre o conteúdo de aprendizagem virtual e os objetos reais encontrados no ambiente natural.

Através desta estratégia de relacionar o conteúdo virtual de aprendizagem com os objetos reais, acredita-se que as soluções educacionais de realidade aumentada podem contribuir de modo significativo na abstração dos estudantes em conteúdos de Física. A fim de esclarecer esta afirmação, Ribeiro et al. (2013) exemplificam uma situação corriqueira do ensino de Física, ressaltando que na formação básica e técnica, a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos é a base científica para o estudo de geradores, porém, verifica-se que as dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de eletromagnetismo se devem, principalmente, à impossibilidade de visualização dos campos magnéticos por parte dos alunos no espaço tridimensional. Diante desta perspectiva, apresentar o conteúdo de aprendizagem virtual relacionado com os objetos reais, pode facilitar o esclarecimento dos fenômenos físicos que estão sendo apresentados e discutidos pelo professor em sala de aula.

À medida em que a realidade aumentada tem sido introduzida no cenário educacional e o seu potencial pedagógico constatado, os educadores procuram novas estratégias para aprimorar as experiências de aprendizagem dos usuários. Neste sentido, Nincarean et al. (2013) acrescentam que a eficácia da realidade aumentada pode ser ampliada quando combinada com outras tecnologias, tais como dispositivos móveis, incorporando os recursos característicos destas tecnologias móveis (e.g. portabilidade, interatividade social, conectividade, sensibilidade ao contexto e individualidade) com os recursos da realidade aumentada, aspecto que os autores destacam que fomenta o surgimento de um novo conceito, denominado de Realidade Aumentada Móvel, do inglês Mobile Augmented Reality (MAR).

Além dos benefícios verificados nestas tecnologias e discutidos ao longo desta seção, outra vantagem inerente às tecnologias de realidade aumentada concerne na capacidade de utilização de recursos multimídia, os quais almejam possibilitar ao estudante uma interação com imagens, vídeos, áudios, animações, entre outras possibilidades. Esta perspectiva foi estudada por Mayer (2009). O autor argumenta que o princípio multimídia baseia-se na ideia de que as pessoas aprendem melhor com palavras e imagens do que com palavras sozinhas, enfatizando a importância relacionada às formas de projetar as instruções multimídia, com a intenção de melhorar a compreensão do aprendiz sobre o material apresentado.

A crescente utilização de realidade aumentada no âmbito educacional foi discutida no relatório apresentado pela *New Media Consortium (NMC)* (BECKER et al., 2017), no qual os autores buscam identificar e descrever as tendências, desafios e os desenvolvimentos em tecnologia que podem impactar no planejamento tecnológico e na tomada de decisões na educação mundial. No relatório referente ao ensino superior, os autores destacaram as tecnologias ou práticas que provavelmente entrarão em uso nos seus setores nos próximos 5 anos (2017-2021), enfatizando a intensificação no desenvolvimento das tecnologias de realidade virtual e aumentada no ano de 2016, acompanhada da retomada da aprendizagem móvel ao cenário educacional para o ano de 2017 (que já havia constado no relatório de 2012 e os indícios sugerem uma nova retomada).

Outro dado que reforça a importância do desenvolvimento em tecnologias móveis combinadas com recursos de realidade aumentada no âmbito educacional, pode ser encontrado no relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) (LEOPOLD, RATCHEVA E ZAHIDI, 2018, p. 16 e 56), em que é apresentada uma estimativa referente à adoção de tecnologias por área da indústria para os anos de 2018 a 2022. O relatório da OECD evidencia que a área de Tecnologias de Informação e Comunicação possui uma estimativa de demanda de 72% em recursos de realidade virtual e aumentada, sendo que entre as dez tendências que impulsionam o crescimento da indústria, alguns tópicos discutidos são referentes ao aumento da adoção de novas tecnologias, avanços na Internet móvel, bem como expansão da educação.

1.2 Problema de Pesquisa

Diante dos constantes avanços apresentados na área que abrange a realidade aumentada como tecnologia educacional, que pode ser utilizado para contribuir no

desenvolvimento da habilidade de visualização espacial dos estudantes, esta tese tem a intenção de responder ao seguinte problema de pesquisa:

Em decorrência das dificuldades enfrentadas pelos estudantes em abstrair e compreender os complexos fenômenos encontrados na natureza, tais como leis e experiências referentes aos conteúdos da Física, poderia a realidade aumentada auxiliar no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial e, conseqüentemente, no desenvolvimento cognitivo através das interações dos estudantes com estas situações abstratas por meio de recursos educacionais aumentados?

1.3 Objetivo

O objetivo desta tese consiste em proporcionar aos estudantes experiências educacionais através do uso da realidade aumentada em dispositivos móveis, a fim de avaliar a capacidade que as interações proporcionadas com esta tecnologia possuem para aprimorar a habilidade de visualização espacial e o desenvolvimento cognitivo de seus usuários.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo elencado para esta tese, foram estabelecidos objetivos específicos, os quais orientam de forma mais precisa a construção deste trabalho:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura e identificar as abordagens educacionais utilizadas em outros trabalhos para a elaboração desta tese;
- Investigar as plataformas, as tecnologias e os recursos de realidade aumentada disponíveis para a implementação de aplicações educacionais;
- Apurar os benefícios que os recursos educacionais aumentados proporcionam para o processo de ensino e aprendizagem em Física;
- Investigar os benefícios das interações dos estudantes com os recursos educacionais aumentados para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial.

1.4 Estrutura da tese

Para alcançar o objetivo proposto nesta tese, primeiramente foi realizado um levantamento teórico no capítulo 2, apresentando as áreas que são contempladas nesta tese e trabalhos relacionados. Posteriormente, no capítulo 3, foram descritos os procedimentos metodológicos e as etapas adotadas para alcançar os resultados desta tese. No capítulo 4 foram apresentados os resultados encontrados e a análise dos mesmos. Por fim, no capítulo 5 as conclusões e os trabalhos futuros foram apresentadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo busca apresentar uma revisão bibliográfica sobre os principais tópicos abordados nesta tese, com um enfoque na utilização de recursos de realidade aumentada combinados com as características tecnológicas de dispositivos móveis para auxiliar no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial e aprendizagem em Física, através da interação dos usuários com animações e simulações de experimentos sobre as Leis da Física, bem como o acesso a múltiplas tecnologias educacionais.

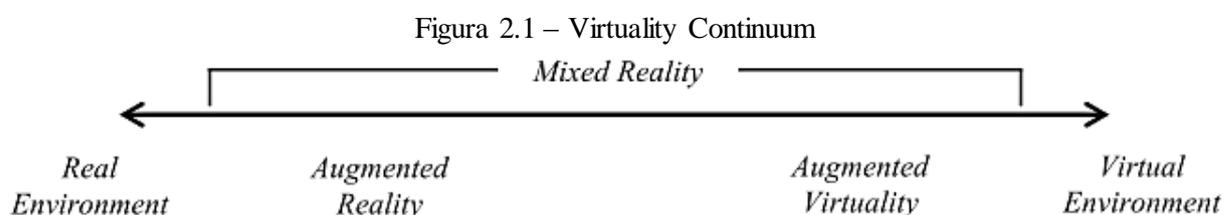
2.1 Realidade Aumentada

A realidade aumentada consiste na integração de recursos virtuais com elementos físicos do mundo real, em que elementos gráficos concebidos através de computador, são apresentados nas telas dos dispositivos tecnológicos dos usuários, simultaneamente com os elementos do ambiente real em que se encontram. Conforme estabelecido por Milgram e Kishino (1994) como definição operacional da realidade aumentada, considera-se o termo como referência a qualquer caso em que um ambiente de outra forma real, seja “aumentado” por meio de objetos virtuais (computação gráfica). Azuma et al. (2001), corroboram afirmando que a realidade aumentada consiste na inserção de objetos virtuais no mundo real por meio de um dispositivo computacional, de forma que a interface do usuário torna-se aquela utilizada no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço.

Para um entendimento mais preciso desta área, é possível estabelecer um contraste com a principal característica existente entre a realidade virtual e a aumentada, aspecto este que permite demonstrar a fundamental diferença entre estas áreas de estudos. A realidade virtual permite que o usuário tenha a sensação de estar imerso em um ambiente virtual tridimensional, desenvolvido através de computador. Já a realidade aumentada busca combinar os elementos de um ambiente virtual com os do mundo real. Azuma (1997) afirma que na realidade virtual, por estar imerso em um ambiente sintético, o usuário não pode ver o mundo real ao seu redor, já na realidade aumentada, o usuário pode ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real.

Tal dicotomia, é apresentada e discutida por Milgram e Kishino (1994) na Figura 2.1, em que os autores demonstram uma trajetória denominada de “continuidade da virtualidade”,

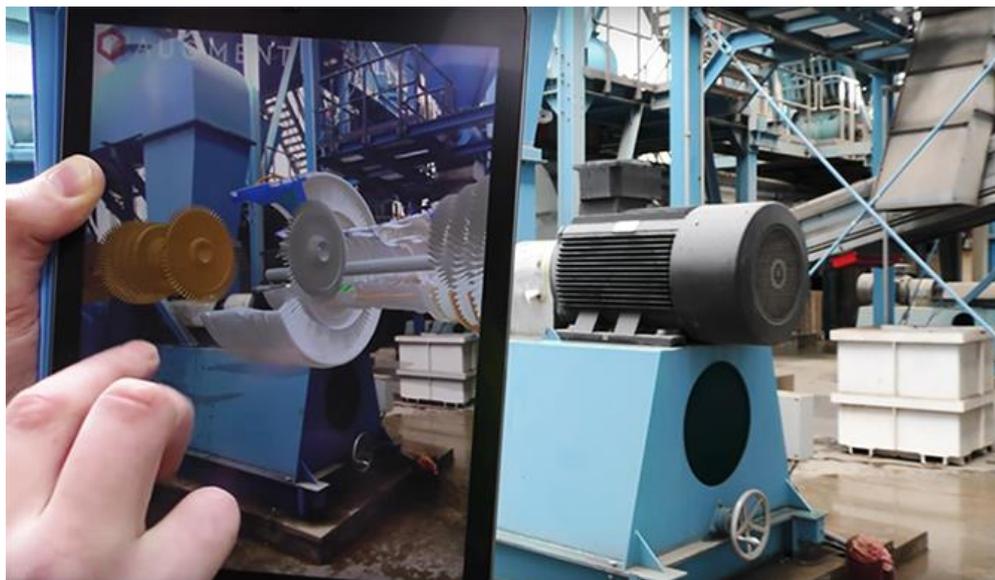
fazendo uma referência à mistura de classes dos objetos, representando o conceito de Realidade Mista. Dentro desse conceito, ambientes reais estão em uma extremidade e os virtuais no extremo oposto, fazendo-se necessária a visualização de objetos do mundo real e do mundo virtual juntos em uma única exibição, em qualquer lugar entre os extremos da realidade mista.



Na definição de Milgram e Kishino (1994), a realidade aumentada pode ser interpretada como um meio termo entre ambientes sintéticos e ambientes reais, em que a realidade aumentada complementa a realidade virtual, ao invés de substituí-la completamente, passando ao usuário a percepção de que os objetos virtuais e reais coexistem em um mesmo espaço. Em se tratando de sistemas computacionais providos de realidade aumentada, Azuma (1997) defende que devem apresentar três características essenciais, as quais são: a) combinar elementos virtuais com o ambiente real; b) ser interativa e ter o seu processamento em tempo real; e c) ser concebida em três dimensões.

Em relação às utilizações e aplicações dos recursos da realidade aumentada, é possível afirmar que muitos estudos estão sendo conduzidos e que diversas são as soluções computacionais que já auxiliam a sociedade, em diversos campos de atuação. Dentre eles, constam áreas como o entretenimento, *marketing* e propaganda, turismo (CHUNG, HAN e JOUN, 2015), automobilismo (RAMEAU et al., 2016), cuidados com a saúde (JAMALI et al., 2015), treinamento e educação (KYSOLA e ŠTORKOVÁ, 2015), (MAJID, MOHAMMED e SULAIMAN, 2015) e (AKÇAYIR et al., 2016), entre outras diversas áreas (O'SHEA e ELLIOTT, 2016), as quais convergem para o desenvolvimento de conteúdos e soluções envolventes e interativas, permitindo que ofereçam uma experiência agradável e enriquecedora aos seus usuários.

Figura 2.2 – Uso da realidade aumentada em indústrias



Fonte: (AUGMENT., 2019).

Nesta perspectiva, diversas são as aplicações que utilizam os recursos de realidade aumentada (Figura 2.2), bem como variadas são as soluções construídas nas mais diferentes áreas, dentre as quais se destacam aplicações voltadas ao âmbito educacional. Em vista do enfoque abordado nesta tese, a próxima seção irá apresentar algumas investigações que fazem uso destes recursos para o aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem, com o intuito de apresentar um plano de fundo da área, assim como destacar os benefícios e as potencialidades existentes e que podem ser exploradas a favor da educação.

2.1.1 Realidade Aumentada na Educação

Diversas propostas que abordam a utilização de realidade aumentada têm sido desenvolvidas com o objetivo de contribuir no processo de ensino e aprendizagem. Chen e Tsai (2012) colaboram neste sentido, afirmando que embora a tecnologia realidade aumentada não se trate de uma novidade, seu potencial em aplicações educacionais está sendo explorado somente agora. Como tecnologia para a educação, Santos et al. (2014) definem a realidade aumentada como multimídia (texto, som, imagens, animações, etc.) que é exibido em relação ao ambiente real.

Da mesma forma, é crescente a combinação destes recursos com tecnologias emergentes voltadas para a área educacional, tais como os dispositivos móveis, jogos educacionais, entre outros. A realidade aumentada surge como uma perspectiva com potencial

para complementar as aplicações educacionais, uma vez que possibilita explorar os seus recursos virtuais para com um viés educacional, acrescentando a estas soluções educacionais a apresentação em escala de elementos virtuais tridimensionais, entre outras funcionalidades. Neste sentido, Santos et al. (2014) enfatiza que a realidade aumentada oferece um conjunto diferenciado de características, e assim, pode ser utilizada de forma diferente das demais tecnologias existentes na área educacional, sendo algumas dessas características a inserção de anotações no mundo real, visualização contextualizada, ótica e háptica, permitindo que além de visualizar, os usuário também toquem nos objetos virtuais (Figura 2.3) (Eck e Sandor, 2013).

Figura 2.3 – Uso da realidade aumentada visual-háptica para a educação



Fonte: (ECK; SANDOR, 2013).

Para o desenvolvimento desta tese, alguns trabalhos foram analisados com o intuito de elencar, a partir do conhecimento adquirido, critérios relevantes para a construção de soluções educacionais, bem como realizar a avaliação das plataformas de desenvolvimento da realidade aumentada. Para tanto, as pesquisas analisadas foram:

O estudo apresentado por Kaufmann (2006) teve como objetivo abordar a integração das tecnologias de realidade virtual e aumentada, combinadas com o intuito de desenvolver o ambiente Construct3D, que visa auxiliar estudantes na aprendizagem de conteúdos relacionados a Geometria, mais especificamente em tópicos referentes a geometria tridimensional dinâmica e habilidades espaciais. Conforme o autor, a principal vantagem em empregar os recursos da realidade aumentada consiste no fato do aluno visualizar os objetos tridimensionais, que até então eram calculados e construídos através dos métodos tradicionais (papel e caneta). Os resultados alcançados em três avaliações realizadas com professores e alunos demonstraram que o ambiente é fácil de ser utilizado, requer pouco tempo de aprendizagem e incentiva os alunos a explorar a Geometria.

Os pesquisadores Irawati et al. (2008) apresentam no seu trabalho um ambiente 3D que fornece uma plataforma de aprendizagem baseada na experimentação do usuário com a intenção de promover a compreensão das leis da Física de Newton, em que foi criada uma aplicação que simula o efeito dominó. Conforme defendido pelos autores, ao utilizarem este aplicativo, os usuários podem aprender Física interagindo e visualizando diferentes tipos de fenômenos físicos no ambiente de realidade virtual e aumentada. Outro recurso esclarecido pelos autores, consiste no fato de que o conteúdo é apresentado de uma maneira fácil para o usuário manipular a simulação, mostrando as possíveis trajetórias futuras dos objetos selecionados. E, a partir destas trajetórias, os autores sustentam a afirmação de que é possível ajudar o usuário a entender e comparar os resultados de cada configuração selecionada.

Na pesquisa de Cai, Wang e Chiang (2014), os autores relatam que no ensino de Química os alunos possuem dificuldades na compreensão de micromundos, em decorrência das limitadas/imaturas habilidades imaginativas, aspecto que impacta na compreensão das microestruturas e, por consequência, torna esse assunto um desafio no estágio inicial da aprendizagem de Química. Com o intuito de contribuir na aprendizagem dos alunos, os autores desenvolveram um conjunto de ferramentas de aprendizagem baseado em realidade aumentada, a qual habilita os alunos a controlar, combinar e interagir com um modelo 3D de micropartículas utilizando marcadores de realidade aumentada. Ao testarem a ferramenta na prática, em uma escola secundária da China, os autores obtiveram resultados positivos de que a ferramenta tem um efeito suplementar significativo na aprendizagem assistida por computador e que possui um impacto maior em alunos com baixo desempenho do que ao contrário. Além disso, os alunos apresentaram atitudes positivas de aprendizagem em relação ao *software*, as quais estão positivamente correlacionadas com a sua avaliação do *software*.

Na pesquisa de Ibáñez et al. (2019), é apresentado o uso de recursos em realidade aumentada para auxiliar na visualização de fenômenos de eletromagnetismo, os quais são difíceis de serem vistos por estudantes com baixas habilidades espaciais. Portanto, os autores fazem o uso de realidade aumentada para criar representações do campo magnético em 3D, a fim de contribuir na conceituação dos estudantes sobre tais fenômenos. Para a condução desta investigação, os autores realizaram um experimento com 122 estudantes de Física e utilizaram o teste Mental Rotation Test (MRT) para avaliar a capacidade espacial dos mesmos, sendo que após a utilização dos recursos em realidade aumentada, os participantes responderam a um questionário para avaliar a aceitação de tecnologia, denominado Technology Acceptance Model (TAM). Os resultados do estudo sugerem que os estudantes com baixa capacidade

espacial demonstraram maior satisfação ao utilizar os recursos de realidade aumentada do que aqueles que tiveram habilidades espaciais ligeiramente melhores.

Essa seção apresentou algumas pesquisas que estão sendo desenvolvidos com o apoio dos recursos de realidade aumentada com enfoque educacional, demonstrando os benefícios e vantagens que essa área é capaz de proporcionar aos seus usuários. Na próxima seção, serão apresentados os aspectos que envolvem o potencial educacional existente nessas tecnologias emergentes, como também seus aspectos técnicos, com o intuito de possibilitar a fundamentação necessária para a compreensão sobre a contribuição da realidade aumentada na educação.

2.1.2 Aprendizagem Multimídia e a Realidade Aumentada no Desenvolvimento Cognitivo

Dentre os inúmeros benefícios e funcionalidades proporcionados pela realidade aumentada para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem de estudantes, os recursos de multimídia recebem destaque quando implementados com a finalidade de contribuir no desenvolvimento cognitivo, uma vez que o uso de objetos 3D, animações, vídeos, imagens e áudios, dentre outros recursos disponíveis, são considerados características essenciais nas abordagens desenvolvidas na área educacional com aporte da realidade aumentada (CHANG et al., 2014; HARLEY et al., 2016; WANG, 2017).

Com base nos dados levantados na revisão sistemática de literatura, é possível observar que diferentes recursos multimídia são apresentados em abordagens educacionais que utilizam dispositivos móveis com funcionalidades de realidade aumentada, evidenciando os seguintes recursos: imagens (CHANG et al., 2015), vídeos (REYES et al., 2016), textos (CUBILLO et al., 2015), objetos 3D (WANG et al., 2014), áudios (HARLEY et al., 2016), animações (SCHMITZ et al., 2015), perguntas (LAINE et al., 2016), zoom-in / out (BOTELLA et al., 2011), gráficos (CHEN et al., 2013), páginas da web / links (CHIANG, YANG e HWANG, 2014a), hipertextos (FURIÓ et al., 2015), mapas e endereços físicos (FONSECA et al., 2014), bate-papo (CHIANG, YANG e HWANG, 2014b), jogos (LAINE, 2018), simulações (IBÁÑEZ et al., 2019), entre outros.

Além de envolver a computação gráfica e a visão computacional, a realidade aumentada também integra os recursos de multimídia, aspecto que aumenta a percepção do usuário sobre o mundo real através da adição de informações virtuais (AZUMA et al., 2001). Característica também elencada por Santos et al. (2014), que definem a realidade aumentada como multimídia (texto, som, imagens, animações, etc.) que é exibida em relação ao ambiente

real. De acordo com Liarokapis e Anderson (2010), as técnicas de aumento de multimídia são apresentadas para melhorar os métodos de ensino tradicionais, pois ao utilizar o conteúdo multimídia virtual, os estudantes podem visualizar tridimensionalmente os exemplos de princípios reais que estudam e interagir com eles de forma natural. Além disso, Liarokapis e Anderson (2010) também enfatizam que o ambiente real deve ser harmonizado e sincronizado com o virtual, tanto em posição como em contexto, para que seja possível fornecer uma visualização compreensível e significativa aos estudantes dos princípios a serem estudados.

Outra perspectiva que precisa ser destacada consiste no fato de que os recursos multimídia promovidos pela realidade aumentada possuem capacidade para aprimorar o desenvolvimento cognitivo. Conforme Mayer (2005) estabelece na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, a combinação dos sentidos humanos viabiliza a aprendizagem, uma vez que as pessoas aprendem de maneira mais profunda quando palavras e imagens são apresentadas juntas, tornando possível que a aprendizagem multimídia favoreça a criação de representações mentais de palavras e imagens (MAYER, 2005). Entretanto, Mayer e Moreno (2003) ressaltam que a cognição de um indivíduo processa uma quantidade limitada de informações nos canais auditivos/verbais e canais visuais/pictóricos de cada vez, pois:

“... os seres humanos possuem sistemas separados para o processamento de material pictórico e verbal (hipótese de canal duplo), cada canal é limitado na quantidade de material que pode ser processado ao mesmo tempo (hipótese de capacidade limitada), e o aprendizado significativo envolve o processamento cognitivo, incluindo a construção de conexões entre representações pictóricas e verbais (hipótese de processamento ativo)” (MAYER e MORENO, 2003, p. 43).

Com base nas constatações de Mayer e Moreno (2003) para estabelecer a aprendizagem multimídia, também é possível evidenciar a importância inerente ao processo de desenvolvimento de materiais educacionais em realidade aumentada, pois demandam que ações sejam adotadas durante a implementação destes recursos educacionais com que os estudantes irão interagir, para que estejam adequados com os princípios da aprendizagem multimídia e permitam que os estudantes processem os materiais que lhes são apresentados através de diferentes canais, evitando uma eventual sobrecarga cognitiva. Nesta perspectiva, Mayer (2005) argumenta que em suma, a instrução multimídia refere-se a projetar apresentações multimídia de maneiras que ajudem as pessoas a construir representações mentais. Além disso, Mayer (2005) também estabelece princípios para promover a aprendizagem multimídia, que podem auxiliar no desenvolvimento de recursos educacionais:

- Princípio da multimídia: As pessoas aprendem melhor com palavras e imagens do que com as palavras sozinhas (MAYER, 2005);

- Princípio de atenção dividida: As pessoas aprendem melhor quando as palavras e imagens são integradas física e temporariamente. Isso é semelhante aos princípios de contiguidade espacial e de contiguidade temporal (MAYER, 2005);
- Princípio da modalidade: As pessoas aprendem melhor com gráficos e narrações do que gráficos e textos impressos. Isso é semelhante ao princípio da modalidade (MAYER, 2005);
- Princípio de redundância: As pessoas aprendem melhor quando a mesma informação não é apresentada em mais de um formato. Isso é semelhante ao princípio de redundância (MAYER, 2005);
- Princípios de segmentação, pré-treinamento e modalidade: As pessoas aprendem melhor quando uma mensagem multimídia é apresentada em segmentos e não como uma unidade contínua; as pessoas aprendem melhor com uma mensagem multimídia quando conhecem os nomes e características dos principais conceitos; e as pessoas aprendem melhor com uma mensagem multimídia quando as palavras são faladas e não escritas (MAYER, 2005);
- Princípios de coerência, sinalização, contiguidade espacial, contingência temporal e de redundância: As pessoas aprendem melhor quando o material estranho é excluído, em vez de incluído; quando são adicionadas sugestões que destacam a organização do material essencial; quando as palavras e imagens correspondentes são apresentadas próximas, em vez de distantes umas das outras na tela ou na página ou no tempo; e as pessoas aprendem melhor com gráficos e narrações do que com gráficos, narração e texto na tela (MAYER, 2005);
- Princípios de personalização, voz e imagem: As pessoas aprendem melhor quando as palavras de uma apresentação multimídia estão em estilo conversacional em vez de estilo formal; quando as palavras são faladas em uma voz humana acentuada em padrão, em vez de uma voz de máquina ou voz humana acentuada por estrangeiro; mas as pessoas não necessariamente aprendem melhor quando a imagem do falante está na tela (MAYER, 2005).

Diante de tais asserções, é possível assumir que a aprendizagem multimídia pode ser promovida através dos recursos educacionais multimídia desenvolvidos em realidade aumentada. Pois, da mesma forma que a teoria da aprendizagem multimídia faz uso dos sentidos humanos, Specht, Ternier e Greller (2011) estabelecem que a realidade aumentada consiste em um sistema que melhora os sentidos primários de uma pessoa (visão, audição e

tátil) com informações virtuais ou naturalmente invisíveis, tornando-as visíveis por meios digitais, com estudos que esclarecem como as habilidades dos estudantes podem ser melhoradas pela integração da realidade aumentada.

Ao considerar a realidade aumentada como um recurso educacional, é possível verificar que as vantagens oferecidas pelos elementos multimídia vão além de possibilitar aos estudantes a visualização da realidade em mídias tradicionais (e.g. vídeos, imagens, sons, objetos em três dimensões, simulações, animações, dentre outros). Também permitem criar contextos que de outro modo seriam impossíveis por diferentes motivos, por exemplo: habilitam a demonstração de ocorrências invisíveis em situações microscópicas em que é impossível visualizar as estruturas de um determinado elemento (e.g. átomos e elétrons) ou em situações que envolvem fenômenos da natureza (e.g. campo elétrico e campo magnético); a apresentação de comportamentos dinâmicos que variam em função de um ou mais parâmetros e que dificultam a plena observação, por se tratarem de ocorrências lentas (e.g. decaimento atômico, erosão causada em um rio, dentre outros) ou demasiadamente rápidas (e.g. objeto em queda livre, colisões mecânicas, dentre outros); a exposição de estruturas internas que não podem ser reveladas sem afetar a execução de uma determinada experiência (e.g. sistema respiratório humano e o funcionamento do coração); habilitam também a configuração de parâmetros para modificar a execução do experimento, permitindo a repetição e a reversão dos processos em exibição.

Dentre as vantagens proporcionadas pela realidade aumentada e os seus recursos multimídia, também é possível verificar o baixo custo para o desenvolvimento de laboratórios virtuais, objetos educacionais e experimentos, em comparação com a compra e manutenção de laboratórios reais; o afastamento de riscos e possíveis ameaças envolvidas em experiências reais, tanto de cunho pessoal como ambiental; assim como, a facilidade em transportar as experiências para as plataformas móveis, que já estão plenamente difundidas e amplamente aceitas pelos usuários finais.

As perspectivas discutidas ao longo desta seção denotam que a realidade aumentada é capaz de oferecer apoio ao desenvolvimento cognitivo dos seus usuários, em virtude de promover a interação com ambientes virtuais repletos de experimentos, simulações e conteúdos educacionais, assim como, por propiciar a interação dos estudantes com recursos multimídia, fomentando a construção de representações mentais sobre os novos conhecimentos que são apresentados, os quais resultam no aumento e na solidificação da habilidade de visualização espacial e no desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Para esclarecer as formas como a realidade aumentada proporciona a construção destes elementos

multimídia, na próxima seção (2.1.3) serão apresentados os recursos de realidade aumentada disponíveis para a educação.

2.1.3 Recursos de Realidade Aumentada para a Educação

Com base nas investigações realizadas pelo autor desta tese em artigos, periódicos e relatórios técnicos da área, foram elencadas as características consideradas relevantes para o desenvolvimento de aplicativos educacionais que utilizam recursos de realidade aumentada. Nesta perspectiva, as funcionalidades de realidade aumentada demonstradas na Tabela 2.2 evidenciam os aspectos considerados relevantes e que uma solução educacional deve disponibilizar aos seus usuários, as quais consistem em:

- **Reconhecimento Textual:** recurso de realidade aumentada que permite realizar o reconhecimento de uma palavra e/ou um conjunto de palavras, que é frequentemente utilizado para o ensino de línguas estrangeiras, em que a aplicação consegue reconhecer a palavra e apresentar algum elemento virtual (AMIN e GOVILKAR, 2015).
- **Reconhecimento de Imagem / Marcador (Marker):** funcionalidade precursora da realidade aumentada, semelhante ao QR-Code, permite realizar o reconhecimento de imagens planares (2D) e é facilmente encontrada em livros educacionais, em que uma aplicação consegue apresentar informações complementares ao assunto exposto textualmente no livro (JAMALI et al., 2015).
- **Reconhecimento de Objeto 3D:** este recurso está disponível em apenas algumas plataformas investigadas e possibilita o rastreamento e o reconhecimento de alvos em formato cilíndrico, cônico e demais objetos reais em três dimensões; este recurso é frequentemente utilizado em campanhas de divulgação de produtos, como latas de refrigerantes e outros produtos em formato circular (RAUTENBACH, COETZEE e JOOSTE, 2016).
- **Reconhecimento de Múltiplos Alvos:** funcionalidade que representa a capacidade de o aplicativo de realidade aumentada realizar o reconhecimento de múltiplos alvos de forma simultânea, tornando à sua utilização apropriada para eventuais aplicações que requerem mais de um elemento virtual apresentado no dispositivo do usuário (AMIN e GOVILKAR, 2015).

- **Reconhecimento Geo-Localizado:** com este recurso torna-se possível disponibilizar objetos virtuais de realidade aumentada associado a uma localização geográfica, realizando o reconhecimento de alvos através do GPS do dispositivo do usuário. É frequentemente utilizado em aplicações de turismo, para apresentar informações relevantes ao local em que o usuário se encontra (AMIN e GOVILKAR, 2015).
- **Reconhecimento Sem Marcador (Markerless):** funcionalidade que apenas algumas plataformas de desenvolvimento de realidade aumentada disponibilizam e que permite um algoritmo rastrear o ambiente real com a câmera do dispositivo do usuário e apresente os objetos virtuais integrados ao ambiente real, sem a necessidade do uso de marcadores tradicionais, respeitando as demarcações encontradas pelo algoritmo (HUANG, KINSHUK e SPECTOR, 2013).
- **Reconhecimento de Alvos Online:** recurso encontrado em apenas algumas plataformas de desenvolvimento de realidade aumentada, que possibilita a aplicação executar o reconhecimento de alvos disponíveis / hospedados apenas na Internet e em tempo real (AMIN e GOVILKAR, 2015).
- **Reconhecimento de Alvos Offline:** funcionalidade existente em apenas algumas plataformas de realidade aumentada, que permite a aplicação realizar o reconhecimento de alvos de maneira *offline*, sem qualquer necessidade de conexão à Internet (AMIN e GOVILKAR, 2015)..
- **Plataforma de Edição de RA:** consiste em um recurso encontrado em apenas algumas plataformas de desenvolvimento de realidade aumentada *web-based*, que permite ao usuário realizar a criação e gerenciamento de marcadores e objetos virtuais, inclusive possibilitando a construção e a alteração dos recursos de realidade aumentada (RAUTENBACH, COETZEE e JOOSTE, 2016).

Conforme destacado na seção anterior, a realidade aumentada tem apresentado um significativo avanço, principalmente quando analisadas às inovadoras soluções tecnológicas construídas sob a perspectiva de contribuir no aprimoramento das mídias educacionais, congregadas com os recursos elencados ao longo desta seção. Neste sentido, realizou-se um levantamento das investigações que apresentam o uso da realidade aumentada para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de seus usuários (Tabela 2.1), com a intenção de demonstrar em quais áreas as investigações estão sendo conduzidas, bem como evidenciar os recursos de realidade aumentada praticados para auxiliar neste processo.

Tabela 2.1 – Realidade Aumentada aplicada na Educação

	Referência	Área	Recursos de Realidade Aumentada
1.	Gotardo et al. (2013)	Ciências Naturais - Educação Ambiental	Foram anexados objetos 3D aos marcadores de realidade aumentada, que uma vez reconhecidos, demonstravam para crianças de 4 a 8 anos os procedimentos adequados para a coleta de lixo reciclável.
2.	Kamarainen et al. (2013)	Ciência do Ecossistema	Foram associados imagens, vídeos, modelos 3D e animações à <i>hotspots</i> (locais com grande biodiversidade) de uma lagoa, através do reconhecimento de alvos geo-localizados (GPS), com a intenção de contribuir com a aprendizagem do ecossistema.
3.	Ibáñez et al. (2014)	Física	Foram utilizados marcadores de realidade aumentada para demonstrar objetos educacionais aos usuários sobre os fenômenos eletromagnéticos, através de simulações, imagens e modelos 3D.
4.	Yoon et al. (2017)	Física	Em um museu de ciências foram implementados experimentos digitais, com os quais o usuário poderia interagir utilizando objetos reais (através do reconhecimento de objetos 3D) e acompanhar a execução destas interações no plano virtual, possibilitadas pela realidade aumentada.
5.	Cai, Wang e Chiang (2014)	Química	O uso de realidade aumentada foi realizado com alunos de uma escola na China, em uma disciplina de química. Na qual foram associados marcadores de realidade aumentada à modelos tridimensionais de elétrons e modelos de representação de átomos e moléculas.
6.	Oliveira et al. (2016)	Língua Estrangeira	Foram utilizados os recursos de realidade aumentada para realizar o rastreamento de marcadores baseados em imagem, em que os estudantes selecionavam uma determinada palavra em inglês e, ao apontar o dispositivo móvel para o marcador, tinham o acesso à modelos tridimensionais representando o significado da palavra.
7.	Kysela e Štorková (2015)	Turismo e História	Emprega a realidade aumentada como ferramenta de inovação das mídias educacionais, com a intenção de promover a aprendizagem de história e turismo, apresentado elementos históricos (tais como áudios, vídeos e fotografias antigas) contextualizados em um ponto turístico, através do reconhecimento da geo-localização do

			dispositivo do usuário.
8.	Jamali et al. (2015)	Anatomia Humana	Utilizaram recursos de realidade aumentada através do rastreamento baseado em imagens associados à objetos 3D, com a intenção de auxiliar na aprendizagem de anatomia humana, no tópico relacionado à estrutura esquelética humana.
9.	Küçük, Kapakin e Göktas (2016)	Anatomia Humana	Foram associados modelos 3D, vídeos, imagens e sons aos marcadores de realidade aumentada baseados em imagem, com o intuito de auxiliar na aprendizagem de estudantes de medicina em assuntos relacionados à anatomia humana, mais especificamente neuroanatomia.
10.	Ho et al. (2017)	Língua Estrangeira	Foram utilizados os recursos de realidade aumentada para realizar o rastreamento de marcadores geo-localizados e baseados em imagem, com o objetivo de melhorar o desempenho dos estudantes no aprendizado da língua inglesa através de situações autênticas, apresentando aos alunos imagens e textos.
11.	Bursali e Yilmaz (2019)	Leitura	Utilizaram recursos de realidade aumentada para desempenhar atividades de leitura, com a intenção de auxiliar na compreensão de leitura e permanência na aprendizagem.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao longo desta seção, foi apresentado os recursos de realidade aumentada que estão sendo amplamente utilizados para a promoção da aprendizagem nas mais diversas áreas. Na oportunidade, também foi elaborado um quadro (Tabela 2.1) demonstrando a relação destes recursos tecnológicos e os seus benefícios para com os processos educacionais conduzidos. Na próxima seção, serão apresentadas as plataformas existentes e os seus recursos multimídia para o desenvolvimento de soluções educacionais possibilitados pela realidade aumentada.

2.1.4 Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Aumentada

Conhecidos como SDKs ou simplesmente *frameworks*, as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada apresentam um ambiente em que os usuários são habilitados a criarem funcionalidades que irão compor *softwares* e aplicativos com a capacidade e recursos proporcionados pela realidade aumentada. De acordo com Amin

e Govilkar (2015), estes SDKs facilitam muitos componentes dentro de aplicativos de RA (e.g., reconhecimento, rastreamento e renderização de conteúdo de realidade aumentada).

Em virtude desta área estar em plena ascendência, tanto no mercado de tecnologia como em pesquisas acadêmicas da atualidade, existem diversos *frameworks* disponíveis para a construção de aplicações de realidade aumentada. Em razão disso, também existem estudos comparativos buscando evidenciar as principais vantagens entre as plataformas existentes, tais como Amin e Govilkar (2015), Jooste, Rautenbach e Coetzee (2016) e a construção colaborativa de um comparativo *online* (Social Compare, 2017). No entanto, os comparativos elencados acima apresentam um panorama geral da área e/ou buscam apresentar apenas ferramentas que atendam especificamente aos seus respectivos objetivos. Em suma, apresentam enfoques diferentes dos objetivos elencados nesta tese, portanto, no decorrer desta seção o autor buscará apresentar e analisar os *frameworks* cujo potencial pode ser explorado para a implementação de aplicativos educacionais em dispositivos móveis.

Em relação aos *frameworks* de realidade aumentada, outro aspecto importante a ser observado consiste nas funcionalidades disponibilizadas para desenvolvimento de aplicativos com recursos de realidade aumentada. Os aplicativos podem ser classificados nas categorias Visualizadores 3D e Navegadores de realidade aumentada, sendo que os visualizadores são os aplicativos que habilitam o usuário a apontar a câmera do dispositivo móvel para um marcador e visualizar objetos virtuais em tela. Já os navegadores de realidade aumentada, possibilitam que o usuário realize o rastreamento de um objeto marcador, que ao ser reconhecido, habilita a visualização de objetos virtuais e conteúdos em tela (e.g. textos, imagens e vídeos) associados aos marcadores.

Dentre as principais ferramentas para o desenvolvimento de aplicações com recursos de realidade aumentada, encontram-se:

- **ARToolKit:** é considerado um dos *frameworks* mais utilizados na atualidade para o desenvolvimento de aplicativos com recursos de realidade aumentada, por se tratar de uma ferramenta *open source*, disponibilizar constantes atualizações, oferecer uma série de recursos e permitir a exportação para diferentes plataformas. Permite o rastreamento de marcadores planares, múltiplos alvos e geo-localizados (ARTOOLKIT, 2019).
- **Augment:** consiste em um visualizador 3D de realidade aumentada, composto por um aplicativo e uma plataforma *web-based*, na qual seus usuários podem registrar os seus marcadores e associá-los a modelos 3D e a diversos outros recursos virtuais. Permite o

rastreamento de marcadores planares e o reconhecimento em nuvem (AUGMENT, 2019).

- **Aurasma:** é classificado como um visualizador 3D de realidade aumentada que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based*, por meio dos quais possibilita que seus usuários transformem objetos, imagens e lugares em novas oportunidades interativas através de gráficos, animações, vídeos, áudios e conteúdos 3D. Permite o rastreamento de marcadores planares, geo-localizados e o reconhecimento em nuvem (HP-REVEAL, 2019).
- **BlippAR:** é um visualizador 3D de realidade aumentada, que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based* para que seus usuários possam registrar seus marcadores e associá-los a diversos recursos visuais e interativos. Permite o rastreamento de marcadores planares e o reconhecimento em nuvem. Também integra um módulo de visão computacional, com inteligência artificial e algoritmos de Deep Learning, aumentando as capacidades do aplicativo em sua visão computacional ao tornar possível que o mesmo eventualmente aprenda a reconhecer qualquer coisa para qual o usuário apontar (BLIPPAR, 2019).
- **CraftAR:** consiste em um visualizador 3D de realidade aumentada, que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based* de gerenciamento para que os usuários registrem os seus próprios marcadores e os associem a recursos virtuais, e.g. modelos 3D, imagens, áudios e vídeos, entre outros. Disponibiliza um SDK para diversas plataformas, possibilitando assim que os usuários desenvolvam seus próprios aplicativos com os recursos do CraftAR. Permite o rastreamento de marcadores planares e o reconhecimento em nuvem (CRAFTAR, 2019).
- **EasyAR:** é caracterizado como um *framework* para o desenvolvimento de aplicações com recursos de realidade aumentada, que disponibiliza uma plataforma *web-based* na qual os usuários podem cadastrar seus projetos e obter as licenças necessárias para liberarem seus aplicativos. Oferece rastreamento de múltiplos marcadores planares (EASYAR, 2019).
- **Kudan:** é classificado como um *framework* para desenvolvimento de aplicações com recursos de realidade aumentada. Disponibiliza um SDK que viabiliza a exportação para diversas plataformas, ampla documentação e exemplos demonstrativos, além de apresentar um fórum de suporte. Permite o rastreio de marcadores planares e até de

múltiplos alvos, assim como o rastreamento sem marcadores, através da tecnologia SLAM (KUDAN, 2019).

- **LayAR:** consiste em um navegador de realidade aumentada, que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based* de gerenciamento, na qual é permitido aos usuários que criem marcadores planares e/ou geolocalizados e associem a conteúdos informativos nos formatos de texto, *link*, áudio e vídeo, entre outros (LAYAR, 2019).
- **PixLive:** é classificado como um visualizador 3D de realidade aumentada, que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based* de gerenciamento, em que os usuários podem criar seus marcadores planares e/ou geo-localizados e associá-los a recursos digitais, e.g. modelos 3D, imagens, áudios e vídeos, entre outros (PIXLIVE, 2019).
- **Vuforia:** é categorizado como o *framework* mais utilizados para o desenvolvimento de aplicações com recursos de realidade aumentada, visto que disponibiliza uma plataforma *web-based* em que os usuários criam e gerenciam os seus marcadores e obtêm as licenças necessárias para liberarem seus aplicativos. O Vuforia possibilita o rastreamento de marcadores planares, multi-alvos, textuais, objetos 3D e alvos geo-localizados, os quais podem estar registrados em nuvem ou diretamente nos dispositivos dos usuários, e até mesmo o rastreamento sem marcador, através das tecnologias Extended Tracking e Smart Terrain (VUFORIA, 2019).
- **Wikitude:** consiste em um visualizador 3D de realidade aumentada, que disponibiliza um aplicativo próprio e uma plataforma *web-based* de gerenciamento, na qual os seus usuários estão habilitados a criarem seus marcadores e os associarem a modelos 3D, entre outros recursos virtuais. Disponibiliza um SDK para diversas plataformas, possibilitando assim que o usuário desenvolva seus próprios aplicativos com os recursos do Wikitude. Permite o rastreamento de marcadores planares e múltiplos alvos, objetos 3D, alvos geo-localizados e até sem marcadores, através da tecnologia SLAM (WIKITUDE, 2019).

Conforme descrito ao longo desta seção, existem diversas ferramentas em evidência na atualidade para a execução de tarefas que envolvam o desenvolvimento de aplicativos com recursos de realidade aumentada. Em vista disso, buscou-se apresentar as principais características demandas por ferramentas que oferecem esses recursos, fundamentando assim a escolha das ferramentas que compõem o quadro comparativo que será apresentado na

próxima seção (Tabela 2.2) e oferecendo subsídios para a realização de uma análise comparativa. Na próxima seção, serão apresentadas as plataformas comparadas e os recursos de realidade aumentada disponíveis.

2.1.4.1 Análise de Recursos das Plataformas de Realidade Aumentada

As funcionalidades elencadas e esclarecidas nas seções anteriores, abordam os aspectos que o autor desta tese considera relevante em um *framework* que busca oferecer os recursos necessários para o desenvolvimento de aplicativos que utilizem elementos de realidade aumentada no âmbito educacional.

A fim de contrastar as principais características entre os onze *frameworks* analisados, foi constituído um quadro comparativo (Tabela 2.2), no qual foram estabelecidas três categorias gerais e onze subcategorias específicas, possibilitando evidenciar os diferentes aspectos que influenciam na utilização do usuário e também no desenvolvimento de funcionalidades de realidade aumentada, as quais serão descritas nas próximas seções.

- **Informações Gerais**

A categoria de “Informações Gerais” busca apresentar informações genéricas sobre as plataformas de realidade aumentada analisadas na Tabela 2.2, as quais consistem em tipos de licença em que são disponibilizados os recursos das ferramentas, quais plataformas e extensões existentes, assim como a disponibilidade de material de apoio e de exemplos para a execução de testes.

Neste sentido, é possível observar que todas as ferramentas, com exceção da ARToolKit (*open source*) e da EasyAR (gratuito), disponibilizam suas funcionalidades sob o uso de licenças proprietárias. É importante ressaltar que, mesmo sendo proprietárias e cobrarem pelos seus serviços, todos os *frameworks* possibilitam que os usuários realizem o acesso e executem um determinado número de testes de forma gratuita, embora algumas funcionalidades avançadas sejam limitadas apenas para contas pagas ou então por um curto período de tempo.

Também foram observados quais são os sistemas operacionais e extensões que cada uma das plataformas suporta e/ou oferece alguma extensão. Com base nesta análise, foi possível evidenciar que todos apresentam alguma solução voltada para dispositivos móveis, que consiste no enfoque desta tese, tais como Android, BlackBerry e iOS. Também foi observada a portabilidade de alguns *frameworks* para óculos inteligentes, em que a

ARToolKit, PixLive, Vuforia e Wikitude foram as ferramentas que apresentaram tal recurso. Além disso, outro aspecto interessante, consiste na disponibilidade de Pacotes Unity, o que permite ao usuário utilizar as funcionalidades do *framework* para desenvolver seus próprios aplicativos na plataforma Unity, que apresenta o benefício de permitir a exportação para uma variada gama de dispositivos e plataformas.

Outro ponto importante evidenciado por essa categoria, consiste no fato de que todos os *frameworks* disponibilizam exemplos e tutoriais a serem seguidos para a implementação e uso de suas funcionalidades, característica considerada relevante, pois assim os usuários que estão realizando seus primeiros experimentos ou que não possuem conhecimentos sobre o desenvolvimento de aplicativos, podem obter ajuda e encontrar respostas nos fóruns de discussão destas ferramentas.

- **Tipos de Alvos para Rastreamento**

Esta seção discorre sobre uma das categorias mais relevantes da análise comparativa e deve ser observada atentamente durante a escolha de uma plataforma para o desenvolvimento de aplicações com realidade aumentada, uma vez que enseja apresentar quais são as funcionalidades de rastreamento disponíveis em cada plataforma. No decorrer da análise realizada, foram evidenciados seis tipos de rastreamento de alvos relevantes para a construção de aplicativos educacionais, os quais foram apresentados na seção 2.1.3 e serão discutidos ao longo desta seção.

Neste sentido, foi possível observar que a subcategoria relacionada ao rastreamento textual, de uma palavra ou conjunto de palavras, é apresentado apenas pela plataforma Vuforia. Essa característica é ressaltada como um recurso útil para uso em jogos educacionais infantis, bem como um mecanismo de entrada visual (para uso em dicionários), visto que a plataforma Vuforia fornece uma lista de cem mil palavras, comumente utilizadas na língua inglesa, as quais podem ser incorporadas aos aplicativos desenvolvidos pelos usuários (VUFORIA, 2019).

Outro aspecto analisado durante os testes realizados, consiste na capacidade do *framework* de realizar o rastreamento baseado em marcadores no formato de imagem plana (2D). Essa característica está presente em todas as onze plataformas de realidade aumentada analisadas, uma vez que é a maneira tradicional de realizar o rastreamento de alvos. Cabe ressaltar ainda, que as plataformas Vuforia, CraftAR e Wikitude, permitem que os seus usuários cadastrem seus marcadores e também apresentam uma avaliação do rastreador

registrado, permitindo assim que o usuário saiba se os elementos de rastreabilidade do alvo estão adequados ou não, para que então possam ser substituídos por outro que atinja uma melhor classificação.

Em relação às funcionalidades de rastreamento, outra possibilidade existente consiste no rastreamento de alvos no formato cilíndrico, cônico e demais objetos reais tridimensionais. Essa característica apresenta-se com relevância, pois amplia os formatos de rastreamento ao incluir a possibilidade de reconhecer objetos reais em três dimensões e também viabiliza a utilização na perspectiva de projeção na realidade aumentada. Referente a essa propriedade, apenas duas plataformas de realidade aumentada disponibilizam tal característica, os quais consistem no Vuforia e no Wikitude. A plataforma EasyAR menciona em sua página oficial que irá contar com esse recurso em sua próxima versão (2.0).

Outro recurso importante para as ferramentas de desenvolvimento de realidade aumentada consiste na possibilidade do rastreamento de múltiplos alvos, característica que permite que o aplicativo instalado no dispositivo do usuário realize o rastreamento de mais de um alvo ao mesmo tempo. Em decorrência disso, além de conseguir rastrear uma sequência de alvos, também torna possível ao usuário visualizar mais de um objeto virtual na tela do seu dispositivo, possibilitando inclusive que um objeto complemente o outro. Neste aspecto, as plataformas ARToolKit, EasyAR, Kudan, Vuforia e Wikitude apresentam a possibilidade de rastreamento de múltiplos alvos.

Em virtude desta tese apresentar enfoque no desenvolvimento de recursos de realidade aumentada e o uso de aplicativos em dispositivos móveis, buscou-se evidenciar as plataformas que apresentam a capacidade de exibir elementos virtuais baseados na geolocalização do dispositivo do usuário. Essa característica é frequentemente encontrada em jogos de realidade aumentada, e.g. Ingress (2017) e Pokémon Go (2017), no qual o usuário precisa se deslocar fisicamente até uma determinada posição para conseguir visualizar os elementos virtuais associados àquela posição geográfica, determinada através do sinal de GPS do dispositivo móvel do usuário. As ferramentas que possibilitam associar elementos de realidade aumentada com posições geográficas são ARToolKit, Aurasma, EasyAR, LayAR, PixLive, Vuforia e Wikitude.

Outro recurso analisado junto às plataformas de realidade aumentada consiste na possibilidade de rastreamento sem marcadores. Essa característica torna-se relevante no momento em que o usuário compreende que não será necessário apontar seu dispositivo para um marcador, mas apenas apontar seu dispositivo para o espaço em que deseja integrar o elemento virtual, fazendo com que o mesmo componha a cena na qual se encontra. As

plataformas realidade aumentada que disponibilizam essa funcionalidade são a Kudan e Wikitude, sendo que ambas utilizam os algoritmos de SLAM. Outra ferramenta que consegue oferecer essa funcionalidade é a Vuforia, no entanto, une suas tecnologias de Extended Tracking e Smart Terrain a fim de conseguir oferecer o rastreamento sem marcador. A plataforma EasyAR menciona em sua página oficial que irá contar com esse recurso em sua próxima versão (2.0).

As ferramentas e características discutidas ao longo desta seção, apresentaram as especificidades relacionadas à categoria de “Tipos de Alvos para Rastreamento”, na qual buscou-se evidenciar as principais funcionalidades de rastreamento existentes na atualidade, apresentando desde as formas tradicionais de rastreamento, e.g. imagens planares e múltiplos alvos, até as maneiras mais avançadas e utilizadas na atualidade, e.g. geo-localização e rastreamento sem marcador. Na próxima seção serão apresentadas as funcionalidades relacionadas às plataformas de gerenciamento de cada uma das ferramentas de desenvolvimento em realidade aumentada.

- **Funcionalidades Adicionais**

A categoria de “Funcionalidades Adicionais” apresenta informações consideradas decisivas para a seleção do usuário sobre a plataforma de desenvolvimento de realidade aumentada, em virtude que evidencia os recursos que aproximam os usuários leigos a resultados finais positivos com as ferramentas e os recursos de realidade aumentada, e.g. confecção de alvos e a associação de recursos multimídia (imagem, áudio, vídeo, modelos 3D, entre outros).

Neste sentido, foram verificadas as plataformas de realidade aumentada que oferecem a possibilidade de realizar a identificação de alvos, sendo realizada uma segmentação para o reconhecimento *online* e *offline*, em virtude de ambos os recursos serem considerados importantes para a escolha do usuário e, através dessa divisão, torna-se possível oferecer um destaque maior para as ferramentas que apresentam ambas as características.

Em se tratando da identificação de alvos *online*, as plataformas que disponibilizam esse recurso são Augment, Aurasma, BlippAR, CraftAR, LayAR, PixLive, Vuforia e Wikitude. As demais ferramentas, i.e., ARToolKit, EasyAR e Kudan, permitem apenas o reconhecimento de marcadores *offline*, os quais necessitam ser incluídos no código fonte do aplicativo instalado no dispositivo do usuário. Além das ferramentas supracitadas, também contam com o recurso de reconhecimento *offline* de alvos, os *frameworks* Augment, CraftAR,

Vuforia e Wikitude, que permitem tanto o reconhecimento *online* quanto o *offline*, aspecto este que amplia os recursos oferecidos por estas plataformas aos seus usuários. A ferramenta EasyAR anuncia em sua página oficial que irá contar com esse recurso na próxima versão (2.0).

A característica de reconhecimento de alvos *offline* tem seus pontos positivos e negativos. Por um lado, torna-se uma grande vantagem ter os marcadores diretamente no aplicativo instalado no dispositivo, de modo *offline*, pois além de tornar o rastreamento mais rápido, quando não houver conexão com a Internet o usuário conseguirá rastrear os alvos e visualizar os elementos virtuais de realidade aumentada, sem ter a sua experiência de uso prejudicada. Por outro lado, introduzir os marcadores diretamente no código fonte não só dificulta o desenvolvimento do aplicativo por usuários sem conhecimento na área, como também aumenta a dimensão do aplicativo, i.e., quanto mais marcadores anexados, maior será a exigência de recursos para *download* e também para execução do aplicativo no dispositivo do usuário. Já o reconhecimento de alvos *online* também apresenta uma importante questão que deve ser considerada, a qual fundamenta-se na necessidade de o dispositivo do usuário disponibilizar uma conexão com a Internet para realizar o reconhecimento dos marcadores e para o carregamento dos elementos virtuais da realidade aumentada.

O último recurso elencado para a categoria de funcionalidades adicionais consiste em analisar as plataformas de desenvolvimento que possibilitam a criação de marcadores e edição de recursos de realidade aumentada em sua plataforma *web-based*. Neste sentido, buscou-se evidenciar as ferramentas que possibilitam ao usuário registrar e gerenciar seus marcadores, de maneira que, uma vez registrados, podem ser utilizados em seus projetos como alvos. Em conformidade com esse critério, também foram observadas as ferramentas que permitem ao usuário realizar a edição e produção de elementos virtuais de realidade aumentada diretamente na plataforma *web-based*, permitindo assim que o usuário realize o reconhecimento dos alvos registrados e implemente a sobreposição de elementos virtuais na tela do seu dispositivo.

Tabela 2.2 – Plataformas de Realidade Aumentada

	Informações Gerais		Alvos para Rastreamento					Funcionalidade Adicionais			
	Extensão / Plataforma	Tutorial	Texto	Imagem	Objeto 3D	Múltiplos Alvos	Geo-localizado	Sem Marcador	Reconheci-mento Online	Reconheci-mento Offline	Plataforma de Edição de RA
ARToolKit (5.3.2)	Windows, Mac OS, Linux, iOS, Android, Unity, Óculos inteligente	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não
Augment (3.2.1-1)	Android, iOS, Windows, Mac	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Aurasma (3.5.3)	Android e iOS	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
BlippAR (2.1.1)	Android e iOS	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
CraftAR (3.1.3)	Android e iOS, Unity, Apache Cordova	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
EasyAR (1.3.1)	Windows, Mac OS, Android, Unity	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
Kudan (1.5)	Android, iOS, Unity	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
LayAR (8.5.3)	Android, iOS, BlackBerry	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
PixLive (5.6.0)	Android e iOS, Apache Cordova e Google Glass	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Vuforia (6.2)	Windows, iOS, Android, Óculos Inteligente, Unity	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Wikitude (2.1.0-2.1.0)	Android, iOS, Unity, Cordova, Titanium, Xamarin e Óculos inteligente	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A inclusão do deste último recurso justifica-se pelo fato de que essa tese visa apresentar plataformas que possam auxiliar o usuário sem conhecimento em desenvolvimento de aplicativos, especialmente professores que desejam apresentar conteúdos inovadores em sala aula e, através desse recurso, torna-se possível agilizar tanto a produção do material didático, como também o desenvolvimento do aplicativo propriamente dito. Dentre as onze ferramentas analisadas, apenas sete oferecem esse tipo de funcionalidade, as quais são Augment, Aurasma, BlippAR, CraftAR, LayAR, PixLive e Wikitude. Dentre as demais ferramentas, ARToolKit, EasyAR e Kudan, também fazem o uso de marcadores, mas não viabilizam a criação dos mesmos em suas plataformas, apenas permitem que sejam inseridos os marcadores no código fonte do aplicativo, para que então seja possível realizar o rastreamento, tarefa que torna difícil a realização por pessoas sem conhecimento em

desenvolvimento de sistemas. O Vuforia também não atende a este critério, por outro lado, permite que os marcadores sejam registrados tanto no código fonte do aplicativo, como também disponibiliza a opção de registrar o marcador e realizar o reconhecimento do alvo diretamente em uma nuvem computacional.

Ainda sobre a categoria descrita acima, o EasyAR anuncia em sua página oficial que irá contar com esse recurso na próxima versão (2.0), já a plataforma ARToolKit disponibiliza um *software* para treinamento do algoritmo de reconhecimento de alvos, no entanto, não se trata de algo automatizado e prático, pois o usuário necessita realizar o treinamento e inserir os resultados na codificação do aplicativo.

A categoria de “funcionalidades adicionais” discutida ao longo desta seção, teve como intuito apresentar informações relevantes para auxiliar na escolha de uma plataforma de desenvolvimento de realidade aumentada que satisfaça todos os anseios do usuário e que também sirva da melhor forma possível para a construção de aplicativos voltados à educação. Em relação às ferramentas que apresentam a funcionalidade de “Plataforma de Edição de RA”, realizou-se uma análise sobre os recursos multimídia e demais elementos virtuais que cada uma das sete plataformas disponibilizam aos seus usuários para o desenvolvimento dos recursos de realidade aumentada, as quais serão melhores detalhadas na próxima seção.

2.1.4.2 Recursos Multimídia das Plataformas de Realidade Aumentada

Com base nos recursos apresentados nas seções anteriores, tornou-se imprescindível apresentar uma discussão a respeito das plataformas de desenvolvimento de realidade aumentada que possibilitam ao usuário criar e editar modelos 3D, entre outros elementos de realidade aumentada diretamente na plataforma *web-based*. Em vista disso, essa seção tem o intuito de apresentar os recursos multimídia habilitados em cada uma das ferramentas de desenvolvimento de realidade aumentada que oferecem a característica de “Plataforma de Edição de RA”, demonstrando os elementos virtuais disponíveis e as extensões permitidas, bem como demais características que possam ser relevantes para o desenvolvimento de aplicativos voltados à educação. As principais propriedades e características encontradas em cada plataforma de realidade aumentada foram detalhadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Descrição dos Recursos Virtuais das Plataformas de Realidade Aumentada

Framework	Recursos Multimídia	Formatos Aceitos
Augment	Permite associar ao marcador um modelo 3D, URL ou uma pasta. Oferece opções limitadas de configuração dos modelos 3D, não permitindo grandes modificações.	Formatos de modelos 3D aceitos: Collada (.dae e .zae), Wavefront OBJ (.obj), Stereolithography (.stl) e .KMZ. Formatos de Imagens aceitos: .JPG, .JPEG, .BMP, .PNG, .GIF
Aurasma	Permite associar ações ao toque na tela, ao iniciar e finalizar o aplicativo, ou após um determinado tempo. Por exemplo, quando o elemento que compõem a cena for tocado pelo usuário, é possível realizar a ação de abrir uma página no navegador nativo do dispositivo, assim como outras funcionalidades básicas.	Formatos de modelos 3D aceitos: Collada (.dae). Formatos de Imagens aceitos: PNG. Não menciona os formatos de vídeos aceitos.
BlippAR	Permite adicionar botões para mídias sociais, páginas web, chamadas telefônicas e compras. Habilita o uso de mídias do tipo imagem ou galeria de imagens, áudio, vídeo e possibilita a conexão com YouTube, SoundCloud, Spotify, entre outras plataformas. Permite criar cenas e adicionar botões para o direcionar o usuário para as demais cenas. Todos os recursos adicionados, podem ser configurados para uma melhor apresentação. Também possibilita a animação de camadas.	Formatos de Imagens aceitos: Filmbox (.fbx).
CraftAR	Permite adicionar botão, imagem, vídeo e modelo 3D. Na conta paga são habilitadas informações estatísticas sobre os marcadores e seus acessos.	Formatos de modelos 3D aceitos: Wavefront OBJ (.obj) no formato Zip.
LayAR	Permite adicionar botões para mídias sociais, páginas web, chamadas telefônicas, votações, compras, e-mails, downloads e adicionar contatos. Habilita o uso de mídias do tipo imagem ou galeria de imagens, áudio, vídeo. A conta paga, permite adicionar elementos em HTML, executar aplicações, utilizar os recursos de geo-localização, entre outros.	Formatos de Vídeos aceitos: H.264/MP4 e Youtube. Formatos de Imagens aceitos: JPG e PNG. Formatos de Áudios aceitos: MP3 e SoundCloud.
PixLive	Permite adicionar botões para mídias sociais, páginas web, arquivos PDF, transformar imagens e textos em botões. Possibilita criar cenas e adicionar botões ou temporizadores para direcionar o usuário para as demais cenas. Habilita o uso de mídias do tipo imagem, imagem 360° ou galeria de imagens, modelos 3D, áudio e vídeo. Permite utilizar os recursos de geo-localização. Permite adicionar componentes para desenho.	Formatos de modelos 3D aceitos: Collada (.dae), 3DS Max (.3ds), Wavefront OBJ (.obj), Stereolithography (.stl), entre outros formatos considerados não oficialmente suportados. Formatos de Vídeos aceitos: H.264/MP4, Youtube, Vimeo e

		Dailymotion.
Wikitude	Habilita o uso de mídias do tipo: imagem, vídeo e modelo 3D. Permite inserir e configurar textos. Permite inserir e configurar botões para mídias sociais.	Não menciona os formatos habilitados.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos conhecimentos apresentados na Tabela 2.3 e das informações demonstradas na comparação das plataformas e na análise dos recursos disponibilizados, é possível oferecer um amplo conhecimento ao usuário final, para que possa escolher a ferramenta que melhor atenda aos seus requisitos de projeto e de recursos, com o intuito de esclarecer e auxiliar para com o desenvolvimento de aplicativos educacionais de realidade aumentada.

2.1.4.3 Considerações Finais sobre as Plataformas de Realidade Aumentada

Com base na análise das funcionalidades e dos elementos virtuais disponíveis em cada plataforma de desenvolvimento de aplicativos com recursos de realidade aumentada, é possível estabelecer algumas observações gerais a respeito das ferramentas analisadas. Levando em consideração os resultados obtidos e representados na Tabela 2.2, verificou-se que alguns *frameworks* que são amplamente utilizados em pesquisas e na academia de forma geral, quando comparados às demais plataformas, apresentaram limitações nos recursos para a construção de aplicativos educacionais, i.e. ARToolKit, EasyAR e o Kudan, que são voltadas para usuários com conhecimentos em desenvolvimento de sistemas computacionais (visto que são SDKs), tornando-os mais complexos em relação aos demais *frameworks* analisados.

Já os *frameworks* Augment e o BlippAR apresentam apenas uma opção de rastreamento de alvos, que compreende a marcadores de imagem planar, aspecto que os limitam na construção de aplicativos educacionais que utilizem recursos atuais. Por outro lado, tanto o Augment como o BlippAR permitem ao usuário realizar o rastreamento de alvos *online* e também construir e editar elementos de realidade aumentada em suas plataformas *web-based*, característica que pode influenciar de maneira positiva a escolha do usuário.

Em relação às plataformas de realidade aumentada Aurasma, CraftAR, LayAR e PixLive, foi possível verificar que todas oferecem o rastreamento de alvos com imagens planares; a Aurasma, LayAR e PixLive disponibilizam também recursos para criação de marcadores geo-localizados, utilizando o GPS do dispositivo do usuário para reconhecer os

alvos; também permitem o reconhecimento de alvos *online*, sendo que a plataforma CraftAR permite tanto o reconhecimento *online*, como também o reconhecimento *offline* de alvos. Ademais, todas as quatro plataformas possibilitam que o usuário utilize suas plataformas *web-based* para a criação e edição de elementos de realidade aumentada.

Em relação aos *frameworks* de realidade aumentada que apresentam o maior número de recursos para a construção de soluções educacionais, Vuforia e Wikitude, é possível verificar na Tabela 2.2, que os recursos pertencentes à categoria de reconhecimento de alvos consistem no diferencial entre às demais ferramentas analisadas, em virtude de que ambas permitem realizar o rastreamento de alvos de imagens planares, de objetos tridimensionais, geo-localizados, sem marcadores, múltiplos alvos, e tanto reconhecimento de alvos *online* quanto *offline*. Existem apenas duas disparidades entre o Vuforia e o Wikitude, em que apenas o primeiro permite o reconhecimento de alvos textuais e, em contrapartida, apenas o Wikitude disponibiliza uma plataforma *web-based* de criação e edição de elementos da realidade aumentada, característica que torna a plataforma Wikitude melhor qualificado para a construção de soluções educacionais.

A discussão apresentada ao longo desta seção, buscou destacar as diferenças existentes entre os *frameworks* de realidade aumentada analisados, evidenciando as suas principais características e apresentando suas vantagens e desvantagens, com o intuito de destacar o potencial existente em cada ferramenta para o desenvolvimento de aplicativos voltados à educação. Além disso, através do delineamento apresentado na Tabela 2.2, almeja-se apresentar as informações necessárias para que os usuários destas plataformas possam escolher uma ferramenta que melhor atenda aos requisitos de recursos e funcionalidades da realidade aumentada.

2.2 Desenvolvimento Cognitivo

O desenvolvimento cognitivo corresponde a uma área de investigação que busca explicar a forma como ocorre o processamento das informações, com as quais o aluno interage no momento de sua aprendizagem, almejando esclarecer as operações mentais inerente ao processo de construção do conhecimento que oportuniza a aprendizagem. Nesta perspectiva, Lakomy (2008, p. 19) afirma que as teorias que seguem a linha cognitiva procuram explicar o processo de construção do conhecimento humano e desenvolvimento da

inteligência e, conseqüentemente, geram informação que nos leva a conhecer como se processa interiormente a aprendizagem.

Na perspectiva cognitivista, o processo de aquisição do conhecimento é a aprendizagem em si. Ao contrário dos comportamentais, os alunos são percebidos como agentes ativos que interagem constantemente com o ambiente interno e externo, utilizam suas experiências anteriores, buscam e reorganizam informações, refletem e tomam decisões para que possam adquirir novos conhecimentos (LAKOMY, 2008, p. 20).

Diferente das teorias comportamentalistas, as quais afirmam que a aprendizagem ocorre por meio da repetição e pela imitação, as teorias cognitivistas que fundamentam o desenvolvimento cognitivo, de acordo com Ostermann e Cavalcanti (2011, p. 31), enfatizam o processo de cognição, através do qual a pessoa atribui significados à realidade em que se encontra, preocupando-se com o processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição. Já Piaget (1973, p. 15) ressalta também que conhecer não consiste em copiar o real, mas sim agir sobre ele e transformá-lo, de maneira a compreendê-lo em função dos sistemas de transformação aos quais estão ligadas estas ações.

Em se tratando do comportamento do estudante durante o processo de desenvolvimento cognitivo, Fontana (1998) afirma:

O aprendizado consiste em uma mudança relativamente persistente no comportamento do indivíduo devido à experiência. Esta abordagem, portanto, enfatiza de modo particular a maneira como cada indivíduo interpreta e tenta entender o que acontece. O indivíduo não é um produto relativamente mecânico do ambiente, mas um agente ativo do processo de aprendizagem, que procura de forma deliberada processar e categorizar o fluxo de informações recebidas do mundo exterior (FONTANA, 1998, p. 157).

Nesta perspectiva, a construção do conhecimento ocorre através das interações do aluno com o objeto de conhecimento e, ao mesmo tempo, com suas experiências anteriores, sendo estas interações ações físicas ou também mentais. A partir destas relações, Piaget (1973) defende que são produzidos desequilíbrios no conhecimento do estudante, os quais resultam na assimilação ou na acomodação e, por conseqüência, na construção do conhecimento através das próprias ações do estudante.

Souza Filho (2008) esclarece que Jean Piaget defende que o desenvolvimento cognitivo é organizado por estruturas mentais compostas por “esquemas de ação” e “operações de caráter lógico-matemático”, sendo que em um primeiro momento, tais estruturas são categorias que nascem com a pessoa, vão amadurecendo e adquirindo natureza distinta por meio de um processo de equilíbrio entre o sujeito e seu ambiente. Essa adaptação intelectual ocorre através de uma organizada e constante assimilação do novo conhecimento,

em relação ao velho, além de uma acomodação do velho conhecimento ao novo, que manteriam em equilíbrio o funcionamento cognitivo.

Esta habilidade de aprender, Piaget (1973) nomeia de “assimilação cognoscitiva - o fato essencial de que convém partir é que nenhum conhecimento, mesmo perceptivo, constitui uma simples cópia do real, porque contém um processo de assimilação a estruturas anteriores” (PIAGET, 1973, p. 13). Assim, a interpretação de Souza Filho (2008) a respeito da teoria do desenvolvimento cognitivo, consiste em um processo de equilibrações sucessivas dos esquemas e estruturas cognitivas, as quais vão evoluindo com base na configuração da estrutura precedente.

Outra interpretação que tem surgido fundamentando-se no desenvolvimento cognitivo trata-se da aprendizagem inventiva, a qual Kastrup, Tedesco e Passos (2008, p. 97) abordam em sua obra denominada “Políticas de Cognição” e defendem que o “pensar é sempre experimentar - não interpretar, mas experimentar”, colocando a experimentação na rota da cognição. Pois dessa maneira, segundo os autores, é possível a criação de novos problemas, de novas relações com a informação, com o tempo, com o espaço, consigo mesmo e com os outros.

Em se tratando da importância de compreender como ocorre a cognição do aprendiz, Lakomy (2008) ressalta que dessa maneira torna-se possível realizar uma reflexão sobre a prática docente em sala de aula, de forma que o professor seja capaz de identificar e utilizar as técnicas e os conceitos mais adequados para estimular o processo de aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo de cada aluno de modo mais produtivo, tendo em vista cada situação.

Ao longo desta seção, buscou-se demonstrar a teoria cognitivista que explica a construção do conhecimento, através do desenvolvimento cognitivo do aluno, o que se torna possível por meio das suas próprias ações, sendo elas físicas ou mentais, que ensejam a experimentação do objeto de conhecimento e a sua contextualização com o cotidiano do estudante. Na intenção de melhor descrever a abordagem pedagógica adotada neste estudo e transparecer as intenções com o uso da mesma, na próxima seção será discutido a aprendizagem situada, que busca oportunizar uma aprendizagem de maneira contextualizada com as situações do dia-a-dia do aluno.

2.2.1 Aprendizagem Situada

Na perspectiva do desenvolvimento cognitivo, dentre as demais estratégias e abordagens pedagógicas existentes, a aprendizagem situada ou então a aprendizagem com contextos autênticos, tem-se demonstrado eficaz quando utilizada em sala de aula, visto que busca abordar atividades no contexto da educação informal, que envolve variadas situações do cotidiano do aluno, proporcionando uma problematização contextualizada com o conteúdo formal que está sendo demonstrado em sala de aula. De acordo com Spector et al. (2014), a aprendizagem situada assume que o conhecimento é inseparável do fazer e o aprendizado deve ser apresentado em contextos autênticos, onde os estudantes entenderiam ativamente o conhecimento e utilizariam na sua aprendizagem.

Conforme estabelecido por Lave (1988), a aprendizagem como acontece normalmente é uma função da atividade, do contexto e da cultura em que ela ocorre, sendo portanto, situada. E, conforme a interpretação de Moser et al. (2012) para a teoria de cognição situada, a realização de significados se dá em um processo de interação dinâmica entre os participantes, que trocam informações, habilidades, conhecimentos e comportamentos, fomentando a aprendizagem social em “comunidades de prática” (LAVE e WENGER, 1991).

De modo geral, Lave e Wenger (1991) enfatizam ainda que o aprendizado não é apenas situado na prática, mas sim constitui-se como uma parte integrante da prática social do mundo vivido, sendo então a aprendizagem uma dimensão social, adquirida pela experiência, pela participação e pela colaboração do estudante na vida cotidiana. Desta maneira, visa transferir a aprendizagem que pode acontecer na sala de aula, para cenas reais e que coloquem o estudante em situações autênticas. Pois na prática da cognição situada, conforme Bissolotti et al. (2014) é preciso ressaltar também a importância do contexto e da interação no processo de construção do conhecimento.

A utilização da abordagem da aprendizagem situada se justifica, pois, conforme apresentado por Brown et al. (1989), muitas práticas de ensino assumem que o conhecimento conceitual pode ser abstraído das situações em que é aprendido e utilizado, mas de acordo com os autores, esta suposição limita a eficácia de tais práticas, pois o conhecimento consiste em algo situado, sendo em parte um produto da atividade, do contexto e da cultura em que é desenvolvido e utilizado e, esta visão do conhecimento, afeta em nossa compreensão da aprendizagem.

Conforme descrito por Almeida (2014), a perspectiva da aprendizagem situada descreve o desenvolvimento da cognição (a aprendizagem) em consonância com abordagens

socioculturais. Festas (2015) corrobora afirmando que deste modo, a aprendizagem é situada em uma prática do mundo em que vivemos e resulta da atividade e da participação indivíduo nesta prática. Nesta perspectiva, através da aprendizagem situada, espera-se que eventualmente os alunos possam conectar seus conhecimentos prévios com o conhecimento recém-adquirido e aplicá-lo em situações do mundo real (SUNG, HWANG e YEN, 2015). Portanto, o objetivo da aprendizagem situada, segundo Hwang e Wang (2016), consiste em desenvolver a capacidade dos estudantes de aplicarem o conhecimento adquirido na escola em contextos reais e, portanto, a provisão de contextos de aprendizagem tornou-se uma maneira essencial de permitir que os alunos experimentem o que podem encontrar nas suas vidas cotidianas.

Diversas áreas têm se apropriado desta abordagem para tornar a aprendizagem dos estudantes mais autênticas e significativas, dentre as quais podem ser ressaltadas a sua utilização no âmbito das ciências (ZYDNEY e WARNER, 2016) e ecossistemas (KAMARAINEN et al., 2013), da física (IBÁÑEZ et al., 2019), da língua inglesa (HWANG e WANG, 2016), (HSU, 2016) e (BURSALI e YILMAZ, 2019), do *design* criativo (WEI et al., 2015), assim como outras áreas de conhecimentos, tais como museus (CHIOU et al., 2010) e (CHEN e HUANG, 2012), simulação de voos (KE e CARAFANO, 2016) e medidas de segurança contra incêndios (ALL et al., 2017). Além das áreas mencionadas neste parágrafo, a teoria da aprendizagem situada também tem sido utilizada de maneira conjunta aos recursos de realidade aumentada, tais como na aprendizagem de ciências (KAMARAINEN et al., 2013) e habilidades básicas escolares (CHEN e TSAI, 2012).

Além da sua utilização em ambientes de realidade aumentada, a aprendizagem situada também tem oportunizado o desenvolvimento cognitivo de estudantes em ambientes virtuais de aprendizagem que contemplam os recursos de realidade virtual. Neste sentido, de acordo com as observações de Dede (2009), a imersão possibilitada aos usuários destes ambientes, melhora a aprendizagem através da experiência estabelecida, pois as interfaces de natureza imersivas podem promover experiências educacionais que se baseiam em uma poderosa pedagogia: a aprendizagem situada, que exige contextos, atividades e avaliações autênticas, juntamente com orientação de modelagem especializada, orientação e “participação periférica legítima”. À respeito da “participação periférica legítima”, Dede (2009) exemplifica que:

Como exemplo de participação periférica legítima, os estudantes de pós-graduação em ciências físicas trabalham nos laboratórios de pesquisas de especialistas, que modelam as práticas de bolsa de estudo no trabalho de campo e laboratório. Esses alunos aprendem tacitamente através da exibição de especialistas em pesquisa, bem como interagindo com outros membros da equipe que compreendem estudos sofisticados em diferentes níveis. Enquanto nessas

configurações, os alunos passam gradualmente de pesquisas novatas para papéis mais avançados, com as expectativas de outros membros da equipe para que eles evoluam à medida que suas habilidades se desenvolvem (DEDE, 2009, p. 66).

De acordo com Dede (2009), as interfaces imersivas podem aproveitar as vantagens da aprendizagem situada, permitindo simulações digitais autênticas com as quais os alunos interagem em comunidade para a resolução de problemas ou com outras entidades virtuais (participantes e agentes baseados em computador) que possuem níveis variados de habilidades. Já Yusoff et al. (2010) corrobora no sentido de que as simulações e a realidade virtual fornecem a base para uma forma de aprendizagem situada, modelando aspectos específicos dos sistemas complexos do mundo real, permitindo que os alunos experimentem o sistema, manipulando parâmetros ou participando dentro do sistema e observando os resultados.

Através de uma investigação conduzida para avaliar o potencial destes ambientes de realidade virtual na aprendizagem, Falconer (2013) identificou treze fatores que afetam o senso de autenticidade em exercícios de aprendizagem em mundos virtuais, em que nove destes fatores melhoram positivamente a sensação de autenticidade e os outros quatro prejudicam o sentido de autenticidade. De acordo com Falconer (2013), os fatores que influenciam positivamente a dimensão de aprendizagem situada em contextos autênticos envolvem características de facilitação, presença e autoridade, realismo visual, socialização, realidade comparativa, engajamento, aprendizagem ativa, generalização e habilitação para aprender com erros. Já os fatores negativos consistem na imagem dos mundos virtuais parecem jogos, a falta de naturalismo, os gráficos irrealistas e a falta de sentido tátil.

Ainda sobre os aspectos que envolvem a aprendizagem situada em mundos virtuais, Yusoff et al. (2010) também contribuem com uma reflexão que requer atenção no momento concepção destes ambientes imersivos, na qual os autores enfatizam que as simulações situadas em mundos virtuais 3D ricos e realistas, por vezes podem ser descritas como “muito” virtuais e, eventualmente, podem se afastar tanto do mundo real que tornam-se menos autênticas. Nestas situações, Yusoff et al. (2010) argumentam que a realidade aumentada pode desempenhar o papel de equilibrar os pontos fortes e fracos dos meios virtuais, através da criação de ambientes de aprendizagem autênticos e estruturando as atividades que aproveitam a autenticidade dos ambientes do mundo real, juntamente com as interações sociais entre os participantes.

Ao longo desta seção foi apresentada uma discussão sobre a aprendizagem situada e a sua potencialidade para integração dos recursos de realidade aumentada, objeto de pesquisa

desta tese. Através da combinação dos recursos apresentados nesta seção, tanto aspectos teóricos como também recursos tecnológicos, objetivou-se apresentar uma base teórica capaz de justificar a utilização destas tecnologias e estratégias educacionais com o intuito de contribuir no aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem de estudantes.

2.3 Trabalhos relacionados

Com o crescente desenvolvimento tecnológico vivenciado ao longo dos últimos anos, novas propostas estão surgindo para auxiliar no processo de desenvolvimento cognitivo de estudantes, incorporando conceitos e práticas pedagógicas, tais como o uso combinado de laboratórios virtuais, inteligência artificial, dispositivos móveis, realidade virtual e aumentada, entre outros. Diante dessa perspectiva, foram selecionadas pesquisas científicas que retratam o uso de técnicas e dos recursos educacionais aqui mencionados no âmbito educacional, nas mais diferentes áreas e, ao mesmo tempo dão aporte as temáticas discutidas nesta tese.

2.3.1 Aprendizagem Situada e Realidade Aumentada

A realidade aumentada tem despontado como uma tecnologia promissora e, conforme evidenciado pela *New Media Consortium* (BECKER et al., 2017), com grande potencial para transformar as aplicações educacionais nos próximos cinco anos, seja através da portabilidade possibilitada pela utilização de óculos inteligentes e outros dispositivos móveis (e.g. *smartphones* e *tablets*), ou pela ampla gama de recursos multimídia e objetos educacionais disponíveis ao fácil acesso dos seus usuários. Nesta perspectiva, dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (LEOPOLD, RATCHEVA e ZAHIDI, 2018, p. 16 e 56), evidenciam uma estimativa de crescimento no desenvolvimento de recursos de realidade virtual e aumentada, inclusive em tópicos referentes a adoção de novas tecnologias e expansão da educação. Neste sentido, foram analisadas algumas investigações que contemplam o uso da realidade aumentada no âmbito educacional e que fazem uso da teoria de aprendizagem situada, promovendo contextos autênticos ao cotidiano dos seus usuários, as quais serão apresentadas a seguir:

Ciências: A pesquisa de Kamarainen et al. (2013) emprega a teoria de aprendizagem situada combinada ao uso dos recursos de realidade aumentada com sondas de medição ambientais, tecnologias que foram desenvolvidas para auxiliar estudantes do ensino médio na aprendizagem de ciências do ecossistema, através da medição, compreensão e interpretação das medidas de qualidade da água, entre outras atividades.

Denominado como EcoMOBILE, a ferramenta de realidade aumentada foi utilizada em um estudo piloto conduzido com cinco classes de alunos do sexto ano, durante uma viagem de campo a uma lagoa. Os alunos foram divididos em duplas e receberam instruções para utilizarem o aplicativo de realidade aumentada e como deveriam operar a sonda de medições ambientais e interpretar os seus resultados.

Após a intervenção, os autores observaram ganhos em medidas afetivas dos alunos e na compreensão dos conteúdos relacionados aos testes realizados, uma vez que foi possível promover a interação dos alunos com a lagoa (durante as medições) e com os colegas de grupo em um formato centrado no aluno, em vez de dirigido pelo professor. Os professores cujas turmas participaram da atividade foram entrevistados e corroboram com a afirmação de que a atividade contribuiu na interação entre os colegas, além disso também informaram que foi possível observar que as tecnologias combinadas promoveram uma compreensão mais profunda dos princípios da medição da qualidade da água do que era típico nas viagens de campo anteriores sem essas tecnologias e que os alunos expandiram as oportunidades para se envolver em atividades que se assemelham à prática científica.

Uso dos recursos da Biblioteca: A investigação de Chen e Tsai (2012) apresenta um sistema educacional de instrução assistida por computador e com recursos de realidade aumentada, fundamentado na teoria de aprendizagem situada e com o intuito de fornecer instruções para o ensino de habilidades básicas sobre o uso de bibliotecas em escolas primárias. Para tanto, foi desenvolvido um sistema denominado AR Library Instruction System (ARLIS), que integra sistemas interativos de tecnologia virtual 3D e de bibliotecas físicas para gerar um novo modo de instrução de bibliotecas com reconhecimento de contexto.

A utilização do ARLIS demonstrou em seus resultados experimentais que a instrução do sistema de realidade aumentada, quando comparada com a informação apresentada pelo bibliotecário convencional, proporciona um desempenho de aprendizagem que se equivale ao do bibliotecário, não apresentando assim uma diferença significativa entre os modos de instrução verificados. No entanto, os autores argumentam que em eventuais limitações de mão-de-obra o sistema de realidade aumentada ARLIS poderá substituir o bibliotecário convencional, garantindo o desempenho de aprendizagem.

Arqueologia: A pesquisa de Guazzaroni (2013) apresenta experimentos didáticos conduzidos em um museu arqueológico em que o usuário é instigado a aprender através da exploração. Para tanto, o trabalho de Guazzaroni (2013) fundamentou-se no desenvolvimento do Emotional Mapping of Museum Augmented Places (EMMAP), em que dispositivos móveis, mapas com localizações, QR-Codes e recursos de realidade aumentada foram utilizados de forma integrada com a aprendizagem situada.

O EMMAP teve como objetivo envolver os participantes com artefatos culturais em contextos autênticos, promovendo uma experiência cultural e aproximando os visitantes do museu com os patrimônios culturais, instituições, entre outros locais. Para promover esta associação, diversos QR-Codes foram posicionados perto de algum objeto real do museu ou então incorporado diretamente em algum mapa de papel. Desta forma, durante a visita os estudantes poderiam utilizar seus dispositivos móveis para realizarem a visualização de informações associadas aos QR-Codes, que apresentariam conteúdos relacionados aos objetos reais do museu.

Para promover o envolvimento os estudantes com a visita e uso da realidade aumentada, os alunos dividiram-se em pequenos grupos com papéis definidos para cada membro, o que possibilitou abordar uma estratégia colaborativa, ampliando as interações entre os colegas e possibilitando uma experiência desafiadora, através da elaboração de uma mecânica de jogo que promoveu desafios e recompensas aos participantes.

Como resultado desta pesquisa os autores argumentam que uma visita aumentada a um museu pode atrair mais pessoas, que de outra forma talvez não estivessem tão interessadas em patrimônios e artefatos culturais. Além disso, os autores enfatizam que essas ferramentas são úteis para a criação de um ambiente de aprendizagem onipresente e que envolva os participantes emocionalmente em uma paisagem real, uma vez que em um contexto autêntico as emoções desempenham um papel relevante no envolvimento dos estudantes com uma experiência de aprendizagem.

Geografia: A pesquisa de Carrera e Asensio (2017) buscou investigar se a realidade aumentada pode contribuir na apresentação das formas de relevos e melhorar a habilidade de orientação espacial dos estudantes. Para tanto, os autores realizaram um *workshop* com estudantes universitários, em que os alunos tiveram de identificar locais e rotas com base na interpretação do relevo representado por realidade aumentada.

Carrera e Asensio (2017) fundamentam a realização desta pesquisa, em virtude de que a tecnologia da realidade aumentada permite uma nova maneira de interagir com a representação da paisagem 3D e assim facilitar a orientação de si mesmo em relação ao meio

ambiente para determinar a localização. Os autores também argumentam que saber interpretar a paisagem é necessário para navegar e para determinar uma orientação, pois na cartografia tradicional, a interpretação das informações topográficas de relevos requer habilidade de orientação espacial dos estudantes.

Os resultados do *workshop* evidenciaram uma melhoria na habilidade de orientação espacial nos estudantes que participaram da experiência utilizando realidade aumentada (20,14 graus de ganho médio), enquanto que os alunos que não estavam sujeitos ao *workshop* (grupo de controle) não melhoraram sua habilidade de orientação espacial. Os autores concluíram que a possibilidade de utilizar aplicações tridimensionais de realidade aumentada gratuitas e explorar o potencial dos dispositivos móveis, possibilita a concepção e implementação de estratégias para o desenvolvimento de habilidades espaciais no ensino formal no âmbito da Geografia no ensino superior.

2.3.2 Realidade Aumentada no contexto da Aprendizagem Móvel

As pesquisas descritas acima demonstram o potencial existente na integração dos recursos de realidade aumentada para a promoção do desenvolvimento cognitivo em diferentes áreas de conhecimento. Ainda sobre a realidade aumentada aplicada na educação, um trabalho realizado pelo autor desta tese em conjunto com outros pesquisadores, tratou de realizar uma revisão sistemática de literatura sobre o assunto em questão, abordando a perspectiva voltada ao uso em dispositivos móveis, com o intuito de apresentar as especificidades da área e de cada pesquisa encontrada, classificando as principais características das investigações que utilizam as abordagens educacionais com recursos de realidade aumentada em dispositivos móveis durante o período de 2011 a 2018.

Esta revisão sistemática de literatura envolveu 296 trabalhos coletados de revistas internacionais, publicados no intervalo de tempo de 2011 a 2018, sendo selecionados ao final do processo de análise um total de 57 artigos. A análise destes artigos demonstrou o uso de diferentes abordagens pedagógicas combinadas com *mobile learning*, incluindo alguns trabalhos que realizaram a utilização de mais de uma teoria na mesma pesquisa, em que identificou-se o uso das seguintes abordagens educacionais: Aprendizagem Multimídia, Aprendizagem Colaborativa, Aprendizagem Baseada em Inquérito, Inteligências Múltiplas, Aprendizagem Experiencial, Aprendizagem Situada, Estilos de Aprendizagem, Aprendizagem Baseada em Jogos, E-learning, Aprendizagem Baseada em Problema, Pensamento Crítico, entre outras. Diante deste panorama, é possível verificar a potencialidade existente nas

tecnologias móveis combinadas com os recursos de realidade aumentada para fins educacionais, uma vez que os estudantes têm à disposição o acesso a conteúdo multimídia em uma tecnologia do seu cotidiano, tais como *smartphones* e *tablets*, podendo interagir com objetos educacionais cujas vantagens são oferecidos unicamente através da realidade aumentada, capazes de auxiliarem no desenvolvimento cognitivo do aluno em diferentes assuntos, em qualquer hora e lugar.

Os artigos encontrados na revisão sistemática da literatura foram categorizados de acordo com a abordagem STEAM, o que demonstra o caráter interdisciplinar que as abordagens em realidade aumentada em dispositivos móveis podem alcançar, sendo as áreas de conhecimento destes 57 artigos segmentadas em: Ciências (26), Tecnologia (3), Engenharia (9), Artes (12) e Matemática (2), além de outros 5 artigos que não informaram a área. Nesse âmbito, é possível evidenciar que os temas são explorados de forma investigativa através de propostas interdisciplinares, partindo da proposição de um problema, que pode ser expandido para a realização de projetos, explorando conceitos e materiais na aplicação do conhecimento e podendo ser baseado em aprendizagem ativa (Lorenzin, Assumpção e Rabello, 2016). Este fato destaca o potencial positivo para o desenvolvimento de diferentes abordagens de MAR em uma variedade de ambientes de ensino.

Também foi observado que entre os anos de 2013 e 2017 as publicações demonstraram um avanço significativo no uso de estratégias educacionais na aplicação da realidade aumentada móvel na educação. Tipicamente, os estudos analisados utilizaram ao menos uma estratégia ou teoria educacional, dentre os quais podemos destacar a Aprendizagem Colaborativa (DILLENBOURG, 1999), Aprendizagem Multimídia (MAYER, 2009) e Aprendizagem Baseada na Investigação (BRUNER, 1961). Outro aspecto relevante observado na análise dos artigos são os recursos educacionais multimídia apresentados nas abordagens de realidade aumentada móvel, nas quais foram destacados recursos educacionais envolvendo o uso de imagens, vídeos, áudios, objetos 3D e animações, confirmando também os resultados de Cheng e Tsai (2014) e Santos et al. (2014c). Também se identificou que a realidade aumentada em dispositivos móveis apresentou um crescimento exponencial com sinais favoráveis para contribuir com a educação, confirmando também os resultados apresentados para o desenvolvimento dessas tecnologias no mais recente relatório da New Media Consortium Horizon (BECKER et al., 2017).

Com relação ao desenvolvimento das abordagens de realidade aumentada em dispositivos móveis, embora haja uma tendência de abordagens para execução em sistemas

operacionais Android e iOS, não há um consenso em termos de plataformas (SDKs, Frameworks e Plugins), normalmente esses requisitos são definidos com base na *expertise* da equipe de técnica, confirmando também os resultados de Herpich, Guarese e Tarouco (2017), e não definidos com base em evidências empíricas da efetividade dessas plataformas. Consistente com a falta de consenso nas plataformas é a falta do uso de uma metodologia de implementação dos recursos educacionais aumentados, normalmente os estudos são desenvolvidos de forma não sistemática, considerando apenas aspectos da interação humano-computador e *design* instrucional.

Os estudos encontrados também variam amplamente em termos dos aspectos considerados para suas avaliações. Em termos de fatores de avaliação, além de avaliar o efeito de aprendizagem, os estudos também consideram usabilidade, motivação, aceitação de tecnologia, etc., o que evidencia em nenhum padrão na análise do aluno. Além disso, a maioria das avaliações foi conduzida de forma mais flexível (*ad-hoc*) para a pesquisa, medição e coleta de dados, e análise, não utilizando um método sistemático desenvolvido especificamente para as avaliações desse tipo de abordagem e, assim, evidenciando a falta do rigor científico aplicado nas avaliações.

Alguns resultados evidenciados na revisão sistemática da literatura estão relacionados a discussões realizadas em pesquisas anteriores, como os estudos de Dünser, Grasset e Billinghamurst (2008) e Dey et al. (2018). Dünser, Grasset e Billinghamurst (2008) evidenciaram um avanço na avaliação de abordagens em realidade aumentada, sendo este ponto também enfatizado por Dey et al. (2018), em que os autores demonstraram o uso predominante de questionários nas avaliações. Este resultado também foi observado na revisão sistemática da literatura, porém também foi identificado que as avaliações das abordagens de realidade aumentada em dispositivos móveis utilizam outras ferramentas de coleta de dados, como notas de avaliação e observações complementadas por meio de entrevistas e registros do sistema (*logs*). Dey et al. (2018) relataram que houve um crescimento da pesquisa no campo educacional e poucas abordagens que enfatizam tarefas colaborativas. A revisão sistemática da literatura conduzida nesta tese identificou que as abordagens educacionais de realidade aumentada em dispositivos móveis continuam a se expandir, especialmente nas áreas cobertas pelo STEAM, que são exacerbadas pelo uso crescente, acessibilidade e característica pervasiva dos dispositivos móveis. Além disso, também se identificou que há uma falta de padrões mais consistentes e uniformes em termos de métodos para o desenvolvimento e avaliação sistemáticos destas abordagens educacionais em realidade aumentada.

O foco desta revisão sistemática da literatura centrou-se no campo educacional com ênfase no uso de dispositivos móveis, o que permitiu identificar algumas particularidades: as abordagens de realidade aumentada na área educacional têm maior foco na avaliação da aprendizagem dos alunos (uso de instrumentos de coleta de dados e métodos de análise estatística); o uso crescente de *frameworks* e SDKs que suportam o desenvolvimento de protótipos neste âmbito; a construção de protótipos por pessoas sem habilidades em desenvolvimento tecnológico é uma tendência comprovada, na qual aplicativos como Aurasma (HP Reveal) (2019), Layar (2019), Wikitude (2019) (e outros) têm facilitado a criação de novas alternativas educacionais; e a criação de modelos para avaliar a aprendizagem dos alunos tende a crescer no futuro.

Em síntese, no que diz respeito aos recursos educacionais multimídia em realidade aumentada disponíveis para interação, a análise dos dados permitiu verificar que poucas abordagens de realidade aumentada em dispositivos móveis estão acompanhando as constantes evoluções da tecnologia e as novas demandas dos usuários. De fato, entre 60% e 80% dos estudos usam recursos obsoletos, como imagens e textos. Isso demonstra a necessidade de desenvolver novos recursos educacionais que acompanhem os indicadores conhecidos para novas tecnologias em educação e recursos multimídia, tal como o relatório da New Media Consortium (BECKER et al., 2017). Em contraste, também foi observado que existe a necessidade de identificação de padrões mais consistentes e uniformes em termos de métodos para sistematicamente desenvolver e avaliar abordagens de realidade aumentada em dispositivos móveis, com o objetivo de obter dados para se ter uma ideia da dimensão de como ocorrem as aplicações de tais abordagens no âmbito educacional, bem como para a sua melhoria contínua.

2.3.3 Contribuições da Realidade Aumentada no Desenvolvimento Cognitivo

A seção de trabalhos relacionados apresentou uma amostra do estado da arte das pesquisas envolvendo a realidade aumentada, área que esta tese busca contemplar em suas atividades voltadas a educação. Em que diversas pesquisas foram descritas com o intuito de demonstrar a viabilidade pedagógica e fundamentar esta tese, evidenciando investigações realizadas em diferentes áreas, com diferentes abordagens pedagógicas combinadas com tecnologias atuais utilizadas no desenvolvimento cognitivo de estudantes para diferentes graus de escolaridade.

Dentre os apontamentos extraídos durante a análise destas pesquisas, uma das observações mais relevantes consiste na interdisciplinaridade presente no desenvolvimento e na utilização destas soluções educacionais que integram a tecnologia de realidade aumentada para fins pedagógicos, uma vez que as pesquisas contemplaram diversos recursos multimídia, com enfoque direcionado à aprendizagem em diferentes áreas do conhecimento. Ainda com base na análise dos trabalhos relacionados, pode-se verificar que estes aparatos tecnológicos, tais como realidade aumentada e dispositivos móveis, oferecem recursos de grande significância para a promoção do desenvolvimento cognitivo dos seus usuários, ainda mais quando combinados com uma teoria educacional, tal como a aprendizagem situada, que possibilita envolver todas as características destas tecnologias em prol da aprendizagem dos estudantes que as utilizam.

De maneira mais específica, a revisão sistemática da literatura desempenhada para investigar as abordagens educacionais em realidade aumentada para dispositivos móveis, demonstrou uma vasta gama de trabalhos sendo desenvolvidos em diferentes áreas de conhecimento. Assim como, também é possível observar que a projeção ano após ano denota uma crescente utilização em pesquisas científicas desempenhadas tanto no Brasil como internacionalmente, com grandes aparições na Europa e nos Estados Unidos da América. Esta perspectiva sugere que a utilização desta tecnologia possui um potencial educacional, tornando factível o seu aproveitamento nesta tese, pois consiste em um tópico atual de pesquisa e com vasta gama de documentação disponível para consulta.

Da mesma forma, a revisão sistemática da literatura conduzida para evidenciar as aplicações para dispositivos móveis implementadas com recursos de realidade aumentada, possibilitou reforçar as indicações apresentadas no relatório do New Consortium Media (BECKER et al., 2017), o qual aponta a realidade aumentada como uma tecnologia em ascensão, com infinitas possibilidades de utilização. Dentre os usos observados, o aproveitamento em benefício da educação tem demonstrado um forte crescimento nas pesquisas internacionais, perspectiva que justifica o uso desta tecnologia para o desenvolvimento desta tese.

Para a tese descrita ao longo deste texto, propôs-se a combinação da realidade aumentada e dos recursos presentes nos dispositivos móveis, com o objetivo de contribuir no desenvolvimento cognitivo dos estudantes através da materialização dos fenômenos que ocorrem na natureza, por meio dos recursos multimídia, tais como objetos 3D, imagens e vídeos, simulações e animações, que possam representar de maneira fidedigna os fenômenos

que na perspectiva real são impossíveis de serem visualizados pelos estudantes ou que apenas são visíveis através da utilização de equipamentos ópticos e de ampliação.

O emprego de recursos multimídia para o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem de estudantes é tema recorrente quando o assunto se trata do uso de tecnologias na educação. Denominada por Mayer (2005) como a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (do inglês Cognitive Theory of Multimedia Learning - CTML), o autor defende que as pessoas podem aprender de maneira mais profunda quando palavras e imagens lhes são apresentadas, ao invés da apresentação apenas de imagens isoladas, configurando-se em uma aprendizagem multimídia, a qual habilita a criação de representações mentais de palavras e imagens (MAYER, 2005).

Em se tratando da aprendizagem multimídia em realidade aumentada, Sommerauer e Müller (2014) afirmam que quando projetada e aplicada de maneira correta, a realidade aumentada incorpora inerentemente um subconjunto dos princípios de projeto formulados na aprendizagem multimídia, pois segundo os autores, a realidade aumentada engloba o princípio de multimídia (e.g., integrando vídeos em um livro de texto ou aumentando objetos físicos com informações virtuais), o princípio da contiguidade espacial e temporal (e.g., sobrepondo o conteúdo virtual em objetos físicos em tempo real e alinhando espacialmente e temporariamente informações físicas e virtuais), o princípio da modalidade (e.g., reproduzindo áudios ao invés de exibir textos impressos) e o princípio da sinalização (e.g., pode implementar a sinalização direcionando e guiando pessoas através de ambientes de aprendizagem usando informações de localização geográfica e gatilhos visuais).

No contexto desta tese, para alcançar tal objetivo e tornar possível contribuir no desenvolvimento cognitivo destes estudantes, serão utilizados os princípios da aprendizagem multimídia anteriormente mencionados, juntamente a teoria de aprendizagem situada, a fim de possibilitar a demonstração de tais recursos multimídia de maneira contextualizada com as circunstâncias em que se encontram os estudantes. De acordo com Yusoff et al. (2010), as simulações e a realidade virtual e aumentada fornecem a base para uma aprendizagem situada, modelando aspectos específicos de sistemas complexos do mundo real, permitindo que os estudantes experimentem e interajam com as simulações, manipulando os parâmetros ou participando dentro da simulação e observando os resultados, além de possibilitar a promoção de interações sociais entre os participantes, por meio dos recursos multimídia, tais como objetos 3D, imagens e vídeos, simulações e animações, que possam representar de maneira fidedigna os fenômenos que na perspectiva real são impossíveis de serem visualizados pelos

estudantes ou que apenas são visíveis através da utilização de equipamentos ópticos e de ampliação.

Para possibilitar a interação dos estudantes com os conteúdos, foram construídos laboratórios virtuais em realidade aumentada, constituídos de cenários e objetos tridimensionais capazes de proporcionar aos estudantes a interação com recursos multimídia e simulações sobre o conteúdo educacional de Física. Os laboratórios virtuais foram desenvolvidos para dispositivos móveis, os quais podem ser acessados através do aplicativo avatAR UFRGS com recursos de realidade aumentada, capaz de oportunizar diferentes formas de interação aos estudantes, através da apresentação dos materiais educacionais aumentados em escala, além de também integrar os benefícios dos dispositivos móveis, tais como mobilidade e conectividade, possibilitando aos estudantes realizarem o acesso aos conteúdos educacionais de diferentes lugares e no momento em que entenderem ser mais apropriado.

Por meio dos recursos educacionais aumentados implementados para a área de Física, as contribuições que esta tese almeja consistem em oportunizar novas formas de visualização e interação dos estudantes com os conteúdos educacionais de Física, com a finalidade de contribuir tanto na aprendizagem como também na habilidade de visualização espacial dos estudantes. Com base nas pesquisas discutidas nas seções anteriores, entende-se que esta tese, ao oportunizar a visualização e interação do estudante com os conteúdos de Física e simulações fidedignas, tornará possível o estabelecimento de um vínculo benéfico do conhecimento exposto em sala de aula pelo professor com os conteúdos abordados no aplicativo de realidade aumentada, de modo significativa a ponto de promover / instigar a habilidade de visualização espacial dos estudantes, através da demonstração de conteúdos e fenômenos de difícil visualização ou até mesmo impossíveis de serem visualizados no mundo real.

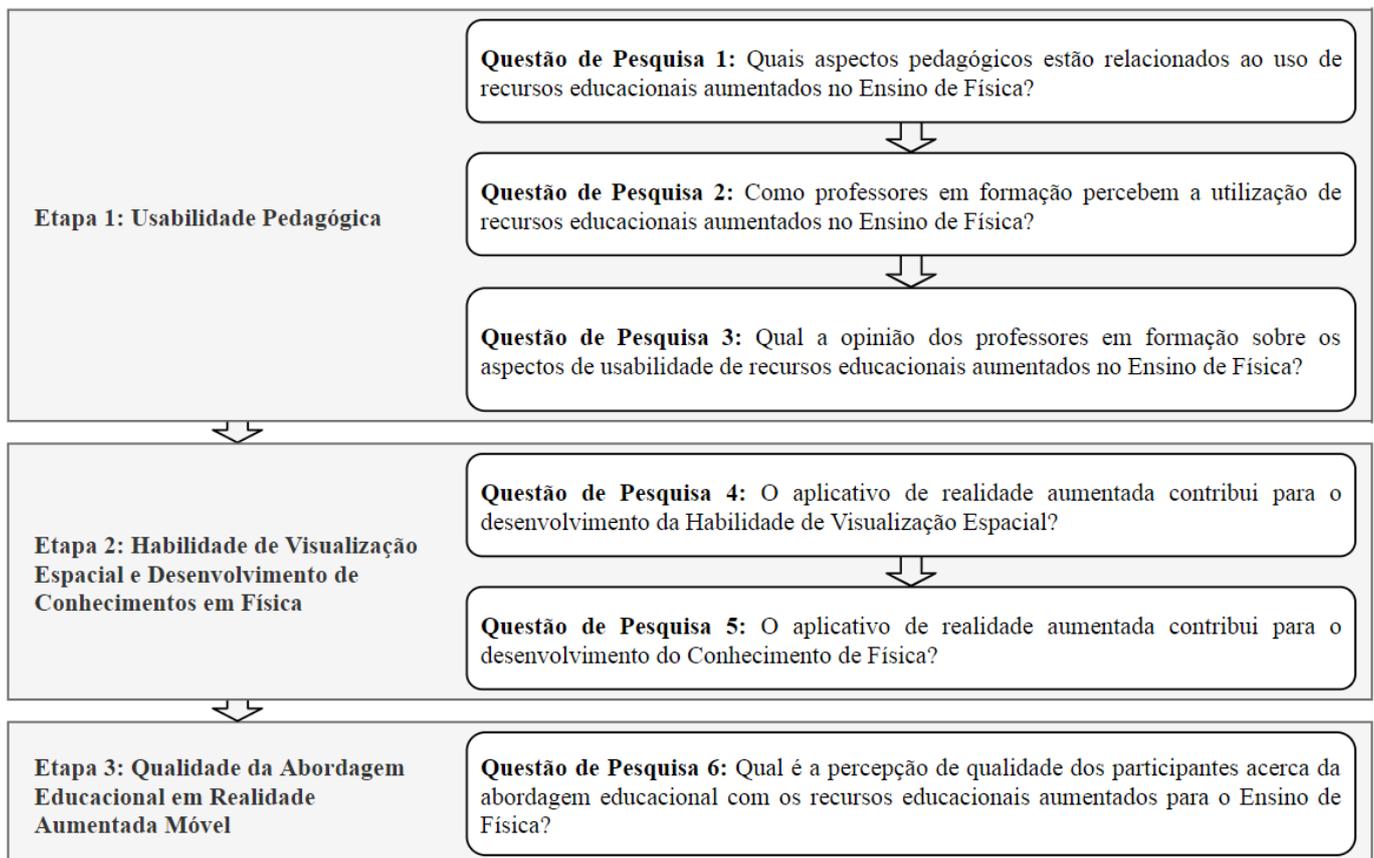
Portanto, tais asserções apresentam de forma detalhada os pontos em comum e motivadores que levaram a desenhar o cenário de pesquisa desta tese, assim como exalta as diferenças consideradas inovadoras e que podem trazer contribuições para o meio acadêmico. A articulação conjunta desta abordagem educacional aumentada em dispositivos móveis para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial e a descoberta de evidências que comprovam estatisticamente o que está sendo proposto nesta tese, podem ser consideradas inovadoras no meio acadêmico e sem a existência, até o presente momento, de uma iniciativa

similar. Desta forma, a próxima seção detalha os procedimentos metodológicos elaborados para o desenvolvimento desta tese.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os métodos de pesquisa adotados para a condução das investigações realizadas para esta tese são representados tanto pelas abordagens qualitativa e quantitativa, através das quais, busca-se realizar análises descritivas dos resultados encontrados com fundamentação em análises estatísticas. Para alcançar o objetivo desta tese, foram conduzidas três etapas, as quais, entende-se que são capazes de responder as suas questões de pesquisas (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Etapas e Questões de Pesquisa analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada uma das etapas demonstradas acima (Figura 3.1), apresentam investigações científicas distintas, as quais possuem procedimentos metodológicos próprios e inerentes as suas especificidades, o que motivou a segmentação em subseções para cada etapa, a fim de melhor descrever suas idiossincrasias. As próximas seções esclarecem os métodos e ferramentas utilizadas para a condução de cada investigação.

3.1 Aplicativo de Realidade Aumentada - avatAR UFRGS

O aplicativo de realidade aumentada utilizado durante os testes desta tese é intitulado de avatAR UFRGS e se trata de um módulo para dispositivos móveis do Projeto AVATAR (Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto) (2019). Este aplicativo foi projetado pelo autor desta tese, coordenado por sua orientadora e desenvolvido em conjunto com os demais membros do Projeto AVATAR durante os anos de 2017 e 2018.

O aplicativo avatAR UFRGS é uma tecnologia educacional que proporciona aos usuários o acesso a simulações educacionais desenvolvidas em realidade aumentada, com o objetivo de implementar formas de oportunizar a aprendizagem de Física ao usuário, por meio de recursos que enfatizam a interação com diferentes materiais pedagógicos. Ao acessar o aplicativo, os usuários têm acesso a diversos recursos educacionais, onde podem visualizar fenômenos físicos micro e macroscópicos, por vezes invisíveis a sua percepção, e interagir com diversos recursos multimídia, e.g. imagens, vídeos, objetos 3D e simulações. Para o desenvolvimento do aplicativo, realizaram-se as seguintes etapas:

Na primeira etapa foram analisadas e comparadas as ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis com recursos de realidade aumentada. Através desta pesquisa, foi possível verificar o potencial da combinação entre a plataforma de desenvolvimento Unity 3D (2019) e o *framework* de realidade aumentada Vuforia (2019), em virtude de ambas atenderem aos requisitos elencados para o desenvolvimento do aplicativo, além de possibilitar a portabilidade e o rastreamento de inúmeros tipos de alvos, disponibilizando uma ampla gama de recursos multimídia para a construção de aplicações de realidade aumentada para educação. Os resultados desta análise comparativa podem ser encontrados em Herpich, Guarese e Tarouco (2017).

Portanto, para o desenvolvimento do aplicativo avatAR UFRGS foi utilizada a plataforma Unity 3D, que permitiu a construção de simulações com objetos 3D e comportamentos associados a esses objetos, via *scripts*. Já em relação aos recursos de realidade aumentada, foi utilizada a plataforma Vuforia, que fornece o rastreamento de texto, imagens planas, objetos 3D, múltiplos alvos, geolocalização, sem marcadores, efetuando o reconhecimento tanto *online* como *offline*, os quais podem ser registrados diretamente na plataforma *online* da Vuforia e baixados para serem utilizados na plataforma Unity 3D.

Na segunda etapa, foi realizado um levantamento dos recursos de realidade aumentada aplicados na educação, no formato de revisão sistemática da literatura, com vistas a evidenciar o estado da arte sobre as tecnologias de realidade aumentada na aprendizagem móvel e os

seus principais recursos educacionais. Os resultados evidenciaram quais são as áreas em que as abordagens educacionais aumentadas para dispositivos móveis estão sendo implementadas, quais são as ferramentas utilizadas para o seu desenvolvimento e como estão sendo avaliadas no contexto educacional, resultados que podem ser encontrados detalhadamente em Herpich et al. (2019a).

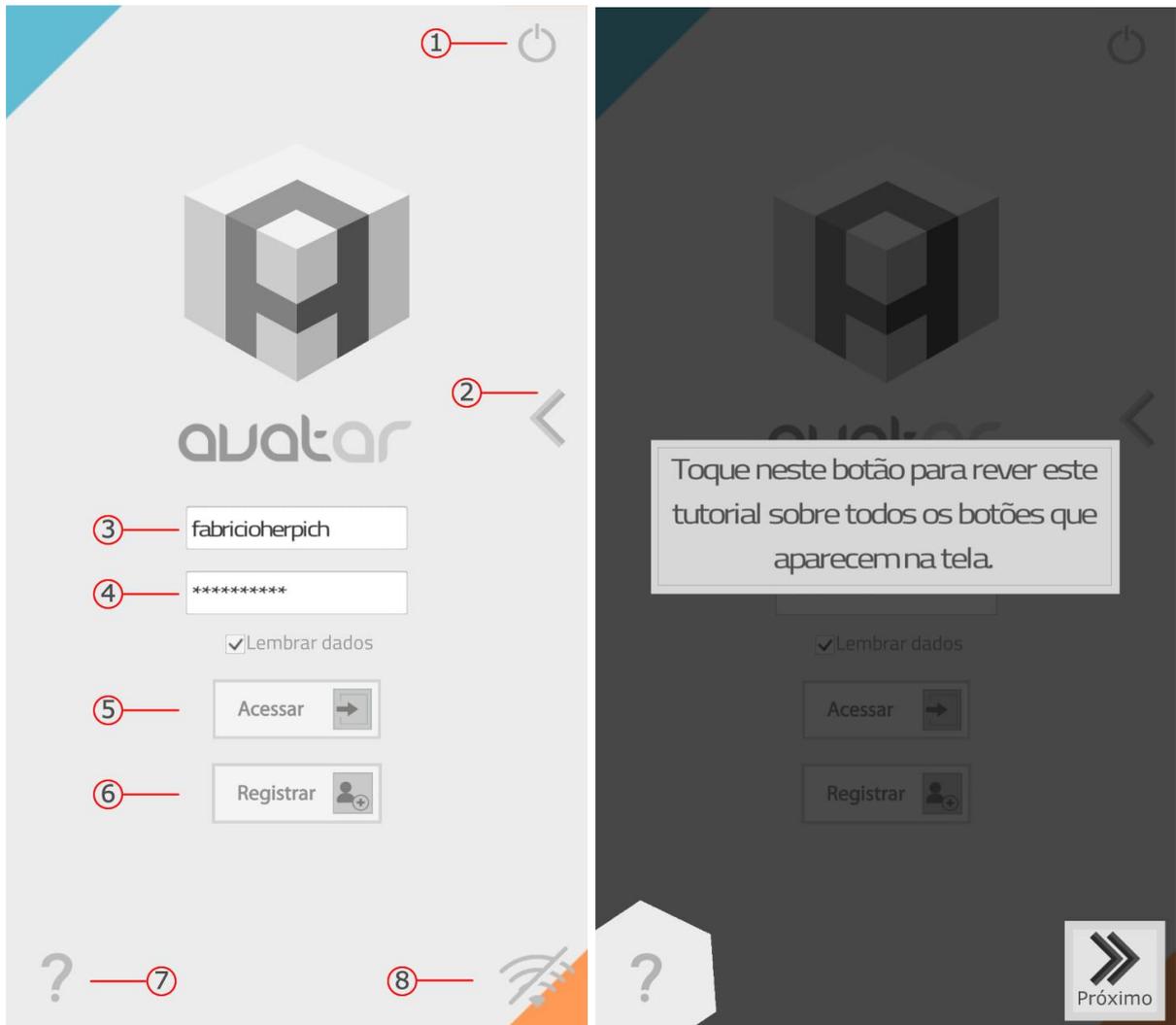
Durante a terceira etapa de desenvolvimento, foram elencados os requisitos do aplicativo, os recursos educacionais a serem desenvolvidos e as formas de interação que seriam permitidas aos usuários. Após a prototipagem de versões preliminares, chegou-se a versão utilizada durante os testes desta tese, que foi publicada e disponibilizada gratuitamente para os sistemas operacionais Android¹ e iOS², em suas respectivas lojas virtuais. Para demonstrar suas funcionalidades, a seguir são elencados alguns recursos do aplicativo, conforme também demonstrado na Figura 3.2 (a mesma figura demonstra como os recursos são apresentados aos usuários através de um tutorial interativo):

1. Permite ao usuário encerrar o aplicativo e a sua navegação.
2. Permite ao usuário visualizar as informações sobre o Projeto AVATAR.
3. Permite ao usuário informar a sua credencial de acesso.
4. Permite ao usuário informar a sua senha de acesso.
5. Permite ao usuário realizar o acesso à área reservada.
6. Permite ao usuário registrar uma nova conta no aplicativo.
7. Permite ao usuário acompanhar o tutorial interativo sobre o aplicativo.
8. Permite ao usuário realizar acesso às simulações *offline*.

¹ Google Play: [<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.UFRGS.avatARUFRGS>]

² Apple Store: [<https://itunes.apple.com/br/app/avatar-ufrgs/id1432752942?mt=8>]

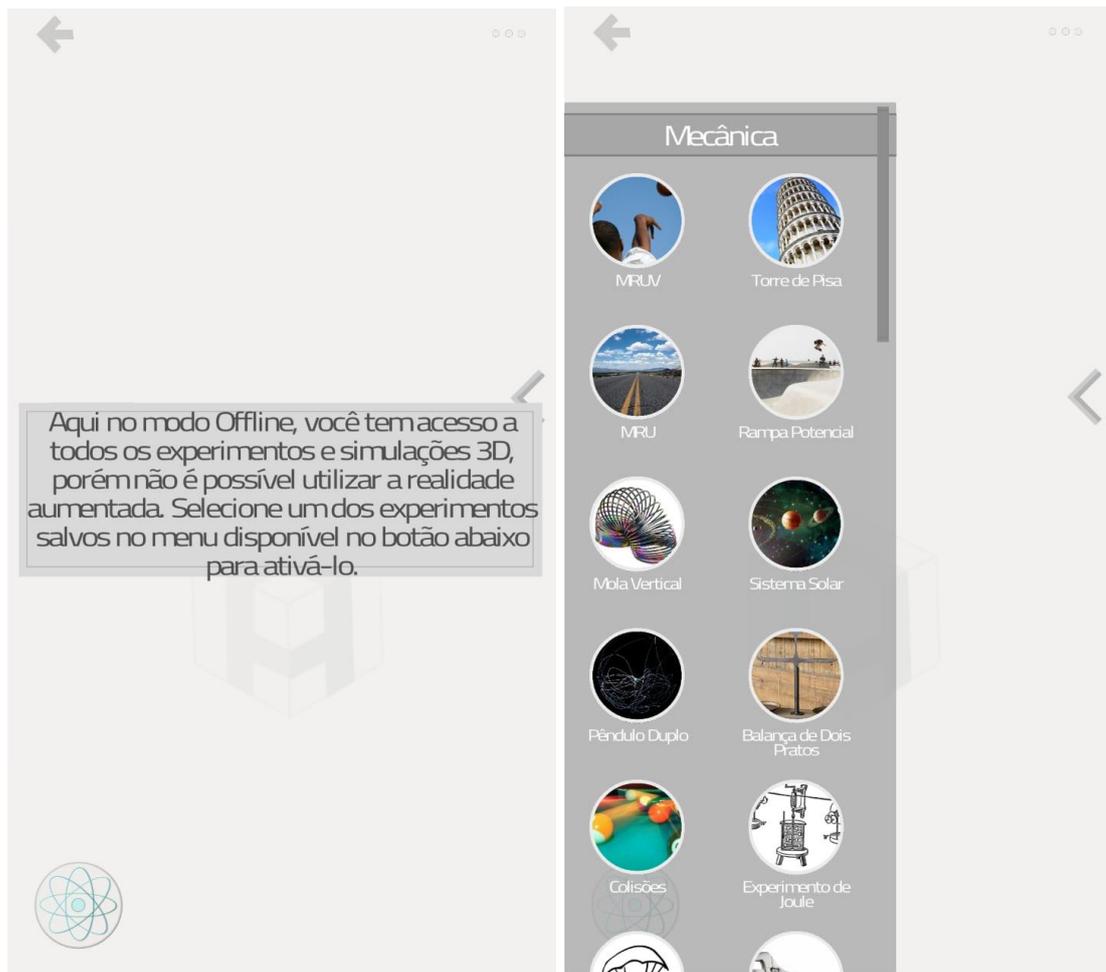
Figura 3.2 – Demonstração da tela inicial do aplicativo e seus recursos



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

A versão do aplicativo utilizada para os testes desta pesquisa tem à disposição três distintos cenários para a interação do usuário, os quais são citadas a seguir. A primeira consiste no modo *offline* (Figura 3.3) que permite ao usuário interagir com as simulações sem a necessidade de conexão à Internet. Esta modalidade de utilização é implementada através da visualização do conteúdo na tela do aplicativo sem interação com a câmera. Desse modo, são oferecidos ao usuário os mesmos elementos virtuais dos outros cenários, porém exigindo menor performance por parte do dispositivo móvel, o que expande a acessibilidade do aplicativo num aspecto econômico-social.

Figura 3.3 – Modo offline do aplicativo avatAR UFRGS



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

O segundo cenário de interação consiste no modo de interação “Aumentado”, no qual o usuário utiliza marcadores, cada um correspondente a um experimento, para visualizar e interagir com os recursos de realidade aumentada em seu dispositivo móvel. Para tal, basta apontar a câmera do dispositivo móvel para um marcador e verificar os respectivos objetos educacionais que lhe são apresentados. Esta funcionalidade pode ser utilizada em sala de aula visto que oportuniza ao professor, que terá controle sobre quais marcadores estarão disponíveis para os alunos, maior facilidade na gerência dos conteúdos disponíveis ao longo do período letivo. Cada experimento conta com diferentes níveis de uma mesma simulação, em uma perspectiva gradual do conhecimento, permitindo que o aluno visualize e interaja com os recursos e as diferentes entidades abstratas relacionadas ao fenômeno físico em questão (Figura 3.4).

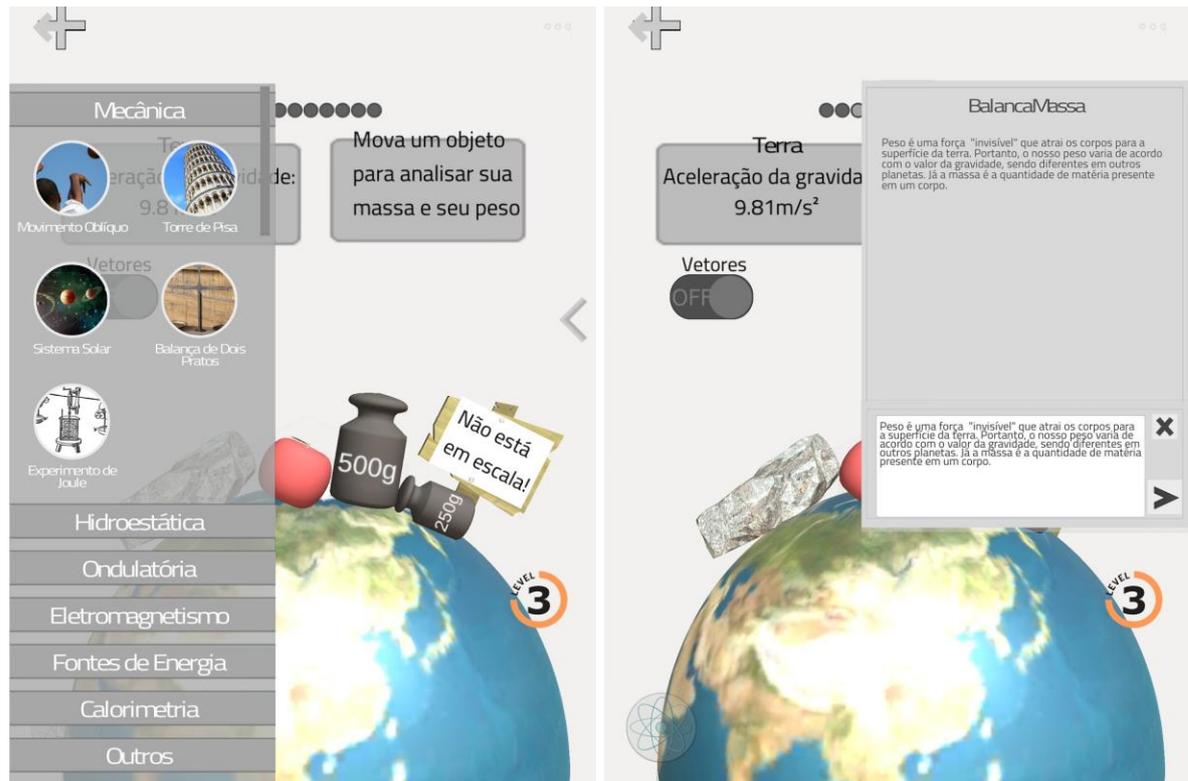
Figura 3.4 – Recursos de realidade aumentada do aplicativo avatAR UFRGS



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Já a terceiro cenário de interação, denominada “Inventário”, configura-se na interação do usuário com os recursos do aplicativo em um contexto cuja execução apresenta menores limitações por não ser necessário o uso de marcadores. Em vez disso, é permitido o acesso aos objetos educacionais em qualquer lugar e a qualquer momento. No “Inventário” ficam registradas os experimentos com que o usuário interagiu no modo “Aumentado”, com a finalidade de manter registrado os conteúdos já visitados e possibilitar que o usuário realize suas anotações no próprio experimento, para eventuais consultas futuras (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Inventário do usuário e anotações sobre o experimento



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

O potencial pedagógico do aplicativo avatAR UFRGS consiste nos recursos educacionais aumentados disponíveis para a interação do usuário, tais como simulações com que o usuário pode interagir (são mais de 50 simulações, sobre os mais variados conteúdos), interação com diferentes recursos multimídia (e.g. objetos 3D, simulações, vídeos, imagens, e informações contextualizadas), armazenamento dos experimentos no inventário do usuário, além da possibilidade de acesso aos experimentos sem a necessidade de se conectar à Internet.

Outra característica do aplicativo avatAR UFRGS consiste na baixa granularidade das informações, oferecendo assim, maior nível de detalhamento ao usuário, como pode ser visto na Figura 3.6, o conteúdo é apresentado em etapas e o usuário pode interagir com o botão de “Nível” para explorar cada conteúdo, suas simulações e respectivas etapas. Esse recurso foi desenvolvido com o objetivo de fragmentar a quantidade de informações apresentadas em tela de uma vez só, a fim de respeitar o conhecimento de prévio de cada usuário (sempre apresentando na primeira tela o conhecimento mais básico, prosseguindo em direção ao avançado). Essa forma progressiva de disponibilidade das informações na tela ocorre em conjunto com o crescente número de outras mídias, concomitantemente ao tempo proporcional necessário para a construção do conhecimento.

Figura 3.6 – Experimento exibido no aplicativo avatAR UFRGS e níveis de interação



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

O aplicativo também oferece ao usuário o acesso a notas explicativas sobre determinada simulação, esclarecendo os princípios Físicos inerentes ao recurso educacional apresentado em tela. Outra opção disponível consiste na possibilidade de compartilhar em mídias sociais o que o usuário está visualizando no aplicativo, salvar o objeto como favorito, reposicioná-lo em sua localização, disposição e tamanho originais, assistir a vídeos, ler e ouvir clipes de áudio sobre o experimento em questão. O usuário também pode realizar transformações geométricas para os recursos pedagógicos, como aumentar ou diminuir seu tamanho (escala), movimentando-os (translação) e girando-os em seu eixo (rotação), de modo a percebê-los em todos os ângulos e tamanhos possíveis. Existe, ainda, a funcionalidade de “congelar objeto”, que permite ao usuário fixar o recurso educacional à tela do dispositivo móvel, possibilitando reposicionar o recurso no espaço e, ao “descongelar” o recurso novamente, redefinindo sua posição para o novo ponto no espaço, desafixando-o de sua relação para com a tela com dispositivo móvel. Essa opção também oferece ao usuário uma

nova forma de construir e visualizar as transformações espaciais, incluindo rotações, escalas e translações dos recursos educacionais aumentados.

3.2 Etapa 1 - Avaliação da Usabilidade Pedagógica do Aplicativo avatAR UFRGS

A fim de investigar como a usabilidade pedagógica de recursos educacionais em realidade aumentada é vista por professores especialistas no Ensino de Ciências, uma experiência com o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS foi realizada e os recursos educacionais aumentados avaliados. Para tanto, foram realizados experimentos utilizando recursos educacionais aumentados para o Ensino de Ciências e aplicados módulos de um questionário de avaliação de usabilidade pedagógica para inferir os resultados provenientes deste experimento, com vistas a responder as seguintes questões de pesquisa:

- **Questão de Pesquisa 1:** Quais aspectos pedagógicos estão relacionados ao uso de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?
- **Questão de Pesquisa 2:** Como professores em formação percebem a utilização de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?
- **Questão de Pesquisa 3:** Qual a opinião dos professores em formação sobre os aspectos de usabilidade de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?

Para tanto, o *design* de pesquisa foi definido como não-experimental, em que os professores utilizaram o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS em um primeiro momento e, em um segundo momento, um questionário foi respondido pelos participantes da pesquisa para a coleta dos dados, tornando possível a avaliação da qualidade de *software* educacional para Ensino de Ciências com base nas percepções dos professores em formação. O *design* de pesquisa não-experimental foi selecionado, pois, conforme define Petri (2018), trata-se de uma alternativa mais viável na prática, por tipicamente considerar apenas o uso de um pós-teste para a avaliação da percepção dos usuários.

Os participantes colaboraram em dois encontros presenciais realizados em um laboratório de informática da instituição de ensino (descritos na Seção 3.2.1), durante o segundo semestre de 2018. Cada encontro durou uma hora e quarenta e cinco minutos. No primeiro encontro, os participantes foram apresentados ao Projeto AVATAR e ao aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS. Após a apresentação, o pesquisador auxiliou os participantes a instalar o aplicativo avatAR UFRGS em seus dispositivos móveis.

O segundo encontro foi caracterizado pela utilização do aplicativo avatAR UFRGS. O pesquisador auxiliou os participantes a entender como utilizar e interagir com as simulações de Ciências, manipular e configurar as variáveis para interagir com as simulações de realidade aumentada. Ao final do segundo encontro, após os participantes terem interagido com os recursos educacionais aumentados, foi aplicado um questionário de análise da experiência do usuário a fim de avaliar a usabilidade pedagógica da abordagem com o aplicativo avatAR UFRGS envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados.

3.2.1 Descrição demográfica da população

Os participantes dessa pesquisa são professores em formação no curso de Licenciatura em Ciências da Natureza ofertado em um Instituto Federal, na disciplina de Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Ciências da Natureza (40 horas/aula). Apesar do curso estar situado no âmbito de Ciências da Natureza, esta disciplina tem como objetivo apresentar aos professores em formação como a tecnologia que pode ser utilizada na prática docente no contexto em que estão inseridos, sendo, portanto, considerada apropriada para que o experimento desta pesquisa fosse realizado.

Participaram desta pesquisa dezenove professores em formação, sendo que o perfil demográfico dos participantes era: 14 do sexo feminino (9 na faixa etária até 29 anos e 5 na faixa etária entre 30 e 50 anos) e 5 do sexo masculino (todos na faixa etária até 29 anos). Todos os participantes informaram possuir *smartphone* e/ou *tablet* para instalar o aplicativo avatAR UFRGS, bem como acesso à Internet. Conforme mencionado anteriormente, esta disciplina apresenta aos professores em formação novas possibilidades de uso para as tecnologias de informação e comunicação em sua prática docente. Entretanto, cabe ressaltar que os participantes ainda não haviam tido contato com recursos tecnológicos de realidade aumentada ou com o aplicativo utilizado durante o experimento.

3.2.2 Instrumento de Análise de Coleta de Dados

Ao final do segundo encontro, os participantes responderam a um questionário relacionado à sua experiência em utilizar o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS, considerando que nenhum deles havia utilizado esse tipo de tecnologia antes. As opções de resposta foram colocadas de acordo com o modelo proposto na escala de Likert

(1932), definida da seguinte forma: Discordo totalmente; Discordo parcialmente; Indiferente; Concordo parcialmente; e, Concordo totalmente.

O questionário compreendeu trinta perguntas de múltipla escolha (cada pergunta forneceu uma pergunta aberta opcional ao participante escrever uma justificativa para sua resposta) para reunir informações acerca da sua opinião sobre o uso do aplicativo de realidade aumentada, dificuldades e vantagens identificadas durante a interação com os recursos educacionais aumentados.

O instrumento de coleta de dados utilizado foi o PECTUS (Pedagogia, Ensino de ciências, Tecnologia e Usabilidade) que consiste em um modelo de avaliação de qualidade de *software* educacional para Ensino de Ciências composto por quatro dimensões de avaliação: Pedagogia, Ensino de Ciências, Tecnologia e Usabilidade (REZENDE, 2013). Para a avaliação da usabilidade pedagógica do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS foram utilizadas apenas três dimensões: Pedagogia, Ensino de Ciências e Usabilidade. Por fim, foi realizada uma análise qualitativa dos resultados com base na estatística descritiva dos resultados obtidos através do instrumento de coleta PECTUS, os quais serão apresentados na seção 4.1.

3.3 Etapa 2 - Avaliação da Visualização Espacial e do Conhecimento em Física

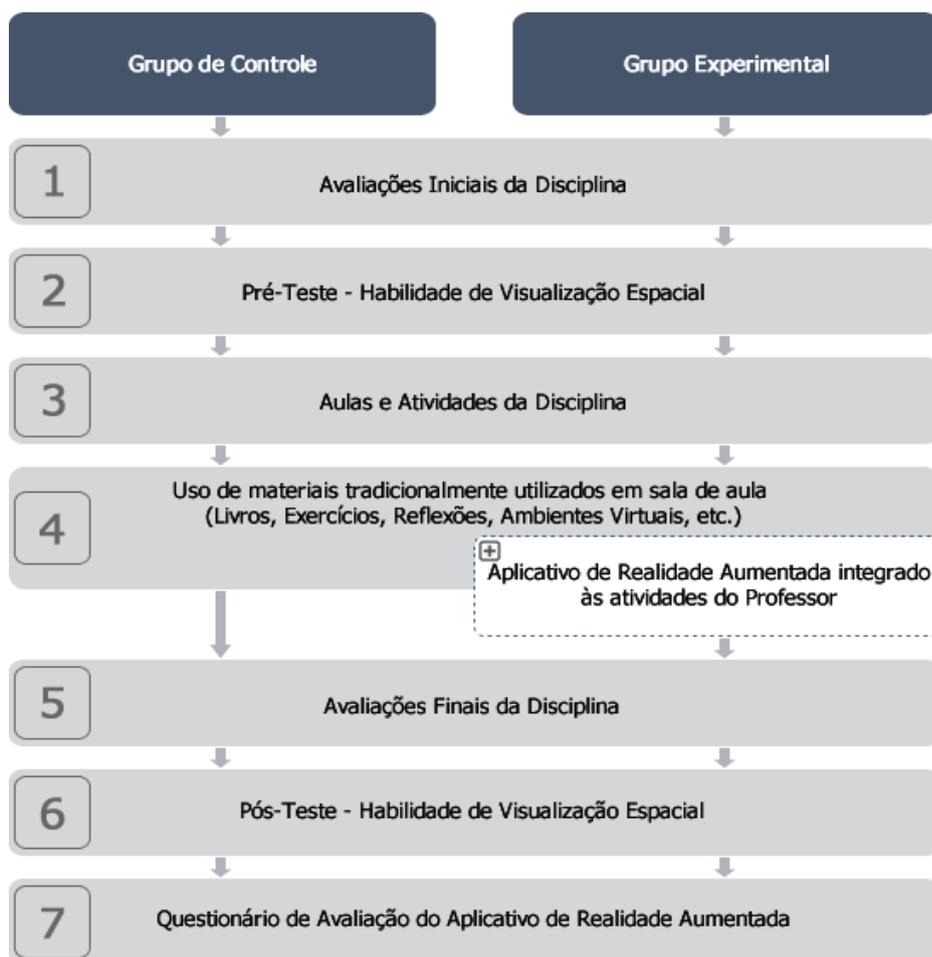
Na expectativa de alcançar o objetivo definido para esta tese, o *design* de pesquisa praticado neste objetivo específico foi o *quasi-experimental* (PETRI, 2018), por disponibilizar métodos investigativos que melhor se enquadram aos testes planejados com os participantes desta pesquisa e com as amostras de dados coletados, assim como por proporcionar técnicas capazes de contribuir no desempenho desta investigação, no que tange responder às seguintes questões de pesquisa:

- **Questão de Pesquisa 4:** O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial?
- **Questão de Pesquisa 5:** O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento do conhecimento de Física?

Para responder às questões de pesquisa elencadas acima, elaborou-se juntamente aos professores o Protocolo de Testes (Figura 3.7), para contrastar as atividades a serem desempenhadas pelos participantes. É possível observar que os participantes foram distribuídos em dois Grupos, denominados como Grupo Controle e Grupo Experimental, e suas atividades foram descritas nas seguintes etapas: 1) Avaliação inicial sobre o conteúdo da

disciplina, para identificar o nível de conhecimento de cada grupo; 2) Pré-teste da habilidade de visualização espacial, com a intenção de verificar o grau de habilidade de visualização espacial de cada grupo; 3) A representação das aulas, atividades e conteúdos inerentes a sala de aula, da mesma forma para ambos os Grupos; 4) Uso de materiais tradicionalmente empregados no processo de ensino e aprendizagem da escola, tais como livros e exercícios, para ambos os Grupos, sendo que adicionalmente, o Grupo Experimental também faz o uso do aplicativo de realidade aumentada; 5) Avaliação final sobre o conteúdo da disciplina, com o objetivo de identificar se houve avanço no nível de conhecimento de cada grupo; 6) Pós-teste da habilidade de visualização espacial, a fim de verificar se algum grupo melhorou o seu desempenho no grau de habilidade de visualização espacial em relação ao pré-teste; por fim, 7) Questionário de avaliação do aplicativo de realidade aumentada.

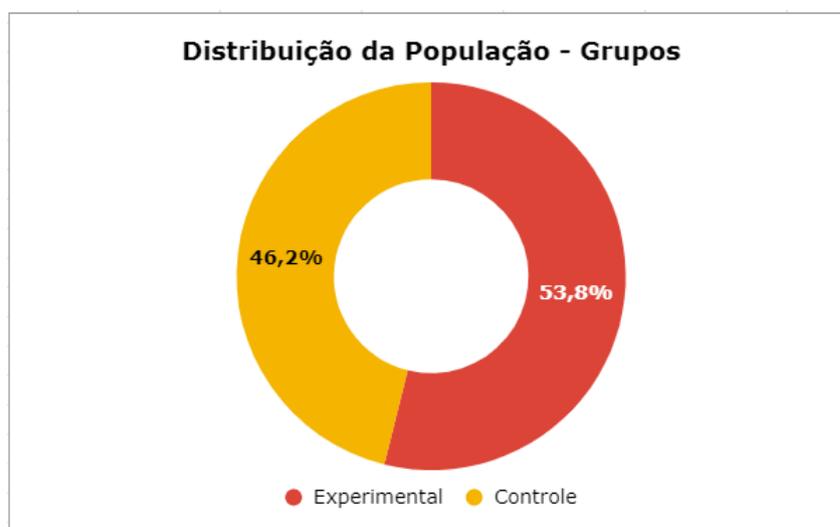
Figura 3.7 – Protocolo de Testes de Visualização Espacial e Conhecimento em Física



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito aos participantes que compõem o Grupo Controle e o Grupo Experimental, a Figura 3.8 demonstra a distribuição da população que participou das atividades organizadas no protocolo de testes. Portanto, o critério para a distribuição da população anteriormente mencionada, se deu da seguinte forma: no Grupo Experimental foram designados aqueles participantes que interagiram com o aplicativo de realidade aumentada (53,8% dos participantes, perfazendo o total de 112 sujeitos), já os participantes que não interagiram com o aplicativo foram considerados pertencentes ao Grupo Controle (46,2% dos participantes, perfazendo o total de 96 sujeitos).

Figura 3.8 – Distribuição da População - Grupos



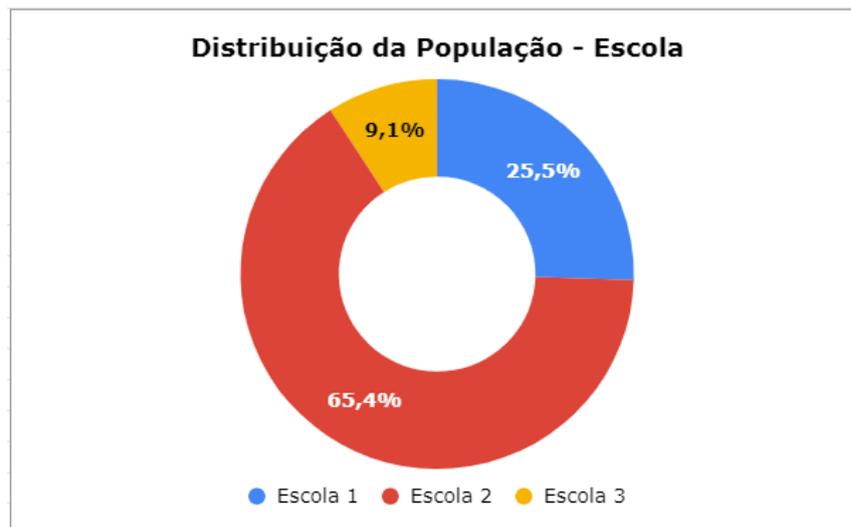
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tempo de duração do ciclo de atividades descritas no Protocolo de Testes (Figura 3.7), a média de interação dos participantes de cada escola com o aplicativo de realidade aumentada foi de 95 dias. Diversos encontros foram realizados entre o pesquisador responsável por esta pesquisa e as turmas das escolas que participaram da atividade envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada, que tinham como objetivo promover uma assistência individualizada do pesquisador a cada turma, durante 45 minutos e com periodicidade quinzenal, auxiliando os participantes em questões envolvendo o uso do aplicativo, acesso aos seus recursos e funcionalidades, apresentando novas simulações e sanando eventuais dúvidas acerca da interação com os recursos educacionais aumentados. O professor responsável pela disciplina acompanhou todos os encontros realizados entre o pesquisador e as turmas, atuando como mediador e auxiliando na resolução das dúvidas que surgiam sobre o conteúdo específico da disciplina.

3.3.1 Descrição demográfica da população

Os dados demográficos correspondem a descrição de 208 sujeitos que participaram desta pesquisa, oriundos de três diferentes escolas brasileiras, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul e de esferas administrativas distintas, as quais são denominadas ao longo desta tese como Escola 1 (Estadual), Escola 2 (Privada), e Escola 3 (Federal). A Figura 3.9 apresenta a distribuição dos participantes para cada escola que participou dos testes envolvendo o aplicativo de realidade aumentada, sendo que 25,5% dos sujeitos são da Escola 1 (53 participantes), 65,4% da Escola 2 (136 participantes), e, por fim, 9,1% da Escola 3 (19 participantes).

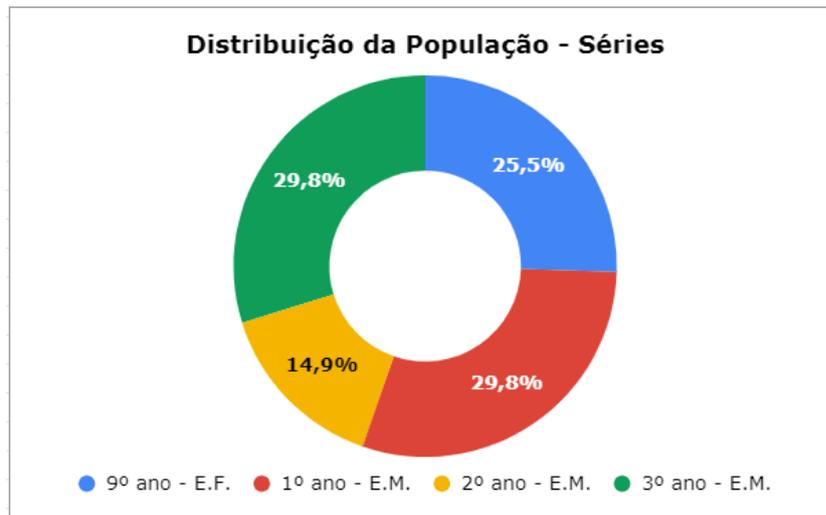
Figura 3.9 – Distribuição da População - Escolas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sujeitos estão distribuídos em diferentes níveis existentes na estrutura da educação básica atual, na Escola 1 os participantes estão divididos em duas turmas do 9º ano do Ensino Fundamental (E.F.) (turmas A e B). Os sujeitos da Escola 2 estão distribuídos em cinco turmas de Ensino Médio (E.M.), sendo duas turmas do 1º ano (turmas 101 e 102), uma turma do 2º ano (turma 201), e outras duas turmas do 3º ano do Ensino Médio (turmas 301 e 302). Já na Escola 3, os participantes pertencem a uma turma do 3º ano do Ensino Médio (turma 303). A Figura 3.10 demonstra a distribuição dos participantes em séries da estrutura da educação básica atual, sendo que 25,5% dos participantes pertencem ao 9º ano do E.F., 29,8% são do 1º ano do E.M., 14,9% são do 2º ano do E.M., e 29,8% são do 3º ano do E.M.

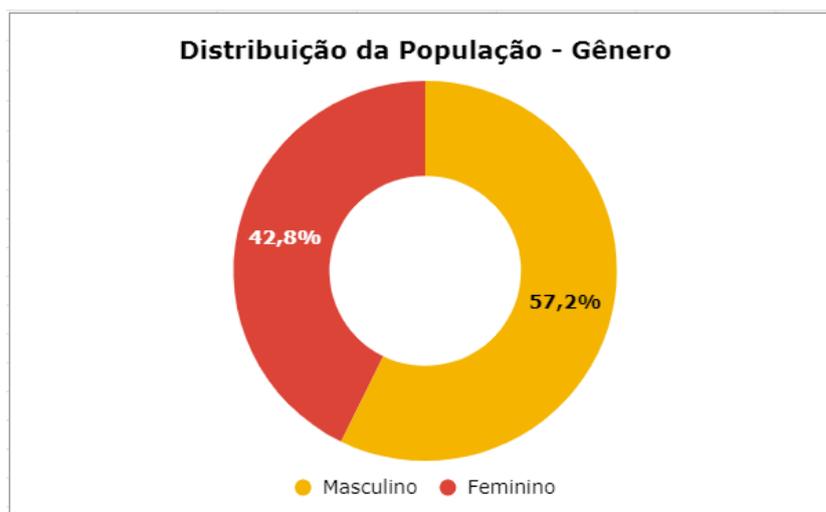
Figura 3.10 – Distribuição da População - Séries



Fonte: Elaborado pelo autor.

A respeito da distribuição de gêneros entre os 208 participantes desta pesquisa, 57,2% dos participantes correspondem ao gênero masculino (totalizando 119 participantes) e 42,8% correspondem ao gênero feminino (totalizando 89 participantes) (Figura 3.11). De modo mais específico, 56% dos participantes pertencem ao Grupo Experimental (52 participantes do gênero feminino e 60 participantes do gênero masculino) e 44% ao Grupo Controle (37 do gênero feminino e 59 participantes do gênero masculino).

Figura 3.11 – Distribuição da População - Gêneros

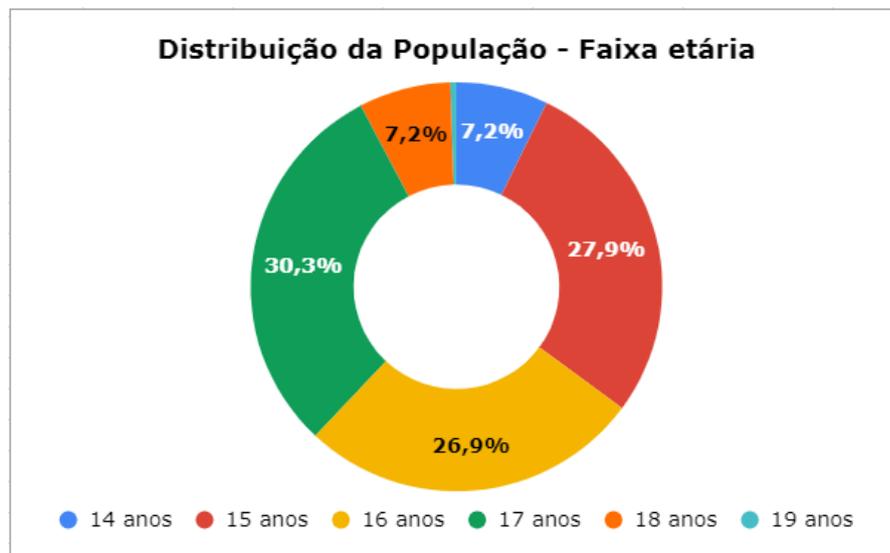


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em se tratando da faixa etária da população (Figura 3.12), os dados demográficos demonstram que 7,2% pertencem à faixa etária de 14 anos (perfazendo o total de 15

participantes), 27,9% compreendem a faixa etária de 15 anos (58 participantes), 26,9% correspondem a faixa etária de 16 anos (56 participantes), 30,3% estão na faixa etária de 17 anos (63 participantes), 7,2% pertencem à faixa etária de 18 anos (15 participantes), e, por fim, 0,5% corresponde a faixa etária de 19 anos (1 participante).

Figura 3.12 – Distribuição da População – Faixa Etária



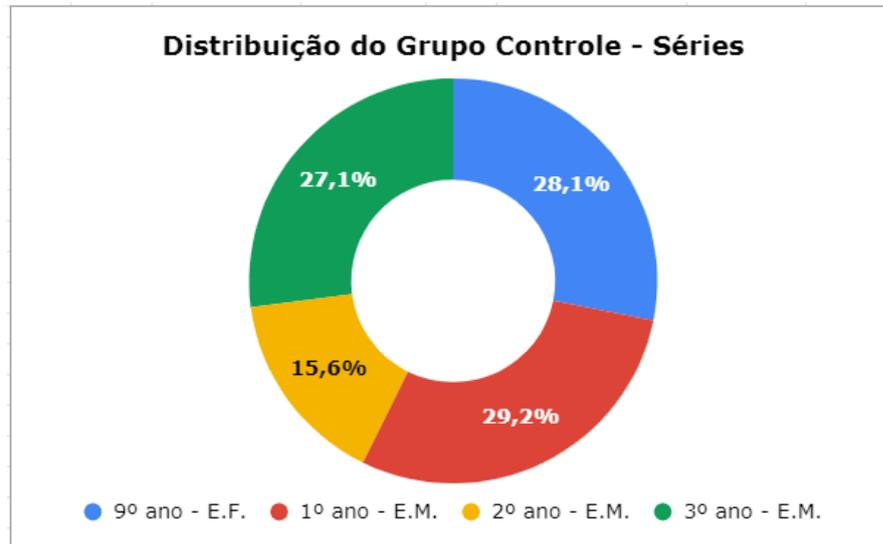
Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações apresentadas acima correspondem à descrição demográfica da população desta tese, que compreende ao total de 208 participantes. Nas próximas seções, serão apresentadas a caracterização do Grupo Controle e do Grupo Experimental, a fim de fornecer maior detalhamento acerca das especificidades de cada grupo, para assim contribuir na interpretação dos resultados encontrados com o uso do aplicativo de realidade aumentada e seus recursos educacionais aumentados.

3.3.1.1 Caracterização do Grupo Controle

A respeito dos dados demográficos do Grupo Controle, 61% dos sujeitos informaram ser do gênero masculino (representando 59 participantes) e 39% do gênero feminino (37 participantes). Dentre os 96 participantes do Grupo Controle, 28,1% pertencem ao 9º ano E.F. (27 participantes), 29,2% ao 1º ano E.M. (28 participantes), 15,6% ao 2º ano E.M. (15 participantes), e 27,1% ao 3º ano E.M. (26 participantes) (Figura 3.13).

Figura 3.13 – Distribuição dos Participantes do Grupo Controle por Série

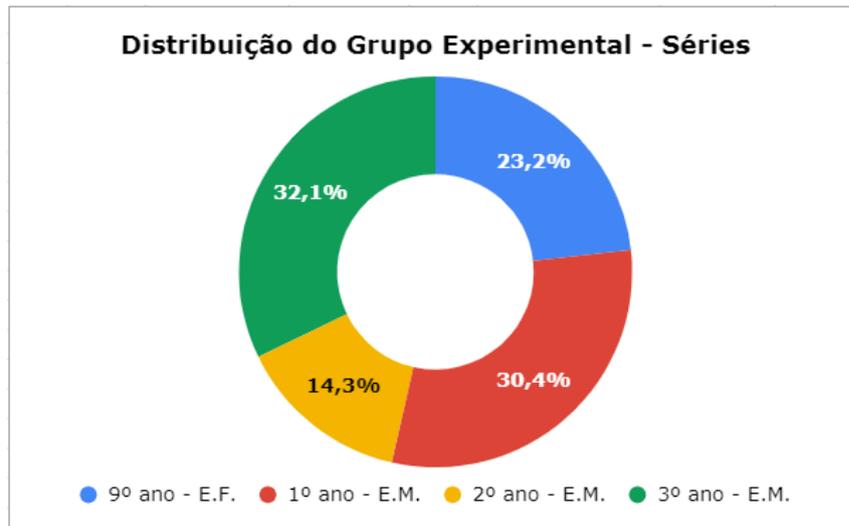


Para um maior detalhamento das características do grupo controle, a respeito da faixa etária dos 96 participantes, 11,5% correspondem à faixa etária de 14 anos (totalizando 11 participantes), 25,0% pertencem à faixa etária de 15 anos (perfazendo o total de 24 participantes), 21,9% estão na faixa etária de 16 anos (21 participantes), 31,3% consistem na faixa etária de 17 anos (30 participantes), 9,4% estão na faixa etária de 18 anos (9 participantes), e, por fim, menos de 1% corresponde ao único participante na faixa etária de 19 anos.

3.3.1.2 Caracterização do Grupo Experimental

A caracterização demográfica do Grupo Experimental consiste em: 54% dos sujeitos agrupados no gênero masculino (representam o total de 60 participantes) e 46% no gênero feminino (correspondendo ao total de 52 participantes). Dentre os 112 participantes do Grupo Experimental, 23,2% estão matriculados no 9º ano do E.F. (26 participantes), 30,4% pertencem ao 1º ano do E.M. (34 participantes), 14,3% ao 2º ano do E.M. (16 participantes), e, por fim, 32,1% estão vinculados ao 3º ano do E.M. (36 participantes), conforme pode ser verificado na Figura 3.14.

Figura 3.14 – Distribuição dos Participantes do Grupo Experimental por Série



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para um maior detalhamento das características do grupo experimental, a respeito da faixa etária dos 112 participantes, 3,6% correspondem à faixa etária de 14 anos (totalizando 4 participantes), 30,4% pertencem à faixa etária de 15 anos (perfazendo o total de 34 participantes), 31,3% estão na faixa etária de 16 anos (35 participantes), 29,5% se encontram na faixa etária de 17 anos (33 participantes), e, outros 5,4% estão na faixa etária de 18 anos (6 participantes).

3.3.2 Instrumentos de Coleta de Dados

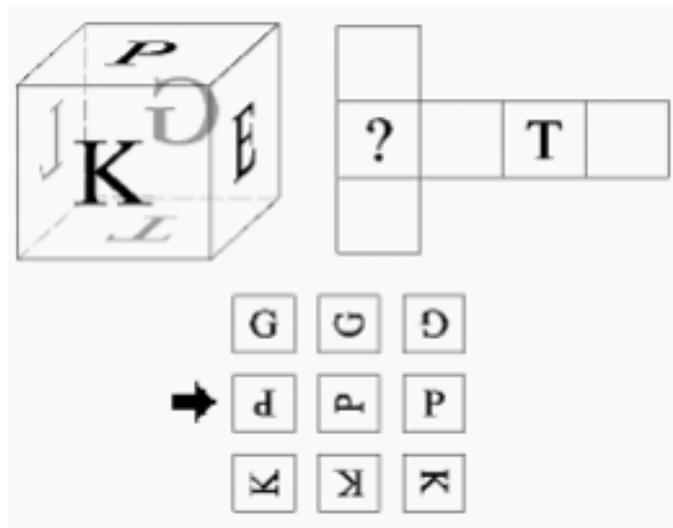
A respeito dos instrumentos utilizados para a coleta dos dados desta tese, elencados anteriormente no Protocolo de Testes (Figura 3.7), foram previstas para esta pesquisa a coleta de dados envolvendo o nível da habilidade de visualização espacial e do conhecimento sobre os conteúdos da disciplina. Os instrumentos que os participantes responderam adotaram a sistematização de pré-testes e pós-testes, tanto para os participantes do Grupo Controle como do Grupo Experimental. É importante destacar que no momento da primeira avaliação nenhum participante havia interagido com o aplicativo de realidade aumentada utilizado nos testes ou com qualquer outro tipo de recurso educacional aumentado.

Em relação ao instrumento de coleta de dados que diz respeito ao nível de habilidade de visualização espacial, a primeira avaliação realizada pelos participantes (pré-teste) ocorreu durante o primeiro encontro com o pesquisador, da mesma forma, a segunda avaliação (pós-

teste) se realizou no último encontro com o pesquisador, tendo essas avaliações um intervalo médio para cada Escola/Turma de 95 dias entre a primeira avaliação e a segunda avaliação.

Para mensurar o nível de habilidade de visualização espacial dos participantes foi utilizado o Teste Informatizado de Visualização Espacial (TVZ) (PRIETO, 2010), composto por 20 questões de múltipla escolha, cada qual com 9 opções de resposta e apenas uma alternativa correta, conforme exemplificado na Figura 3.15, em que a resposta correta é indicada por uma seta.

Figura 3.15 – Exemplo de item do teste de visualização espacial TVZ



Fonte: (PRIETO et al., 2010).

Cada questão do instrumento é composta por um cubo que tem todas as faces identificadas com letras. À direita do cubo, aparece seu desdobramento no plano com uma de suas faces identificada e outra marcada com uma interrogação (?). Pede-se ao sujeito que identifique a letra da face marcada com a interrogação e sua aparência (SILVA, JOLY & PRIETO, 2011). Os participantes receberam o tempo máximo de 30 minutos para a realização desta avaliação, tempo determinado pelo autor do teste. O instrumento apresentou os enunciados em língua portuguesa e foi respondido em sala de aula, no formato impresso, supervisionado pelo pesquisador.

Nesta mesma estrutura se utilizou um instrumento para a coleta de dados a respeito do nível de conhecimento dos participantes sobre os conteúdos da disciplina, num intervalo médio de 95 dias entre a primeira e a segunda avaliação, em que as mesmas configurações descritas anteriormente foram replicadas, porém, sob responsabilidade do professor desde a

sua elaboração (avaliações compatíveis com os conhecimentos de cada série), aplicação e correção das avaliações.

3.3.3 Análise dos Dados

Na expectativa de atender ao objetivo desta tese com embasamento em análises estatísticas, os dados coletados durante a execução do Protocolo de Testes (Figura 3.7) com os instrumentos utilizados na coleta de dados (Seção 3.3.2), foram organizados na forma de um banco de dados descrevendo as variáveis de interesse desta pesquisa, tais como: código identificador do participante, turma, idade, gênero, grupo (controle ou experimental), número de interações com o aplicativo de realidade aumentada, desempenho nas avaliações de visualização espacial e de conhecimento, com o objetivo de comparar os resultados alcançados em cada grupo com vistas a evidenciar a existência de resultados estatisticamente significativos.

Para realizar a análise dos dados, foram utilizados os softwares de estatística do Projeto-R (versão 3.5) (R CORE TEAM, 2019) e Minitab (versão 18.1) (MINITAB 18 STATISTICAL SOFTWARE. STATE COLLEGE, PA: MINITAB, INC., 2019), com o objetivo de construir os gráficos *boxplot* e dispersão, testar as hipóteses desta pesquisa a fim de verificar se os resultados do Grupo Controle, em comparação com os resultados apresentados pelo Grupo Experimental, apresentaram desempenho estatisticamente significativo nas dimensões avaliadas.

Para tanto, foram desempenhados os testes não-paramétricos denominados de Teste de Wilcoxon (Wilcoxon Signed-Rank Test) e Teste de Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis H Test), com as amostras pareadas, dado que os mesmos participantes foram comparados tanto nas duas primeiras avaliações como nas duas últimas avaliações. Posteriormente, foi executado o Teste de Mann-Whitney para a análise das amostras não pareadas, por se tratarem de grupos independentes, com a verificação de desempenho entre os gêneros. Também foi executado o teste para significação de correlação de Spearman (não-paramétrico) com as amostras do Grupo Experimental, para a análise do desempenho dos participantes nas avaliações de visualização espacial e nível de conhecimento do conteúdo em relação a quantidade de interação com o aplicativo de realidade aumentada. O uso da estatística não-paramétrica nesta tese se justifica pela natureza numérica dos dados, que por se tratarem de desempenho em avaliações, não são de natureza contínua, tampouco seguem distribuição normal. Para a execução dos testes estatísticos, foi definido o intervalo de confiança em 95%, que representa

o nível de significância de 0,05 utilizado para determinar se a hipótese nula deve ser aceita ou rejeitada.

Para melhor organizar a apresentação dos resultados obtidos com os testes estatísticos, as análises foram segmentadas em duas seções separadas, cada qual apresentando os resultados para as questões de pesquisa definidas anteriormente (Seção 3.3), alinhadas ao objetivo desta tese. Para cada questão de pesquisa foram definidas duas hipóteses, sendo a primeira denominada de hipótese nula (H_0) e a segunda de hipótese alternativa (H_1), busca-se através da análise estatística, aceitar ou rejeitar uma das hipóteses para ambas as questões de pesquisa:

- **Questão de Pesquisa 4:** O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial?
 - Hipótese nula (H_{0a}): não há diferenças significativas no desempenho mediano da habilidade de visualização espacial entre o Grupo Experimental (aplicativo de realidade aumentada) e Grupo Controle (recursos tradicionais de sala de aula).
 - Hipótese alternativa (H_{1a}): houve diferenças significativas no desempenho mediano da habilidade de visualização espacial entre o Grupo Experimental (aplicativo de realidade aumentada) e Grupo Controle (recursos tradicionais de sala de aula).
- **Questão de Pesquisa 5:** O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento do conhecimento de Física?
 - Hipótese nula (H_{0b}): não há diferenças significativas no desempenho mediano da aprendizagem entre o Grupo Experimental (aplicativo de realidade aumentada) e Grupo Controle (recursos tradicionais de sala de aula).
 - Hipótese alternativa (H_{1b}): houve diferenças significativas no desempenho mediano da aprendizagem entre o Grupo Experimental (aplicativo de realidade aumentada) e Grupo Controle (recursos tradicionais de sala de aula).

3.4 Etapa 3 - Avaliação da Qualidade da Abordagem Educacional em RA

Para a avaliação da qualidade da abordagem educacional em realidade aumentada móvel foi definido o desenho de pesquisa como não-experimental. Após a interação com o aplicativo avatAR UFRGS, os participantes responderam a um questionário para a avaliação da qualidade da abordagem educacional, além disso, alguns participantes foram sorteados para participar de uma entrevista. Primeiramente, o professor e os alunos receberam instruções sobre as funcionalidades do aplicativo de realidade aumentada e, posteriormente, iniciaram o uso e a interação com os recursos educacionais aumentados. Ambas as etapas ocorreram durante o segundo semestre de 2018.

A cada novo conteúdo apresentado aos participantes pelo professor, também era recomendado o acesso e interação com os recursos educacionais aumentados disponíveis no aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS. As atividades envolvendo o uso do aplicativo ocorreram entre os meses de Agosto a Novembro (2018), com periodicidade de uso diário/semanal, ocorrendo intervenções quinzenais do pesquisador (45 minutos em cada turma), com vistas a sanar eventuais dúvidas sobre a interação com o aplicativo e coletar informações sobre melhorias a serem implementadas. A avaliação da qualidade da abordagem educacional em realidade aumentada móvel foi realizada com o objetivo de responder as seguintes questões de pesquisa:

- **Questão de Pesquisa 6:** Qual é a percepção de qualidade dos participantes acerca da abordagem educacional com os recursos educacionais aumentados para o ensino de Física?

Para responder à Questão de Pesquisa 6, ao término das interações com o aplicativo, foi realizada a coleta de dados para a avaliação da qualidade da abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada no ensino de Física, através de um questionário respondido pelos participantes da pesquisa e uma entrevista. A descrição dos participantes e os instrumentos adotados para a coleta de dados serão esclarecidos nas próximas seções.

3.4.1 Descrição demográfica da população

Os participantes dessa pesquisa são alunos do Ensino Fundamental e Ensino Médio que participaram do Grupo Experimental (descrito na Seção 3.3). Participaram desta pesquisa 112 alunos e o perfil demográfico corresponde a 52 participantes do gênero feminino e 60 do

gênero masculino. Todos os participantes informaram possuir *smartphone* e/ou *tablet* para instalar o aplicativo *avatAR* UFRGS, bem como acesso à Internet. Dentre os 112 participantes, 23,2% estão matriculados no 9º ano do E.F. (26 participantes), 30,4% pertencem ao 1º ano do E.M. (34 participantes), 14,3% ao 2º ano do E.M. (16 participantes), e, por fim, 32,1% estão vinculados ao 3º ano do E.M. (36 participantes).

Para um maior detalhamento das características do grupo experimental, a respeito da faixa etária dos 112 participantes, 3,6% correspondem à faixa etária de 14 anos (totalizando 4 participantes), 30,4% pertencem à faixa etária de 15 anos (perfazendo o total de 34 participantes), 31,3% estão na faixa etária de 16 anos (35 participantes), 29,5% se encontram na faixa etária de 17 anos (33 participantes), e, outros 5,4% estão na faixa etária de 18 anos (6 participantes).

Dentre os 112 participantes, ao todo 21 foram aleatoriamente selecionados para participar da entrevista, sendo 7 participantes do gênero feminino e 14 do gênero masculino, todos com idade entre 14 e 18 anos e com conhecimento sobre a abordagem educacional em questão (professor da disciplina incentivou o uso do aplicativo semanalmente). A execução da entrevista foi realizada pelo pesquisador e registrada em arquivos de áudio para posterior transcrição, categorização e análise do conteúdo.

3.4.2 Instrumentos de coleta de dados

3.4.2.1 *Questionário de avaliação MAREEA*

Após o término das interações com o aplicativo, os participantes responderam a um questionário, conduzido com o objetivo de coletar dados sobre a percepção dos participantes a respeito da qualidade da abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada no ensino de Física.

Para a coleta de dados foi utilizado o Modelo de Avaliação MAREEA (Evaluation model of Mobile Augmented Reality Educational Approaches) (HERPICH et al., 2019b), o qual é composto por um questionário com 37 perguntas de múltipla escolha para medir a qualificação de abordagens educacionais utilizando recursos de realidade aumentada móvel, através da avaliação de quatro fatores de qualidade: Usabilidade, Engajamento, Motivação, e Aprendizagem Ativa. As opções de resposta foram definidas com base na escala de Likert (1932), definida da seguinte forma: Discordo Totalmente (-2); Discordo Parcialmente (-1); Indiferente (0); Concordo Parcialmente (1); e, Concordo Totalmente (2).

A forma de análise dos dados foi caracterizada pela intervenção qualitativa, no qual foram analisados os resultados do questionário, através das médias e desvios padrões das respostas dos participantes, sendo interpretado os seus significados e o impacto na experiência do participante com relação à qualidade da abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada móvel no ensino de Física.

3.4.2.2 Entrevistas sobre a percepção dos participantes

A fim de obter uma compreensão com maior profundidade acerca das percepções dos participantes sobre a abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS, foram realizadas entrevistas com os participantes após a conclusão das atividades. Esta seção busca apresentar o instrumento de coleta de dados qualitativo utilizado, sendo selecionada a abordagem de entrevista semi-estruturada. Os participantes entrevistados foram sorteados dentre os demais, afim de respeitar a aleatoriedade das amostras coletadas, assim como, em nenhum momento foram registrados os seus nomes reais durante a pesquisa, sendo apenas registrado um código identificador para cada entrevista, com a finalidade de distinguir a opinião de cada entrevistado dentre as demais percepções sobre a abordagem educacional envolvendo o uso de realidade aumentada.

Em um primeiro momento a entrevista foi elaborada, com a intenção de definir seu objetivo, formas de questionamentos e de avaliação dos resultados. Para tanto, foi utilizada uma adaptação do modelo Goal-Question-Metric (GQM) (BASILI, CALDIERA e ROMBACH, 1994) e definido o objetivo do estudo: avaliar a abordagem educacional envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados e identificar suas principais características através das percepções dos participantes. Após a definição do objetivo do estudo, foram decompostos os aspectos de qualidade, questões e métricas para análise. Os aspectos de qualidade foram definidos como: Aceitação da tecnologia, Utilidade da tecnologia, Facilidade de uso da tecnologia, Eficiência da tecnologia e Eficácia do aprendizado. A Tabela 3.1 apresenta a definição das características de qualidades.

Tabela 3.1 – Definição das características de qualidade

Característica de qualidade	Definição
Aceitação da tecnologia	Avaliação de uma pessoa sobre tecnologia ou comportamento específico associado ao uso de tecnologia (SCHERER; SIDDIQ; TONDEUR, 2019).
Utilidade da tecnologia	Grau em que uma pessoa acredita que utilizar um determinado sistema aumentaria seu desempenho no trabalho (DAVIS, 1989).
Facilidade de uso da tecnologia	Grau em que uma pessoa acredita que ao utilizar um determinado sistema estaria livre de esforço (DAVIS, 1989).
Eficiência da tecnologia	Roca, Chiu e Martínez (2006) definem como julgamento global de uma pessoa sobre uma excelência geral de uma tecnologia.
Eficácia do aprendizado	Percepção do usuário sobre a qualidade do aprendizado no ambiente de aprendizado (LEE, 2011).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com as características de qualidade definidas para a avaliação da abordagem educacional envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados, foram elaboradas as questões de análise (QA), com o intuito de identificar, através das percepções dos participantes, as principais vantagens relacionadas a essa abordagem educacional que envolve o uso de recursos educacionais aumentados. Para tanto, foram adaptadas cinco questões das investigações de Akçayir et al. (2016) e Huang, Chen e Chou (2016), as quais são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Questões de Análise

Característica de qualidade: aceitação da tecnologia
QA 1: Quais foram os aspectos positivos e negativos observados durante as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada?
Característica de qualidade: utilidade da tecnologia
QA 2: As atividades que envolveram o uso do aplicativo de realidade aumentada foram úteis para o seu desempenho acadêmico na disciplina de Física?
Característica de qualidade: facilidade de uso da tecnologia

QA 3: Você gostaria de continuar utilizando o aplicativo de realidade aumentada em suas atividades educacionais?
Característica de qualidade: eficácia do aprendizado
QA 4: Quais foram as diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais?
Característica de qualidade: eficiência da tecnologia
QA 5: Quais recursos educacionais despertaram sua atenção nas atividades envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada? Você saberia descrever algumas características desses recursos?

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo GGM (BASILI, CALDIERA e ROMBACH, 1994) ainda determina que métricas para a avaliação do objetivo e questões de análise devem ser definidas. Para esta pesquisa, foram estabelecidas métricas sob a perspectiva qualitativa, com vistas a analisar e evidenciar nas percepções dos participantes as eventuais qualidades e principais características aparentes acerca da abordagem educacional realizada com o apoio de recursos educacionais aumentados do aplicativo avatAR UFRGS. As análises e discussões dos resultados das entrevistas são apresentados na Seção 4.3.

4 RESULTADOS

4.1 Análise dos Resultados da Usabilidade Pedagógica

Para a avaliação da usabilidade pedagógica do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS foi utilizado o modelo de avaliação de qualidade de *software* educacional para Ensino de Ciências denominado PECTUS (REZENDE, 2013), o qual possibilitou mensurar o aplicativo educacional no contexto relacionado à qualidade percebida pelos participantes nos requisitos relacionados aos aspectos Pedagógicos, Ensino de Ciências e Usabilidade, através das respostas a trinta itens que serão apresentados nas suas respectivas dimensões de avaliação:

4.1.1 Questão de Pesquisa 1: Quais aspectos pedagógicos estão relacionados ao uso de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?

A fim de responder à Questão de Pesquisa 1 sobre os aspectos da Pedagogia relacionados ao uso do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS pelos professores em formação, foram avaliados dez atributos pedagógicos de qualidade de *software* educacional no Ensino de Ciências: Afetividade, Flexibilidade, Carga Cognitiva, Confiabilidade Conceitual, Suporte à Colaboração, Objetividade, Apoio ao professor, Controle por parte do Estudante, Motivação, Acomodação das Diferenças Individuais. Cada um destes atributos é definido na Tabela 4.1, sendo apresentado a média das respostas obtidas junto aos participantes e o respectivo desvio padrão.

Tabela 4.1 – Avaliação dos Aspectos de Pedagogia do Aplicativo avatAR UFRGS

	Questões	Méd.	DP
Q1	Afetividade - Refere-se à explicitação de aspectos e comportamentos físicos e psicológicos, capazes de indicar o envolvimento do usuário, quando ele utiliza o software, tais como: emoção, estados de humor, motivação, ansiedade, sentimentos de raiva, desinteresse, prazer, alegria, etc.	4,1	0,9
Q2	Flexibilidade - Refere-se à capacidade que o software tem de ser flexível e acomodar diferentes estilos individuais de ensino e aprendizagem, tais como: autoaprendizagem, objetivismo, construtivismo, etc.	4,5	0,5
Q3	Carga Cognitiva - Refere-se ao esforço mental requerido durante a execução das tarefas no software, como exploração dos conteúdos, uso da estrutura, respostas demandadas, etc.	3,6	1,1

Q4	Confiabilidade Conceitual - Refere-se à capacidade do software em despertar reações e comportamentos que expressam confiança nos seus conteúdos e resultados por ele propiciados.	4,2	0,8
Q5	Suporte à Colaboração - Refere-se ao apoio fornecido pelo software à realização de atividades de forma colaborativa, apoiando o compartilhamento de conhecimento e o desenvolvimento de habilidades sociais.	4,3	0,7
Q6	Objetividade - Refere-se à forma de funcionamento do software e dos procedimentos nele incorporados, ou seja, os quão bem definidos e padronizados eles são.	4,4	0,7
Q7	Apoio à Professores - Refere-se ao nível de apoio que o software oferece ao professor, que lhe permitirá atuar como provedor de informações e/ou de facilitador da aprendizagem.	4,9	0,3
Q8	Controle por parte do Estudante - Refere-se à possibilidade oferecida pelo software aos usuários, para este definir como explorar os módulos e conteúdos, ou seja, decidir que seções estudar, que caminhos seguir, que material utilizar e a ordem envolvida nessas decisões.	4,2	0,8
Q9	Motivação - Refere-se à capacidade de software em, por si só, motivar os usuários a explorar temas e conceitos, por meio de elementos como recursos multimídia, interação de boa qualidade, etc.	4,4	0,6
Q10	Acomodação das Diferenças Individuais - Refere-se à capacidade do software em considerar e facilitar a acomodação de diferenças individuais dos estudantes, ou seja, reforça a heterogeneidade em termos de atitudes, conhecimento e experiência anteriores, estilos de aprendizagem, etc.	4,1	0,7

Legenda: Méd. → Média / DP → Desvio Padrão.

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

Analisando os resultados do módulo de avaliação relacionado aos aspectos de Pedagogia, nós podemos observar que a média global foi de 4,27. Esse valor caracteriza o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS positivamente para esse requisito, pois os professores em formação reconhecem a afetividade (média 4,1) e flexibilidade (média 4,5) do aplicativo. Entretanto, os professores em formação entendem que o aplicativo oferece uma carga cognitiva relativamente alta para um recurso de aprendizagem (média 3,6), embora apresente boas avaliações em confiabilidade conceitual (média 4,2), suporte à colaboração (média 4,3) e objetividade do aplicativo (média 4,4). O aplicativo também apresentou bom desempenho nas questões envolvendo controle por parte do usuário (média 4,2), provoca motivação necessária para a aprendizagem (média 4,4) e acomoda as diferenças individuais (média 4,1). Referente ao apoio a professores, os resultados evidenciam a eficiência do aplicativo de realidade aumentada no suporte ao docente em atividades educacionais (média 4,9). No geral, o desvio padrão para este caso foi considerado normal, não havendo

demasiadas dispersões em algum atributo, com exceção do quesito relacionado à carga cognitiva, que obteve um desvio padrão de 1,1.

Em termos de envolvimento afetivo dos usuários (Q1) durante a interação com o aplicativo educacional, foi possível alcançar 74% de opiniões positivas. Huang, Chen e Chou (2016) através de um estudo experimental, apresentaram resultados que comprovam estatisticamente que o grupo de alunos que fez uso de tecnologia de realidade aumentada obteve melhor eficácia da aprendizagem do que outro grupo de alunos. Além disso, após o uso da tecnologia de realidade aumentada, também apresentaram níveis maiores de emoções positivas, que não só aumentaram a disposição dos alunos a aprenderem sobre o conteúdo de meio ambiente, mas também a desenvolver uma ligação emocional positiva. Neste sentido, o aplicativo avatAR UFRGS foi avaliado positivamente pelos professores em formação, aspecto que demonstra que os recursos educacionais aumentados proporcionam envolvimento afetivo aos seus usuários.

Outra questão relacionada a essa discussão aborda a capacidade do aplicativo de realidade aumentada em motivar os usuários a explorar temas e conceitos nele apresentados (Q9). Neste quesito os professores em formação avaliaram o aplicativo positivamente, 95% concordam que o aplicativo é capaz de motivar os usuários por meio de elementos como recursos multimídia, interação de boa qualidade, entre outros fatores. Neste sentido, Liou et al. (2017) argumentam que o sistema de realidade aumentada poderia fazer os alunos integrarem elementos multimídia com emoções positivas, de modo que a carga mental pudesse ser reduzida. Fato considerado um importante resultado para esta pesquisa, dado que a literatura já apresentou fortes evidências de que proporcionar o envolvimento dos usuários com os recursos educacionais aumentados contribui para uma aprendizagem mais eficaz, tal como demonstrado na pesquisa de Huang, Chen e Chou (2016), Bressler e Bodzin (2016) e Ibáñez e Delgado-Kloos (2018).

Em se tratando da capacidade em acomodar diferentes estilos individuais de ensino e aprendizagem (Q2), os avaliadores apontaram que o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS se mostrou positivo (53% Concordam totalmente e 47% Concordam parcialmente). Neste quesito, importantes resultados foram apresentados pela pesquisa de Zhang et al. (2016), a qual destaca que quanto maior o tempo de uso dos recursos de realidade aumentada, maior foi o grau de melhora nos resultados de aprendizagem dos alunos. Além disso, a partir dos resultados do ganho de aprendizagem, Zhang et al. (2016) observaram que a realidade aumentada teve eficácia diferente para os alunos que expressaram diferentes preferências de estilo de aprendizagem. Diante disso, a opinião favorável dos professores em

formação acerca do aplicativo avatAR UFRGS se apresenta como um importante resultado para os objetivos que esta pesquisa pretende alcançar.

Outra questão relacionada a essa discussão abordou a capacidade do aplicativo em considerar e facilitar a acomodação de diferenças individuais dos usuários (Q10), neste quesito os professores em formação se mostraram favoráveis, mas com porcentagem inferior da informada anteriormente na Q2, uma vez que apenas 79% das opiniões foram positivas. Entende-se que a divergência na avaliação dos professores ocorreu em virtude dessa capacidade não estar presente nas funcionalidades do aplicativo. Entretanto, esse é um ponto ainda a ser pesquisado, conforme destacado na pesquisa de Ibáñez e Delgado-Kloos (2018), os quais descrevem que em ambientes de aprendizagem baseados em realidade aumentada, a relação entre as características do aluno, como gênero ou estilo de aprendizagem e os resultados da aprendizagem, ainda não foram estabelecidas e precisam ser elucidadas através de futuras investigações.

Em relação à carga cognitiva (Q3) requerida durante a execução das tarefas no aplicativo, os professores em formação se mostraram divididos, dado que 63% apresentaram opiniões favoráveis ao aplicativo, 21% foram imparciais, e 16% indicaram que o aplicativo requer demasiado esforço mental durante a exploração dos conteúdos e/ou uso das estruturas nele apresentadas. Cheng e Tsai (2013) argumentam que tarefas complexas e grandes quantidades de informação para dominar podem aumentar suas cargas cognitivas e impedir seu aprendizado. Por outro lado, Liou et al. (2017) afirmam que através dos recursos providos pela tecnologia de realidade aumentada, os alunos podem integrar facilmente objetos virtuais e ambientes reais, de modo a diminuir a carga mental e melhorar seu aprendizado. Diante de tais asserções, a estratégia apresentada no aplicativo avatAR UFRGS aos professores em formação, foi o uso de níveis de interação, os quais permitiram aos usuários interagirem com os recursos educacionais aumentados através de níveis de conhecimento e possibilitaram o avanço na visualização do conteúdo educacional gradativamente, sem que demasiadas informações fossem apresentadas.

A respeito da confiabilidade conceitual (Q4) apresentada no aplicativo educacional de realidade aumentada, os avaliadores se mostraram positivos à capacidade do aplicativo avatAR UFRGS em despertar reações e comportamentos que expressam confiança nos seus conteúdos e resultados, uma vez que 90% das opiniões foram favoráveis. A opinião positiva dos professores em formação pode ter sido em decorrência do potencial educacional que a realidade aumentada apresenta, pois de acordo com Liou et al. (2017), os ambientes de aprendizagem em realidade aumentada podem fornecer aos alunos conceitos dos fenômenos

simulados de situações que muitas vezes são invisíveis ou que dificilmente podem ser verificadas no mundo real.

Quando questionados sobre o suporte a colaboração fornecido pelo aplicativo educacional (Q5), 89% dos professores em formação apresentaram opiniões positivas, indicando que o aplicativo avatAR UFRGS apoia o compartilhamento de conhecimento e/ou a realização de atividades de forma colaborativa. Neste sentido, Schneider e Blikstein (2018) também constaram o potencial da realidade aumentada em apoiar atividades em ambientes colaborativos, sendo que observaram os alunos explorando o problema, compartilhando informações para construir fundamentos em comum, formulando hipóteses, questionando uns aos outros, contradizendo e negociando conhecimentos de maneiras ricas.

Em se tratando da objetividade do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS, seu funcionamento e procedimentos nele incorporados (Q6), os professores em formação mostraram-se confiantes na avaliação do aplicativo (85% foram favoráveis) indicando o quão bem definidos e padronizados são os procedimentos do aplicativo educacional. Sobre este quesito, Pacheco et al. (2019) discutem a respeito da consistência e padrões em aplicativos educacionais e argumentam que os recursos educacionais aumentados devem apresentar integridade entre suas funcionalidades e padrões visualmente claros aos seus usuários. A avaliação favorável dos professores em formação demonstra que o aplicativo avatAR UFRGS apresentou objetividade no seu funcionamento e nos seus procedimentos, aspecto relevante para a compreensão de seus usuários acerca da interação com os recursos educacionais aumentados.

Em relação ao nível de apoio oferecido pelo aplicativo de realidade aumentada aos professores (Q7), os avaliadores em sua totalidade foram positivos ao aplicativo avatAR UFRGS, indicando que a tecnologia educacional permite ao professor atuar como provedor de informações e/ou facilitador da aprendizagem. Munoz-Cristobal et al. (2018) defende que utilizando as tecnologias de realidade aumentada, os professores podem definir as diferentes atividades, participantes, grupos e recursos de aprendizagem. Além disso, as evidências apresentadas por Munoz-Cristobal et al. (2018) indicam que a tecnologia de realidade aumentada ajudou os professores a criar e encenar a situação de aprendizagem, bem como ajudou a envolver os alunos e alcançar os objetivos de aprendizagem.

Quando questionados sobre o controle oferecido ao estudante (Q8) pelo aplicativo de realidade aumentada, os professores em formação se mostraram favoráveis a capacidade do aplicativo em possibilitar que os usuários definam como explorar os módulos e conteúdos (84% dos avaliadores), decida que seções estudar, que caminhos seguir, que material utilizar e

a ordem envolvida nessas decisões. Do ponto de vista pedagógico, Chiang, Yang e Hwang (2014) defendem que a aquisição de informação através da tecnologia realidade aumentada é mais intuitiva, pode estimular os aprendizes durante o processo de aprendizagem a observar ativamente, formular múltiplas suposições através de observações, avaliar cuidadosamente a validade dos fenômenos observados e a racionalidade das hipóteses propostas e formular uma hipótese final após refutando múltiplas hipóteses propostas. Nesta perspectiva, foi constatada a opinião positiva dos professores em formação, dado que o aplicativo avatAR UFRGS permite que os seus usuários explorem os recursos educacionais aumentados livremente.

4.1.2 Questão de Pesquisa 2: Como professores em formação percebem a utilização de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?

Para responder à Questão de Pesquisa 2 sobre a dimensão envolvendo os aspectos de Ensino de Ciências, dez atributos de qualidade de *software* foram avaliados pelos professores em formação, os quais foram: Apoio à construção de Conceitos, Suporte para a Aplicação de Conceitos, Apoio a Aprendizagem Evolutiva, Suporte Empírico, Associação entre Teoria e o Mundo Real, Apoio à Representação de Teoria e Conceitos, Precisão dos Cálculos e Resultados, Rigor Científico, Clareza dos Procedimentos, Suporte para a Resolução de Problemas. Cada um destes atributos é definido na Tabela 4.2, sendo apresentado a média das respostas obtidas junto aos participantes e o respectivo desvio padrão.

Tabela 4.2 – Avaliação dos Aspectos de Ensino de Ciência do Aplicativo avatAR UFRGS

	Questões	Méd.	DP
Q11	Apoio à Construção de Conceitos - Refere-se à construção de conceitos abstratos em conceitos mais concretos. Acentua a formação dos conceitos e promove a mudança conceitual.	4,6	0,5
Q12	Suporte para a Aplicação de Conceitos - Refere-se à aplicação simplificada da realidade, tornando os conceitos abstratos em seus elementos mais importantes.	4,4	1,0
Q13	Apoio a Aprendizagem Evolutiva - Refere-se à aprendizagem crescente que auxilia na compreensão dos conceitos desde estágios mais simples até os fenômenos mais complexos.	4,3	0,7
Q14	Suporte Empírico - Refere-se às atividades que deixam explícito a natureza da pesquisa científica e suas teorias.	4,1	1,0
Q15	Associação entre Teoria e o Mundo Real - Refere-se à compreensão sobre o mundo natural real, interagindo com modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta.	4,6	0,7

Q16	Apoio à Representação de Teoria e Conceitos - Refere-se às informações visuais como fórmulas, resultados, modelos 3D e um feedback para aperfeiçoar a compreensão de conceitos.	4,4	0,7
Q17	Precisão dos Cálculos e Resultados - Refere-se à coleta, geração e teste de grandes quantidades de dados que comprovem a hipótese.	4,3	1,0
Q18	Rigor Científico - Refere-se à identificação e relação entre causas e efeitos entre os “sistemas complexos”, comprovados com critérios de natureza científica.	4,0	1,0
Q19	Clareza dos Procedimentos - Refere-se à redução de “ruído” cognitivo de modo que os estudantes possam através de comandos simples de maneira a permitir se concentrarem nos conceitos envolvidos.	4,3	0,9
Q20	Suporte para a Resolução de Problemas - Refere-se ao suporte à promoção de habilidades para a resolução de problemas e promover o raciocínio crítico e analítico.	4,3	0,8

Legenda: Méd. → Média / DP → Desvio Padrão.

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

Em relação aos resultados sobre o Ensino de Ciências, é possível observar que a média global da avaliação da dimensão foi de 4,33. Os atributos reconhecidos pelos professores em formação no aplicativo avatAR UFRGS indicam que a tecnologia oferece apoio à construção (média 4,6) e aplicação (média 4,4) de conceitos de Ciências, contribui com a aprendizagem evolutiva do aluno (média 4,3) e se apresenta como um recurso de suporte empírico (média 4,1). De acordo com os resultados, também podemos inferir que o aplicativo oferece associação entre a teoria e o mundo real (média 4,6), apoio à representação de teoria e conceitos (média 4,4), precisão dos cálculos e resultados (média 4,3), rigor científico das informações apresentadas (média 4,0), assim como, clareza dos procedimentos (média 4,3) e suporte para resolução de problemas (média 4,3). De modo geral, é importante destacar que o desvio padrão para este caso foi considerado um pouco elevado em relação à dimensão anterior, em que diversos quesitos, como Suporte para a Aplicação de Conceitos e Suporte Empírico obtiveram um desvio padrão de 1,0, indicando uma alta na dispersão em torno das avaliações dos professores em formação.

Em termos de apoio a construção de conceitos abstratos em conceitos mais concretos (Q11), os professores em formação avaliaram o aplicativo de maneira positiva, visto que todos os avaliadores emitiram opiniões favoráveis ao aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS, no sentido de que acentua o desenvolvimento dos conceitos e promove a mudança conceitual. Nesta perspectiva, Delello (2014) argumenta que um ambiente aumentado passa de um ambiente centrado no professor para um centrado no aluno, onde os alunos constroem novos conhecimentos com base em seus conhecimentos prévios, dessa

forma eles são capazes de criar significado e entender melhor conceitos científicos. Esta qualidade evidenciada de modo favorável pelos professores em formação, foi algo elaborado para possibilitar o Ensino de Ciências, dado que os conteúdos muitas vezes são abstratos e demandam da habilidade de visualização espacial dos estudantes, por isso os recursos educacionais aumentados apresentam ocorrências que em muitos casos são invisíveis e/ou de difícil visualização no mundo real.

A respeito do suporte oferecido para a aplicação de conceitos (Q12), os professores em formação foram questionados se o aplicativo de realidade aumentada permite a aplicação simplificada da realidade, tornando os conceitos abstratos em seus elementos mais importantes. Neste quesito, 89% dos avaliadores classificaram positivamente o aplicativo educacional avatAR UFRGS. De acordo com Delello (2014), a realidade aumentada permite ao usuário explorar conceitos que são impossíveis de ver a olho nu – tornando possível visualizar o invisível. Nesta perspectiva, o aplicativo avatAR UFRGS possibilitou que os usuários interagissem com simulações que apresentavam fenômenos da natureza para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem, fenômenos que em diversas oportunidades se apresentam como invisíveis ou de difícil observação sem o uso de aparelhos adequados.

Quando questionados sobre o apoio a aprendizagem evolutiva (Q13), 89% dos professores em formação afirmaram que o aplicativo educacional de realidade aumentada enseja uma aprendizagem crescente que auxilia na compreensão dos conceitos desde estágios mais simples até os fenômenos mais complexos. Neste sentido, Chiang, Yang e Hwang (2014) argumentam que os estudantes que usam tecnologias de realidade aumentada demonstraram maior iniciativa e concentração na análise, descoberta, compartilhamento e discussão do que descobriram. Além disso, as tecnologias de RA permitem que os estudantes fiquem mais imersos no pensamento científico enquanto aprendem e argumentam que o aumento da imersão dos alunos e as interações frequentes dos colegas durante o processo de aprendizado podem resultar em pensamentos de alto nível, compreensão completa do tópico e melhor absorção do material do curso (CHIANG, YANG e HWANG, 2014).

Entretanto, quando questionados sobre o suporte empírico observado no aplicativo de realidade aumentada (Q14), 73% dos professores em formação se mostraram favoráveis e 16% se mantiveram imparciais, mas uma parcela dos avaliadores não concordou que as atividades apresentadas no aplicativo deixaram explícito a natureza da pesquisa científica e suas teorias (11%). Dada a sua natureza experimental, em alguns conteúdos curriculares de Ciências os estudantes possuem dificuldades para abstração dos modelos empíricos. Nesta perspectiva, Wang (2017) argumenta que as características da realidade aumentada de

apresentar informação de aprendizagem, textual, vídeo, áudio e conteúdos de aprendizagem tridimensionais juntos em interação em tempo real, podem estimular os aprendizes a aprender ideias abstratas mais do que apenas ler um livro baseado em texto. Esse ponto também foi perceptível quando os professores em formação foram questionados a respeito do apoio na representação de teoria e conceitos (Q16), os resultados se mostraram ligeiramente mais otimistas na interpretação de 85% dos avaliadores, indicando que os recursos educacionais aumentados do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS permite que os usuários tenham acesso a informações visuais como fórmulas, resultados, modelos 3D e um *feedback* para aperfeiçoar a compreensão de conceitos.

Em relação à capacidade do aplicativo de realidade aumentada em proporcionar a associação entre teoria e o mundo real (Q15), 95% dos professores em formação se mostraram favoráveis, indicando que o aplicativo proporciona a compreensão sobre o mundo natural real, interagindo com modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta. Isso ocorre, segundo Klopfer e Squire (2008), por conta das tecnologias de realidade aumentada permitirem que os alunos interajam com experiências que não podem ser facilmente experimentadas no mundo real. Além disso, as tecnologias de simulação de realidade aumentada usam o computador de mão para fornecer uma camada de dados que “aumenta” a experiência da realidade dos usuários ao conectar dados no computador de mão (por exemplo, multimídia) ao espaço físico (por exemplo, um prédio ou local específico) (KLOPFER e SQUIRE, 2008).

Em termos de precisão dos cálculos e resultados (Q17), os professores em formação foram questionados se o aplicativo de realidade aumentada contribuiu na coleta, geração e teste de grandes quantidades de dados que comprovem a hipótese. Neste sentido, 85% dos avaliadores classificaram o aplicativo positivamente. Tecnologias de realidade aumentada permitem que os alunos interajam com os objetos virtuais e informações em vez de ter que utilizar a sua imaginação ou fazer hipóteses (CHANG e HWANG, 2018). Bressler e Bodzin (2016) descobriram que tecnologias de realidade aumentada bem projetada podem promover engajamento e práticas científicas, a ponto do desempenho em aprendizagem ser estatisticamente mais altas do que o aprendizado de laboratório e sala de aula usual.

Por outro lado, quando questionados a respeito do rigor científico (Q18), apenas 68% dos professores em formação foram favoráveis ao aplicativo de realidade aumentada, indicando que o aplicativo permite a identificação e relação entre causas e efeitos entre os sistemas complexos, comprovados com critérios de natureza científica. Outros 21% avaliadores mantiveram uma opinião imparcial e 11% classificaram negativamente o

aplicativo. Nesta perspectiva, Chiu, Dejaegher e Chao (2015) destacaram que os alunos têm dificuldade em desenvolver explicações em nível molecular de fenômenos observáveis, críticos para o entendimento complexo da ciência. No entanto, os autores explicam que as tecnologias de RA foram implementadas com sucesso em salas de aula de Ciências para ajudar os alunos a desenvolver explicações sobre tópicos complexos de ciências. Nesta perspectiva, entende-se que a opinião favorável dos professores em formação acerca do aplicativo avatAR UFRGS seja em decorrência da capacidade do mesmo em ensinar a visualização das relações de causa-efeito que se estabelecem nos fenômenos de natureza científica.

A respeito da clareza dos procedimentos experienciados no aplicativo de realidade aumentada, 79% dos professores em formação classificaram o aplicativo capaz de reduzir o ruído cognitivo de modo que os estudantes possam se concentrar nos conceitos envolvidos com o Ensino de Ciências. Herpich et al. (2018) afirmam que sempre que os sujeitos demonstraram nível de engajamento mais elevado, foi possível observar interação mais frequente com os recursos multimídia de realidade aumentada disponíveis, indicando que esse pode ser o caminho para otimizar o processo de ensino e aprendizagem. Já Di Serio et al. (2010) evidenciaram que houve uma clara melhoria na atenção e nos fatores de motivação e satisfação para o ambiente de aprendizagem com base na tecnologia de realidade aumentada em comparação com um ambiente de aprendizagem mais tradicional. Evidências que suportam a ideia de que os recursos de realidade aumentada são capazes proporcionar maior concentração aos usuários e conseqüentemente auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de Ciências.

Em relação ao suporte oferecido pelo aplicativo de realidade aumentada para a resolução de problemas (Q20), 84% dos professores em formação classificaram que o aplicativo oferece suporte a promoção de habilidades para a resolução de problemas e promove o raciocínio crítico e analítico, atributo que contribui para o Ensino de Ciências e verificado pelos professores em formação no aplicativo avatAR UFRGS através das oportunidades de interação com os recursos educacionais aumentados. Esse resultado vai ao encontro do que Harley et al. (2016) argumentam sobre as oportunidades apresentadas pela RA para fins educacionais, em que enfatizam os objetos virtuais 3D que os alunos podem manipular para observar e modelar fenômenos físicos; representações explícitas de conceitos e eventos de outro modo invisíveis; cenários instrucionais colaborativos que estão situados em problemas e aplicações da vida real; um senso de comunidade entre os alunos que participam

de experiências abrangentes e realistas; e uma conexão direta entre a aprendizagem em contextos formais e informais (HARLEY et al., 2016).

4.1.3 Questão de Pesquisa 3: Qual a opinião dos professores em formação sobre os aspectos de usabilidade de recursos educacionais aumentados no Ensino de Ciências?

Em relação a avaliação da dimensão envolvendo os aspectos de Usabilidade, dez atributos de qualidade de *software* educacional foram avaliados pelos professores em formação, sendo eles: Adequação de Software, Facilidade de Aprendizagem, Operacionalidade, Suporte à Memorização, Proteção aos Erros, Clareza das Informações, Acessibilidade, Qualidade do Design, Satisfação do Usuário, Funcionalidade Geral. Cada um destes atributos é definido na Tabela 4.3, sendo apresentado a média das respostas obtidas junto aos participantes e o respectivo desvio padrão.

Tabela 4.3 – Avaliação dos Aspectos de Usabilidade do Aplicativo avatAR UFRGS

	Questões	Méd.	DP
Q21	Adequação do Software - Refere-se à capacidade que o software tem de possibilitar ao usuário compreender se ele (<i>software</i>) é apropriado para as suas tarefas (do usuário).	4,5	0,8
Q22	Facilidade de Aprendizagem - Refere-se à facilidade oferecida pelo software para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades incluídos.	4,6	0,8
Q23	Operacionalidade - Refere-se à capacidade que o software possui de tornar a sua utilização fácil para os usuários.	3,9	0,9
Q24	Suporte à Memorização - Refere-se às características (padronização de telas, navegação, <i>design</i> , etc.) que facilitem ao usuário a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para uso adequado do software.	4,1	1,0
Q25	Proteção aos Erros do Usuário - Refere-se às características que o software possui para proteger o usuário de cometer possíveis erros.	3,6	1,0
Q26	Clareza das Informações - Está relacionada a se a informação contida no espaço de conhecimento incorporado no software é apresentada de maneira entendível.	4,2	0,9
Q27	Acessibilidade - Refere-se à capacidade do software de ser usado por pessoas com diferentes perfis e características, em um contexto específico ligado aos objetivos do sistema.	4,0	1,2
Q28	Qualidade do Design - Compreende aspectos como aparência e disposição dos elementos nas telas do software, incluindo texto, ícones, gráficos, cores, etc.	4,5	0,7

Q29	Satisfação do Usuário - Representa uma condição subjetiva, segundo a qual o usuário considera a interação com a aplicação agradável e atrativa, sentindo-se satisfeito com o software.	4,6	0,5
Q30	Funcionalidade Geral - Representa uma dimensão abrangente, relacionada à utilidade do software e atendimento dos objetivos pretendidos pelos usuários.	4,5	0,6

Legenda: Méd. → Média / DP → Desvio Padrão.

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

Os resultados relacionados à avaliação dos atributos da dimensão de Aspectos de Usabilidade alcançaram a média global de 4,24. Os resultados alcançados caracterizam o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS positivamente para esse requisito, uma vez que os professores em formação consideraram o aplicativo adequado ao que se propõe (média 4,5), oferece facilidade de aprendizagem (média 4,6) e suporte a memorização (média 4,1). Entretanto, os professores em formação entendem que o aplicativo oferece uma baixa capacidade de operacionalidade (média 3,9) e proteção aos erros do usuário (média 3,6), embora considerem que o aplicativo apresenta clareza nas informações (média 4,2) e acessibilidade (média 4,0). De modo geral, os avaliadores acreditam que o aplicativo oferece qualidade do *design* (média 4,5), satisfaz a interação do usuário (média 4,6) e se mostra útil em termos da sua funcionalidade em geral (média 4,5). No caso desta dimensão, os valores obtidos no desvio padrão se encontram similares com a primeira dimensão, não havendo elevadas diferenças a serem destacadas, com exceção do atributo de Operacionalidade e Proteção aos Erros do Usuário, o que indica uma divergência entre as avaliações dos professores em formação.

Em termos da capacidade de adequação do aplicativo avatAR UFRGS aos usuários (Q21), 95% dos professores em formação avaliaram positivamente, indicando que suas funcionalidades possibilitam ao usuário compreender que os recursos são apropriados para as suas tarefas. Em se tratando de tecnologias para a educação, o fato do usuário entender que os recursos educacionais aumentados são apropriados para a sua interação, pode contribuir para o aumento do seu engajamento e impactar no desempenho das atividades educacionais. Bressler e Bodzin (2016) definem que, para tornar a aprendizagem científica envolvente, os estudantes precisam sentir a relevância e a autenticidade da atividade de aprendizagem.

Quando questionados sobre a facilidade em aprender as funcionalidades do aplicativo de realidade aumentada (Q22), 90% dos professores em formação classificaram que o aplicativo oferece facilidade para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades. O resultado desse atributo está associado ao nível de quão fácil de

aprender é o aplicativo de RA, que a norma ISO/IEC 25010 (2014) determina como “grau em que um sistema pode ser utilizado por usuários específicos para atingir os objetivos especificados de aprender a utilizar o produto ou sistema com eficácia, eficiência, isenção de riscos e satisfação em um contexto específico de uso” (ISO/IEC 25010, 2014). Nesta perspectiva, é possível afirmar que o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS é de fácil aprendizagem, não sendo necessárias muitas ações para que seus usuários aprendam a utilizar os recursos educacionais aumentados.

Por outro lado, ao responderem sobre a operacionalidade do aplicativo de realidade aumentada (Q23), apenas 68% dos professores em formação foram favoráveis, indicando baixa capacidade do aplicativo em tornar a sua utilização fácil para os usuários. O atributo de operabilidade é fundamental para tecnologias com viés educacional, uma vez que a dificuldade em utilizar o recurso pode incentivar a não utilização por parte do usuário. Por isso, a ISO/IEC 25010 (2014) define a operabilidade como o “grau em que um sistema possui de atributos que facilitam a operação e o controle” (ISO/IEC 25010, 2014). Um fator que pode ter determinado a dificuldade na utilização do aplicativo, está relacionado ao fato dos avaliadores terem informado que nunca haviam utilizado aplicativos que fazem uso de recursos em realidade aumentada até o início dos testes com o aplicativo avatAR UFRGS.

A respeito do suporte a memorização (Q24), 84% dos professores em formação se mostraram favoráveis aos recursos apresentados no aplicativo avatAR UFRGS, indicando que as suas características facilitam a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para o seu adequado uso. A respeito deste assunto, Pacheco et al. (2019) argumentam que um sistema deve conter consistência e padrão visual (texto, cor, elementos de *design*, som, etc.). A partir desta perspectiva, o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS demonstrou incorporar a consistência e o padrão visual em suas funcionalidades, dado que as suas simulações apresentam uma mesma estrutura de recursos e possibilidades de interação, de modo que fique claro ao usuário todas as funcionalidades e recursos disponíveis para a sua interação e aprendizagem.

Em relação à proteção aos erros do usuário durante a interação com o aplicativo (Q25), 58% dos professores em formação se mostraram favoráveis, 32% se mantiveram imparciais e 10% contrários, indicando que o aplicativo oferece estratégias moderadas para a proteção aos erros do usuário. Acerca deste recurso, Pacheco et al. (2019) definem que o sistema deve fornecer meios para impedir que o usuário execute ações indesejadas. Em virtude da alta taxa de imparcialidade nas respostas dos professores em formação, entende-se que este requisito não foi completamente atendido pelo aplicativo avatAR UFRGS, o que

pode ter ocorrido em virtude da ocorrência de algum mau funcionamento durante a interação dos usuários, tais como a não execução de algum recurso e/ou o encerramento do aplicativo abruptamente, circunstâncias observadas em situações específicas na interação dos usuários.

Quando questionados sobre a clareza das informações (Q26), 79% dos professores em formação classificaram o aplicativo de maneira positiva, indicando que a informação contida no espaço de conhecimento do aplicativo avatAR UFRGS é apresentada de maneira compreensível. Apresentar informações relevantes e claras ao aluno contribui para que ele perceba os benefícios que o aplicativo pode proporcionar ao seu processo de ensino e aprendizagem. Neste sentido, Reyes et al. (2016) argumentam que os dispositivos móveis permitem acesso a informações gráficas, vídeos e Internet a qualquer hora e em qualquer lugar. Como consequência, os alunos se sentem familiarizados e engajados com o uso deste tipo de dispositivo, então, surge uma potencial oportunidade de integrar dispositivos móveis a ambientes de aprendizagem. Diante disso, o aplicativo avatAR UFRGS, ao associar o interesse dos usuários com dispositivos móveis, aos recursos educacionais aumentados e informações instrutivas e precisas, pode-se oportunizar consequências positivas ao processo de ensino e aprendizagem de seus usuários.

Em relação à acessibilidade promovida pelo aplicativo de realidade aumentada (Q27), em um contexto específico ligado aos objetivos do aplicativo, os professores em formação avaliaram que o mesmo é capaz de ser utilizado por pessoas diferentes perfis e características, classificando o aplicativo com 84% das opiniões. Isso demonstra a confiança dos avaliadores em relação aos objetivos do aplicativo de realidade aumentada para os fins educacionais que se propõem. Wang (2017) comprovou que as aplicações com fins educacionais baseadas em RA têm apresentado efeitos positivos sobre a aprendizagem, assim como também demonstrou o crescente avanço no desenvolvimento desta tecnologia, o que tem possibilitado distribuir o conteúdo RA, estendendo de computadores e outros grandes equipamentos para dispositivos pessoais e portáteis, tais como *tablets* e *smartphones*, tornando esses recursos educacionais aumentados mais acessíveis aos seus usuários.

No que diz respeito à qualidade do *design* do aplicativo de realidade aumentada (Q28), 90% dos professores em formação classificaram positivamente os aspectos de aparência e disposição dos elementos nas telas do aplicativo, incluindo texto, ícones, gráficos, cores, entre outros. A qualidade do *design* é importante para manter a satisfação durante a interação dos usuários com os recursos educacionais. Neste sentido, ISO/IEC 25010 (2014) define que o “grau de estética da interface do usuário refere-se às propriedades do sistema que aumentam o prazer e a satisfação do usuário, como o uso da cor e a natureza do *design* gráfico”. Nesta

perspectiva, foi possível observar que o aplicativo avatAR UFRGS apresentou resultados favoráveis a qualidade do *design*, indicativo de que os professores em formação foram favoráveis à disposição dos recursos educacionais aumentados em tela e da sua aparência.

Em concordância com o atributo anterior, quando questionados sobre a satisfação em utilizar o aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS (Q29), 100% dos professores em formação foram favoráveis, indicando que os usuários consideraram a interação com a aplicação agradável e atrativa, sentindo-se satisfeitos com os recursos educacionais aumentados apresentados no aplicativo de realidade aumentada. Em relação à funcionalidade geral do aplicativo (Q30), 95% dos professores em formação avaliaram positivamente, indicando a utilidade dos recursos educacionais aumentados no atendimento dos objetivos pretendidos pelos usuários. Ambos atributos avaliados demonstram que os professores em formação foram favoráveis ao uso dos recursos educacionais aumentados para o Ensino de Ciências, demonstrando completude dos recursos e adequada usabilidade pedagógica das funcionalidades do aplicativo avatAR UFRGS.

4.2 Resultados estatísticos da avaliação de visualização espacial e conhecimento de Física

Esta seção tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos nos testes realizados para esta tese, englobando resultados tanto do Grupo Controle como também do Grupo Experimental, com a intenção de contrastar os resultados encontrados na abordagem tradicional em relação a abordagem proposta utilizando recursos educacionais aumentados. Para estabelecer essa análise, os dados coletados foram organizados na Tabela 4.4, que apresenta a análise descritiva da população, em que pode-se observar os dados referentes às séries, gênero, grupo, bem como o desempenho das turmas nas avaliações de visualização espacial e de conhecimento em Física. Para analisar os desempenhos dos participantes, foi selecionada a tendência central denominada de mediana, por ser menos suscetível a valores atípicos de um conjunto de dados, por exemplo, resultados de avaliações muito altas ou muito baixas.

Conforme destacado na Tabela 4.4, é possível observar nos dados da população que ocorreu desenvolvimento no nível de visualização espacial entre a primeira e a segunda avaliação, assim como também é possível observar o avanço no grau de conhecimento em conteúdos de Física. Algumas turmas com medianas superiores às outras, mas no geral todas as turmas apresentam crescimento nas medianas entre as avaliações de visualização espacial,

assim como nas medianas das avaliações de conhecimento em Física, atendendo a expectativa do pesquisador.

Tabela 4.4 – Análise descritiva dos testes realizados com a população

Escola	Série (Turma)	Idade	GÊNERO		GRUPO		AV. 1 (VE*)	AV. 2 (VE)	AV. 1 (CF**)	AV. 2 (CF)
		Média	Masc.	Fem.	Controle	Experimental	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
3	9º E.F. (A)	14,9	50% (14)	50% (14)	46% (13)	54% (15)	5,0	7,0	6,7	8,2
3	9º E.F. (B)	14,9	72% (18)	28% (7)	56% (14)	44% (11)	4,0	7,0	6,8	7,5
2	1º E.M. (101)	15,7	65% (22)	35% (12)	47% (16)	53% (18)	4,0	7,0	4,0	6,7
2	1º E.M. (102)	15,6	50% (14)	50% (14)	43% (12)	57% (16)	4,5	8,0	5,7	7,0
2	2º E.M. (201)	16,5	42% (13)	58% (18)	48% (15)	52% (16)	6,0	9,0	6,0	6,0
2	3º E.M. (301)	17,0	42% (10)	58% (14)	38% (9)	63% (15)	7,0	11,0	6,2	7,2
2	3º E.M. (302)	17,2	74% (14)	26% (5)	47% (9)	53% (10)	6,0	9,0	5,3	6,0
1	3º E.M. (303)	17,3	74% (14)	26% (5)	42% (8)	58% (11)	8,0	9,0	9,0	9,2

* VE: Visualização Espacial / ** CF: Conhecimento em Física

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, os dados descritivos da população não permitem aceitar ou rejeitar às hipóteses elencadas na Seção 3.3.3, para isso, se faz necessária a análise estatística dos resultados das amostras, comparando o Grupo Controle em relação ao Grupo Experimental. Para averiguar se os desempenhos de ambos os Grupos apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre a primeira e a segunda avaliação realizada para determinar o grau de habilidade em visualização espacial dos participantes (pré-teste e pós-teste), análises embasadas em testes estatísticos foram desempenhados.

Para tanto, foram utilizados testes não-paramétricos (Teste de Wilcoxon e o Teste de Kruskal-Wallis) com as amostras pareadas para determinar se a mediana da primeira avaliação difere significativamente da segunda avaliação. O intervalo de confiança para a análise das amostras foi definido em 95%, portanto, representa que o nível de significância consiste em 0,05, sendo este apresentado como p-valor nas análises e quanto menor o seu valor, maior a probabilidade de que a hipótese nula seja falsa (rejeitada). Tais análises estatísticas foram segmentadas em duas seções, objetivando responder às duas questões de pesquisa definidas para esta tese, as quais serão apresentadas nas próximas seções.

4.2.1 Questão de Pesquisa 4: O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial?

Para responder à Questão de Pesquisa 4 relacionada ao impacto dos recursos educacionais aumentados no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, testes estatísticos foram desempenhados e as análises dos seus resultados foram segmentados conforme as turmas, séries, gêneros e grupos dos participantes, com vistas a embasar a análise e discussão das evidências encontradas.

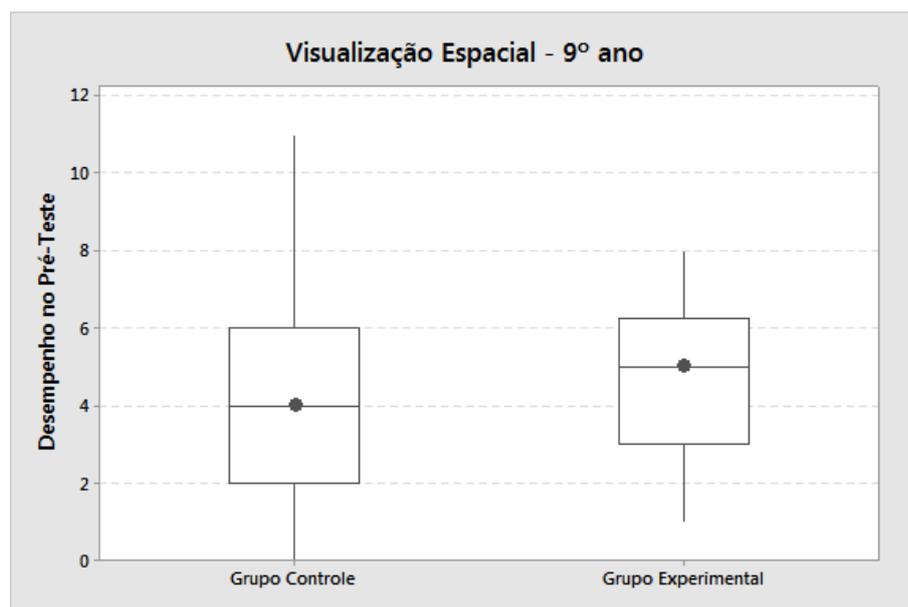
Portanto, em um primeiro momento foram elaboradas representações gráficas no formato de *boxplot* (ou diagrama de caixa) para a análise dos resultados, visto que possibilitam maior compreensão das amostras do Grupo Controle e Grupo Experimental e auxiliam na interpretação acerca dos resultados estatísticos. Para tanto, a seguir serão apresentadas as representações gráficas elaboradas individualmente para cada série e período da avaliação de visualização espacial (primeira e segunda avaliação) diferenciando os valores encontrados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental.

A Figura 4.1 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 9º ano do E.F. na avaliação que determinou a habilidade de visualização espacial (pré-teste) para ambos os Grupos, em que é possível verificar o desempenho da amostra do Grupo Controle em relação a amostra do Grupo Experimental por meio de quartis. É possível observar que a menor concentração é verificada na caixa da amplitude do Grupo Controle ($n = 27$), que representa maior amplitude interquartilica³, correspondendo à amplitude de 4 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 2 e 6 pontos.

A mediana do Grupo Controle foi de 4 pontos, ou seja, metade dos participantes obteve desempenho menor ou igual a 4 pontos e a outra metade obteve desempenho maior ou igual a 4 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude (reta vertical) demonstram que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 0 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 11 pontos.

³ **Amplitude interquartilica:** consiste em uma medida de dispersão que representa no gráfico *boxplot* a diferença entre o primeiro quartil e o terceiro quartil no formato de caixa, descrevendo 50% dos valores centrais do conjunto de dados (Khan Academy, 2019).

Figura 4.1 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 9º ano

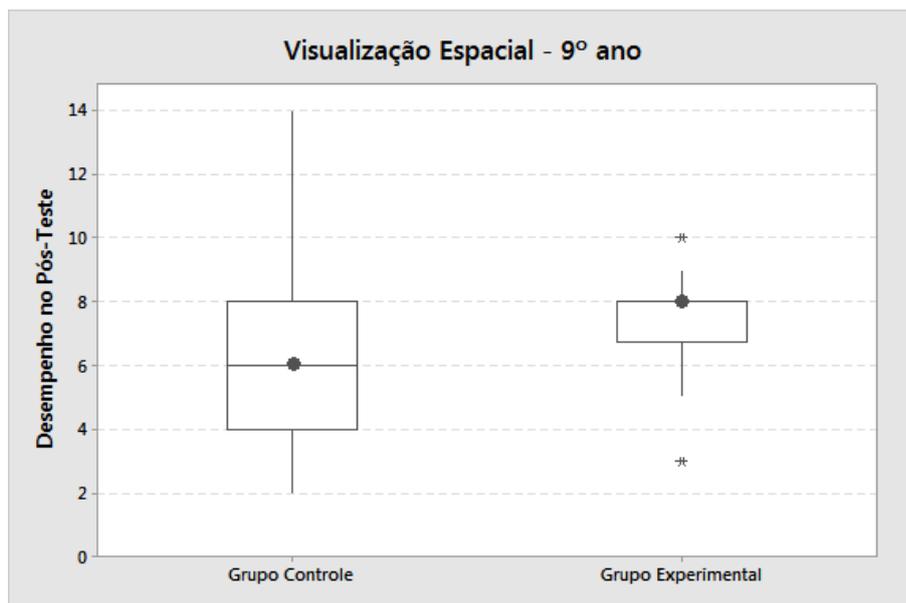


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental ($n = 26$), é possível observar menor amplitude interquartílica (Figura 4.1), representando maior concentração dos dados coletados acerca do desempenho em visualização espacial (amplitude representada por 3,25 pontos). A mediana observada foi de 5 pontos, sendo que a maioria dos participantes obteve desempenho na habilidade de visualização espacial na faixa entre 3 e 6,25 pontos (50% dos participantes). Os traços que se estendem para ambos os lados da caixa da amplitude correspondem aos demais participantes, 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 1 ponto e os outros 25% tão elevados quanto 8 pontos.

A Figura 4.2 apresenta o grau de dispersão referente ao desempenho dos participantes do 9º ano do E.F. durante a segunda avaliação de visualização espacial (pós-teste). A respeito desta distribuição, pode-se observar que o Grupo Controle ($n = 27$) apresenta mediana de 6 pontos, com maior amplitude interquartílica (4 pontos - caixa da amplitude à esquerda), sendo que 50% dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4 e 8 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude demonstram que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e outros 25% tão elevados quanto 14 pontos.

Figura 4.2 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 9º ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já o Grupo Experimental ($n = 26$) apresenta menor amplitude interquartílica com 1,25 pontos (Figura 4.2), demonstrando maior concentração dos valores. A maioria dos participantes (50% deles) obteve desempenho na habilidade de visualização espacial na faixa entre 6,75 e 8 pontos. Este resultado demonstra que além de melhorar o resultado da mediana (8 pontos), os participantes do Grupo Experimental também conseguiram desenvolver a habilidade de visualização espacial de maneira homogênea, se comparado ao Grupo Controle, que apresentou maior dispersão nos resultados dos participantes.

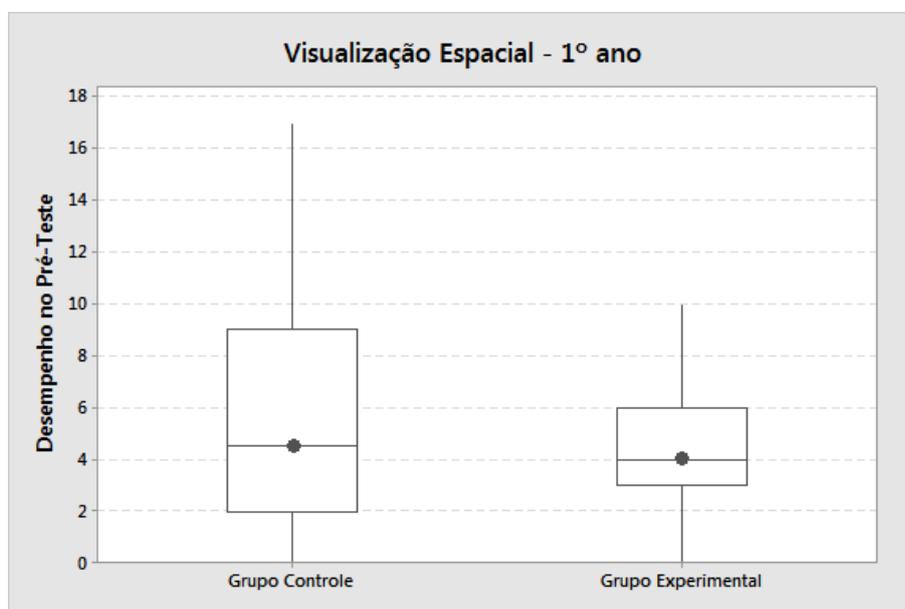
Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude correspondem aos outros 50% dos participantes, sendo que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 5 pontos e outros 25% tão elevados quanto 9 pontos, desconsiderando os valores atípicos para a formulação de ambos os traços. A respeito dos valores atípicos, representados na forma de asteriscos no *boxplot*, também denominados como *outliers*, são identificados para que não comprometam a interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados à amostra do Grupo Experimental. Este resultado demonstra que alguns participantes apresentaram um resultado significativamente maior aos demais membros do Grupo Experimental, a ponto do gráfico desconsiderá-los para não interferir no cálculo da mediana.

Na Figura 4.3 é possível verificar o grau de dispersão referente ao desempenho dos participantes de ambos os Grupos do 1º ano do E.M. na primeira avaliação de visualização espacial (pré-teste). A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle ($n = 28$)

demonstra que há maior amplitude interquartílica (7 pontos), o que denota menor concentração dos resultados dos participantes.

A mediana observada foi de 4,5 pontos e a maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 2 e 9 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 0 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 17 pontos.

Figura 4.3 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 1º ano



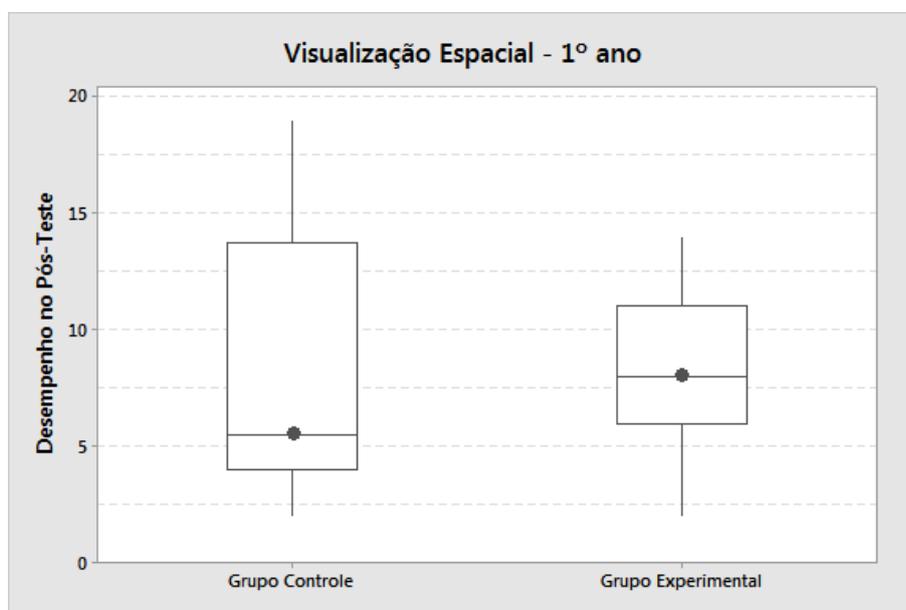
Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro dado que a Figura 4.3 apresenta está relacionado ao grau de dispersão relativo ao desempenho do Grupo Experimental ($n = 34$) na primeira avaliação de visualização espacial, correspondendo a mediana de 4 pontos, representada na caixa à direita com amplitude de 3 pontos (maior concentração dos dados), caracterizando menor amplitude interquartílica. A maior parte dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 3 e 6 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 0 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

A Figura 4.4 apresenta o grau de dispersão, por meio de quartis, referente ao desempenho de ambos os Grupos na segunda avaliação que determinou a habilidade de visualização espacial (pós-teste) para o 1º ano do E.M.. Na distribuição à esquerda, é possível verificar que o Grupo Controle ($n = 28$) apresenta maior amplitude interquartílica (9,75 pontos), com a mediana dos dados em 5,5 pontos.

A maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4 e 13,75 pontos (50% dos participantes). O traço representado pela reta vertical demonstra que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 19 pontos.

Figura 4.4 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 1º ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

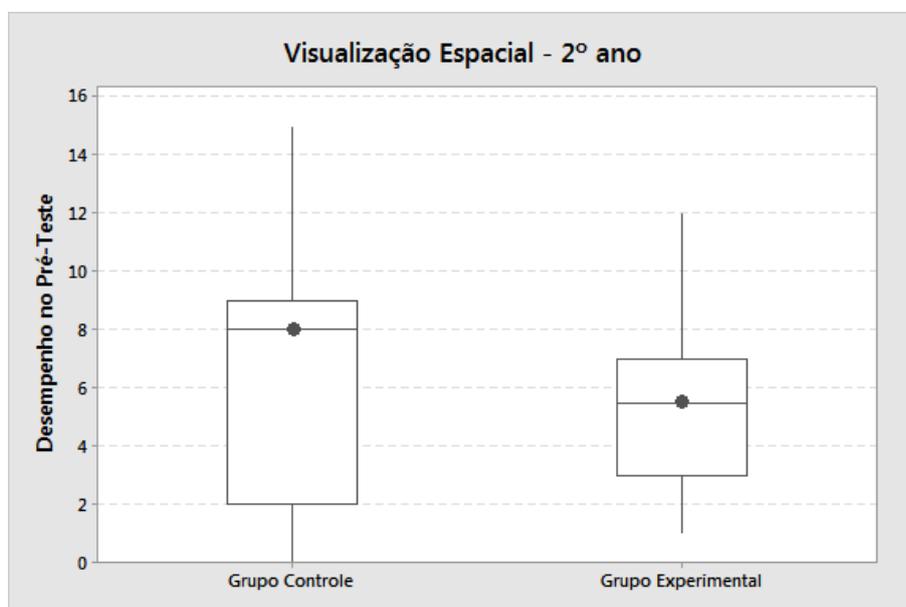
O grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 34$) para os dados amostrais do desempenho em visualização espacial apresentam menor amplitude interquartílica (5 pontos), que representa maior concentração dos dados coletados, com mediana equivalente a 8 pontos (Figura 4.4). A maior parte dos participantes, que correspondem a 50% dos dados, obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 6 e 11 pontos. Já os demais participantes, são representados pela reta vertical, que demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e outros 25% tão elevados quanto 14 pontos. Este resultado demonstra que os participantes do Grupo Experimental melhoraram o desempenho na segunda avaliação da habilidade de visualização espacial, observado através da mediana (8 pontos), além de também apresentar uma menor amplitude interquartílica, indicando homogeneidade no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, se comparado ao Grupo Controle, que apresentou maior dispersão nos resultados dos participantes.

Na Figura 4.5 pode-se verificar, por meio de quartis, o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 2º ano do E.M. na avaliação que determinou a habilidade de visualização espacial (pré-teste) para ambos os Grupos. No que diz respeito ao Grupo

Controle ($n = 15$), é possível verificar maior amplitude interquartílica (7 pontos - caixa da amplitude à esquerda), com mediana estabelecida em 8 pontos.

Na caixa da amplitude à esquerda também é possível visualizar que a maioria dos participantes (50% das amostras) alcançaram desempenho na faixa entre 2 e 9 pontos. Já os demais participantes, o traço vertical demonstra que 25% dos dados apresentaram desempenho tão baixo quanto 0 pontos e outros 25% tão elevados quanto 15 pontos.

Figura 4.5 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 2º ano



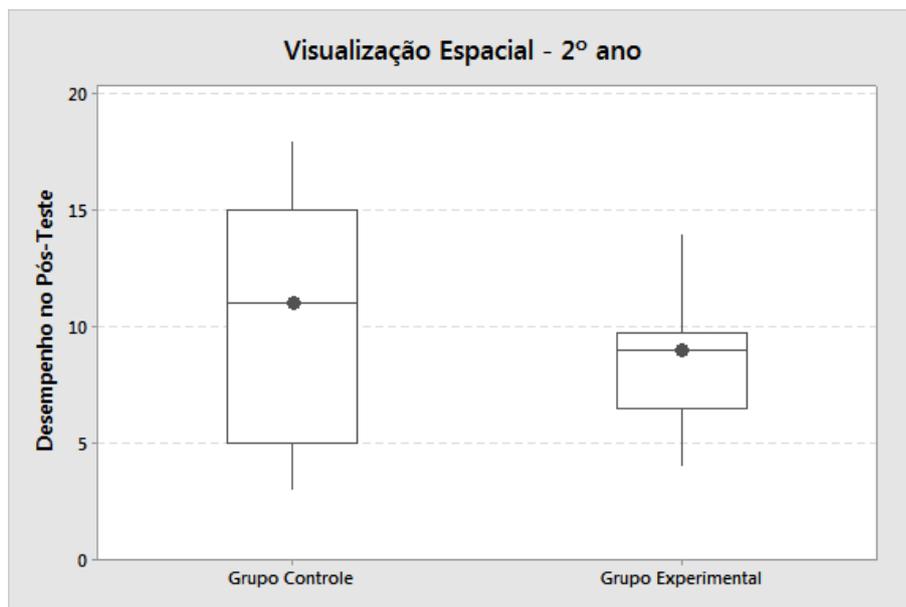
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em referência ao grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 16$) do 2º ano do E.M. no desempenho em visualização espacial (Figura 4.5), é possível identificar a com mediana equivalente a 5,5 pontos e menor amplitude interquartílica (4 pontos), que representa maior concentração nos resultados dos participantes. A maior parte dos participantes obteve desempenho de visualização espacial na faixa entre 3 e 7 pontos. A reta vertical corresponde ao desempenho dos demais participantes e demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 1 ponto e os outros 25% tão elevados quanto 12 pontos.

A respeito do grau de dispersão para ambos os Grupos do 2º ano do E.M., a Figura 4.6 apresenta a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de visualização espacial. A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle ($n = 15$) demonstra que há maior amplitude interquartílica, determinada em 10 pontos, com mediana representada em 11 pontos. A maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 5 e 15 pontos (50% das amostras). Em relação aos demais participantes, a reta

vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 3 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 18 pontos.

Figura 4.6 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 2º ano



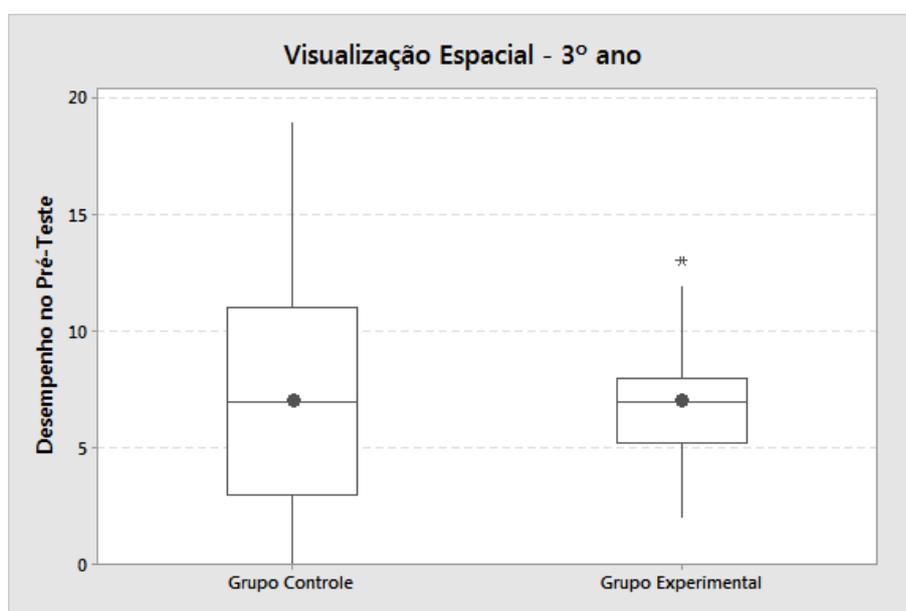
Fonte: Elaborado pelo autor.

A respeito do grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 16$) do 2º ano do E.M. no desempenho da segunda avaliação de visualização espacial, é possível identificar a mediana equivalente a 9 pontos e menor amplitude interquartílica (3,25 pontos), demonstrando maior concentração nas amostras coletadas para o Grupo Experimental (Figura 4.6). A maior parte dos participantes alcançou desempenho de visualização espacial na faixa entre 6,5 e 9,75 pontos. Acerca dos demais participantes, o traço vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 4 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 14 pontos. Com base neste resultado, é possível observar que novamente os participantes do Grupo Experimental obtiveram melhor desempenho em visualização espacial (mediana de 9 pontos), sendo constatado que também houve menor amplitude interquartílica, indicando homogeneidade nos resultados da avaliação de visualização espacial, se comparado ao Grupo Controle, que apresentou maior dispersão nos resultados dos participantes.

A Figura 4.7 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 3º ano do E.M. na avaliação que determinou o nível de visualização espacial para ambos os Grupos. No que diz respeito ao Grupo Controle ($n = 26$), é possível verificar maior amplitude interquartílica (8 pontos), o que denota menor concentração das amostras.

A performance dos participantes obteve mediana de 7 pontos, retratando que 50% dos participantes obteve desempenho inferior ou igual a 7 pontos e os outros 50% superior ou igual a 7 pontos. Na caixa da amplitude à esquerda também é possível visualizar que a maioria dos participantes (50% das amostras) alcançaram desempenho na faixa entre 3 e 11 pontos. Os demais participantes são representados pela reta vertical em ambos os lados da caixa da amplitude, os quais correspondem aos 25% dos participantes que apresentaram performance tão baixo quanto 0 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 19 pontos.

Figura 4.7 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de visualização espacial - 3º ano



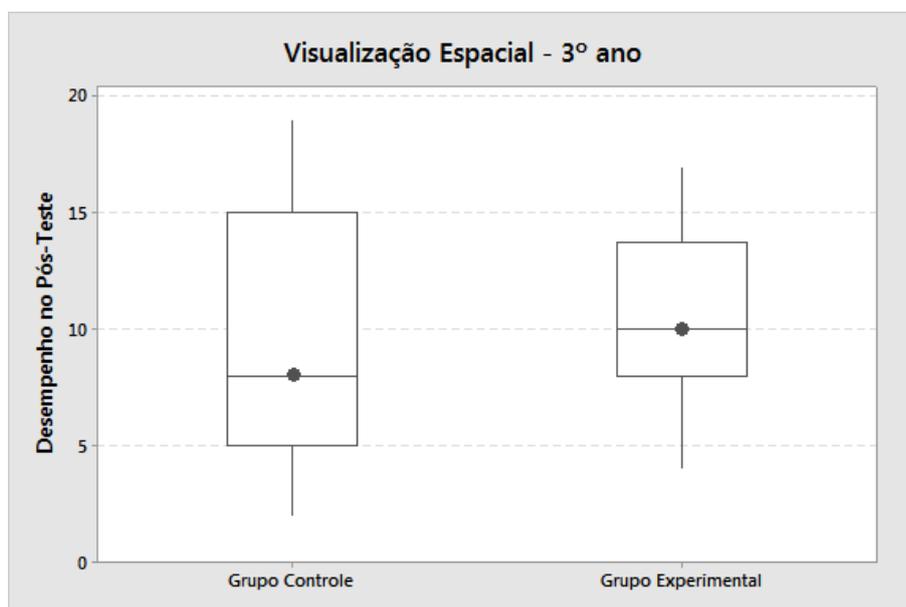
Fonte: Elaborado pelo autor.

Já o Grupo Experimental ($n = 36$) (Figura 4.7), demonstra que o grau de dispersão no desempenho dos participantes do 3º ano do E.M. na avaliação do nível de visualização espacial, indica menor amplitude interquartílica (2,75 pontos), demonstrando maior concentração nas amostras coletadas para o Grupo Experimental. A performance dos participantes resultou na mediana de 7 pontos.

Também é possível verificar que a maioria dos participantes (50% das amostras) alcançaram desempenho na faixa entre 5,25 e 8 pontos. A reta vertical apresenta os traços que correspondem aos demais participantes, sendo que 25% dos participantes apresentaram performance tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 12 pontos. Na Figura 4.7 também é possível verificar o valor identificado como atípico e representado na forma de asterisco, identificado para que não comprometa a interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados nas amostras do Grupo Experimental.

A respeito do grau de dispersão identificado na performance de ambos os Grupos do 3º ano do E.M., a Figura 4.8 apresenta a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de visualização espacial. A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle (n = 26) demonstra maior amplitude interquartílica (10 pontos), com mediana representada em 8 pontos. A maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 5 e 15 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, o traço vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 19 pontos.

Figura 4.8 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de visualização espacial - 3º ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental (n = 36), a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de visualização espacial demonstra menor amplitude interquartílica (5,75 pontos), indicando maior concentração no desempenho dos participantes (Figura 4.8). O resultado da mediana no desempenho de visualização espacial foi de 10 pontos. A maioria dos participantes (50% das amostras) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 8 e 13,75 pontos. Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 4 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 17 pontos. Este resultado demonstra que novamente os participantes do Grupo Experimental alcançaram uma melhora no desempenho de visualização espacial, sendo calculada a mediana de 10 pontos. O Grupo Experimental também apresentou menor amplitude interquartílica, indicando homogeneidade do Grupo Experimental no

desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, se comparado ao Grupo Controle, que apresentou maior dispersão nos resultados dos participantes.

4.2.1.1 Análises estatísticas do desempenho em visualização espacial entre turmas

Num primeiro momento, com o objetivo de apresentar o panorama geral das amostras coletadas, os resultados dos participantes da mesma série foram comparados entre suas respectivas turmas, independentemente dos seus respectivos grupos, sejam Grupo Controle e Experimental, com a finalidade de demonstrar o desempenho das turmas na avaliação que determinou o grau da habilidade de visualização espacial (Tabela 4.5). Nesta perspectiva, foram realizados testes comparativos para sete turmas (Turmas 9A, 9B, 101, 102, 301, 302 e 303), das oito turmas que participaram desta pesquisa, sendo excluída apenas a Turma 201, por não haver outra amostra de mesma série, o que impossibilita efetuar a comparação entre as turmas da mesma série.

Tabela 4.5 – Comparações entre Turmas da mesma série

9º ano do E.F. - Turmas 9A / 9B				
Avaliação	T. 9A	T. 9B	p-valor	
Pré-Teste (VE*)	5	4	0.3227	
Pós-Teste (VE)	7	7	0.2488	
p-valor	<0,001	0.0001003		
1º ano do E.M. - Turmas 101 / 102				
Avaliação	T. 101	T. 102	p-valor	
Pré-Teste (VE)	4	4,5	0.9489	
Pós-Teste (VE)	7	8	0.8591	
p-valor	<0,001	<0,001		
3º ano do E.M. - Turmas 301/ 302 / 303				
Avaliação	T. 301	T. 302	T. 303	p-valor
Pré-Teste (VE)	7	6	8	0.1133
Pós-Teste (VE)	11	9	9	0.4618
p-valor	<0,001	0.0001345	0.01571	

* VE → Visualização Espacial

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste estatístico executado acima, Tabela 4.5, foi utilizado para demonstrar o panorama geral entre as turmas de mesma série acerca do grau em que os participantes se encontravam no quesito visualização espacial antes e depois das atividades envolvendo o uso de recursos aumentados, configurando-se em uma importante base para as conjecturas que serão apresentadas na sequência desta seção.

A primeira análise realizada demonstra que não houve diferença estatisticamente significativa entre a mediana das Turmas 9A e 9B durante a primeira avaliação (Pré-Teste apontado na Tabela 4.5) que determinou o grau de habilidade de visualização espacial dos participantes (p-valor 0.3227). O mesmo padrão também ocorre para as análises entre as demais turmas, não havendo diferença estatisticamente significativa entre as Turmas 101 e 102 (p-valor 0.9489), assim como entre as Turmas 301, 302 e 303 (p-valor 0.1133), dado os resultados medianos de cada turma para a primeira avaliação de visualização espacial. A não ocorrência da diferença estatisticamente significativa se configura em um importante resultado para esta análise preliminar, pois apresenta evidências de que há consistência entre as turmas na primeira avaliação, característica que representa a homogeneidade das turmas antes da realização das atividades com os recursos educacionais aumentados. Caso houvessem diferenças significativas entre as amostras das turmas, as análises estatísticas subsequentes estariam comprometidas por demonstrar que as amostras eram diferentes antes mesmo do início das atividades com os recursos educacionais aumentados, em outras palavras, na primeira avaliação uma das turmas já possuiria melhores resultados que a outra e, possivelmente, obteria vantagem nos resultados.

Ainda sobre a Tabela 4.5, em relação à análise estatística referente à segunda avaliação que determinou a habilidade de visualização espacial dos participantes, apontando como Pós-Teste na Tabela 4.5, as evidências coletadas demonstram que os participantes alcançaram melhores resultados, visto que todas as medianas apresentaram números substancialmente maiores em comparação a primeira avaliação. Embora nenhuma comparação entre turmas da mesma série tenha apresentado diferença estatisticamente significativa, como pode ser visto na comparação entre as Turmas 9A e 9B (p-valor de 0.2488), 101 e 102 (p-valor de 0.8591) e 301, 302 e 303 (p-valor de 0.4618), foram identificados avanços entre Pré-Teste e Pós-Teste para cada turma, individualmente, o que se configura como uma importante evidência para esta pesquisa, considerando que houve melhora nos resultados das medianas do Pré-Teste para o Pós-Teste das Turmas 9A (p-valor <0,001), 9B (p-valor 0.0001003), 101 (p-valor <0,001), 102 (p-valor <0,001), 301 (p-valor <0,001), 302 (p-valor 0.0001345) e 303 (p-valor 0.01571), resultados que correspondem a

diferença estatisticamente significativa individual para cada turma no quesito de habilidade de visualização espacial.

4.2.1.2 Análises estatísticas do desempenho em visualização espacial entre grupos de mesma série

Na expectativa de demonstrar o desempenho dos participantes em cada grupo observado durante esta pesquisa, sendo o Grupo Controle aqueles que não interagiram com os recursos educacionais aumentados e o Grupo Experimental os participantes que interagiram, os testes estatísticos foram executados novamente para evidenciar se houve diferença estatisticamente significativa entre o desempenho de cada grupo para cada série, assim como se houve diferença estatisticamente significativa entre o resultado da primeira avaliação em relação a segunda avaliação que determinou o grau da habilidade de visualização espacial (Tabela 4.6). Nesta perspectiva, foram realizados testes comparativos para as oito turmas (Turmas 9A, 9B, 101, 102, 201, 301, 302 e 303) que participaram desta pesquisa.

A respeito da primeira análise realizada para verificar se as turmas pertencentes ao 9º ano do E.F. demonstraram diferença estatisticamente significativa entre a mediana dos participantes do Grupo Controle para o Grupo Experimental durante a primeira avaliação (Pré-Teste apontado na Tabela 4.6) que determinou o grau de habilidade de visualização espacial dos participantes, foi possível evidenciar que não houve diferença estatisticamente significativa, dado que o p-valor foi de 0.2154. Nesta perspectiva, a rejeição da hipótese nula retrata um resultado positivo para esta investigação, dado que apresenta evidências da uniformidade entre os grupos antes mesmo do início dos testes, aspecto que representa a homogeneidade dos grupos antes da realização das atividades com os recursos educacionais aumentados.

Ainda sobre as análises do 9º ano do E.F., também foi possível verificar que na segunda avaliação de visualização espacial (Pós-Teste), houve uma melhora expressiva na mediana relativa ao desempenho do Grupo Experimental em relação ao Grupo Controle, fato que revela que houve diferença estatística significativa (p-valor 0.03227) (Tabela 4.6). Acerca da interpretação de análises estatísticas, quando ocorrem diferenças estatísticas significativas, a explicação é de que as diferenças encontradas não são atribuídas ao acaso e, portanto, infere-se que são causadas pelos efeitos das ações investigadas nesta pesquisa. Tal constatação oferece evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, indício de que o aplicativo de realidade aumentada contribui para o

desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, dado que a mediana referente ao desempenho em visualização espacial entre o Grupo Experimental e Controle demonstrou que houve diferenças significativas estatisticamente.

Outra evidência que corrobora com as asserções destacadas acima, consiste nos resultados obtidos no desempenho do Pré-Teste e Pós-Teste de cada Grupo, que demonstra que em ambos os Grupos apresentaram diferença estatística significativa da primeira avaliação para a segunda avaliação de visualização espacial, especialmente para o Grupo Experimental (p-valor $<0,0001$), pois apresenta indícios que fundamentam a inferência de que melhora no desempenho da visualização espacial não foi por acaso, mas em decorrência do uso do aplicativo de realidade aumentada.

O teste estatístico descrito anteriormente foi novamente executado para as demais séries (Tabela 4.6). Em relação às turmas do 1º ano do E.M. é possível verificar que na primeira avaliação de visualização espacial, ambos os grupos se mostraram homogêneos (p-valor 0.7868), dado o resultado mediano de cada grupo, constituindo em um resultado positivo. Já em relação a segunda avaliação do 1º ano do E.M., foi constatado que não houve diferença estatística significativa (p-valor 0.3709), resultado contrário ao que era esperado pelo pesquisador. Entretanto, ao analisar a evolução do desempenho de cada grupo no quesito visualização espacial, foi possível evidenciar que o Grupo Experimental obteve diferença estatisticamente significativa (p-valor $<0,001$), aspecto também constatado no Grupo Controle (p-valor 0.0001316).

O mesmo padrão ocorreu para as análises entre as demais séries, não havendo diferença estatisticamente significativa entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental durante a primeira avaliação de visualização espacial, desempenhos que demonstram a homogeneidade dos grupos de mesma série, conforme demonstrado na Tabela 4.6: 1º ano do E.M. (p-valor 0.7868), 2º ano do E.M. (p-valor 0.2834) e 3º ano do E.M. (p-valor 0.8296).

Em relação à segunda avaliação de visualização espacial, os testes estatísticos demonstraram que novamente não houve diferença estatística significativa entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental do 1º ano do E.M. (p-valor 0.3709), 2º ano E.M (p-valor 0.2018) e 3º ano do E.M. (p-valor 0.2555). Entretanto, através dos testes estatísticos foi possível constatar que houve diferença estatística significativa em relação ao desempenho de cada grupo em cada série entre a primeira e a segunda avaliação de visualização espacial, dado que no 1º ano do E.M. o Grupo Controle (p-valor 0.0001316) e Grupo Experimental (p-valor $<0,001$) obtiveram melhor desempenho na segunda avaliação, tal como ocorreu nas demais comparações entre grupos da mesma série: 2º ano do E.M. o Grupo Controle (p-valor

0.0006824) e Grupo Experimental (p-valor 0.001543) e 3º ano do E.M. o Grupo Controle (p-valor 0.002431) e Grupo Experimental (p-valor <0,001).

Tabela 4.6 – Comparações entre Grupos da mesma série em relação ao desempenho de Visualização Espacial

9º ano do E.F. - Turmas 9A / 9B			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (VE*)	4	5	0.2154
Pós-Teste (VE)	6	8	0.03227
p-valor	<0,001	<0,001	
1º ano do E.M. - Turmas 101 / 102			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (VE)	4,5	4	0.7868
Pós-Teste (VE)	5,5	8	0.3709
p-valor	0.0001316	<0,001	
2º ano do E.M. - Turma 201			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (VE)	8	5,5	0.2834
Pós-Teste (VE)	11	9	0.2018
p-valor	0.0006824	0.001543	
3º ano do E.M. - Turmas 301 / 302 / 303			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (VE)	7	7	0.8296
Pós-Teste (VE)	8	10	0.2555
p-valor	0.002431	<0,001	

* VE → Visualização Espacial

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que a diferença estatisticamente significativa evidenciada no desempenho da habilidade de visualização espacial do Grupo Experimental entre a primeira e a segunda avaliação não se deu por acaso, sendo assim é possível inferir que essa melhora no desempenho está atribuída aos efeitos relacionados ao uso dos recursos educacionais aumentados. Além disso, mesmo que em algumas séries não tenham apresentado diferença estatística significativa, Rumsey (2009) explica que isso não indica que o efeito não tenha

sido substantivo, apenas que não houve evidência forte suficiente para comprovar que a hipótese nula era falsa.

4.2.1.3 Diferenças de gênero intergrupo em relação a habilidade de visualização espacial

Na expectativa de evidenciar o desempenho dos participantes em cada grupo distinguindo a performance entre gêneros, os testes estatísticos foram executados para evidenciar se houve diferença estaticamente significativa entre o gênero feminino e masculino em cada grupo, assim como se houve diferença estaticamente significativa entre o resultado da primeira avaliação em relação a segunda avaliação que determinou o grau da habilidade de visualização espacial (Tabela 4.7).

A Tabela 4.7 demonstra na primeira análise que no Grupo Controle os participantes não apresentaram em seu desempenho diferença estatisticamente significativa na primeira avaliação entre o gênero feminino e masculino (p-valor 0.4612), aspecto positivo pois demonstra a homogeneidade das amostras. Na segunda avaliação também foi verificado que não houve diferença estatística significativa entre a performance do gênero feminino e masculino (p-valor 0.7798). Entretanto, foram observados resultados positivos no que tange a melhora da performance para ambos os gêneros, demonstrando que o gênero masculino apresentou diferença estatística significativa entre a primeira e a segunda avaliação (p-valor <0,001), assim como os participantes do gênero feminino (p-valor <0,001).

Tabela 4.7 – Comparações de gêneros intergrupo

Controle	n	Pré-Teste (VE*)	Pós-Teste (VE)	p-valor
Masculino	59	5	7	<0,001
Feminino	37	5	7	<0,001
p-valor		0.4612	0.7798	
Experimental	n	Pré-Teste (VE)	Pós-Teste (VE)	p-valor
Masculino	60	6	8	<0,001
Feminino	52	5	8	<0,001
p-valor		0.05746	0.7466	

* VE → Visualização Espacial

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a análise do Grupo Experimental, os participantes apresentaram diferença estatística significativa na primeira avaliação de visualização espacial entre o desempenho do gênero feminino e masculino (p-valor 0.05746), demonstrando que havia positiva uniformidade entre as amostras. Na segunda avaliação novamente foi observado que não houve diferença significativa em termos estatísticos entre a performance do gênero feminino e masculino (p-valor 0.7466). No entanto, os testes estatísticos demonstraram que foi constatada uma melhora estatisticamente significativamente da performance entre a primeira avaliação e a segunda avaliação, tanto para o gênero feminino (p-valor <0,001) como para o gênero masculino (p-valor <0,001).

A Tabela 4.7 demonstra que na primeira avaliação, o teste que comparou os gêneros do Grupo Experimental apresentou diferença estatisticamente significativa entre os participantes dos gêneros masculino e feminino, pois os participantes do gênero masculino apresentaram melhor desempenho mediano na avaliação de visualização espacial. Este resultado vai ao encontro de estudos prévios, tal como demonstra o relatório da OECD sobre igualdade de gênero na educação “os meninos geralmente superam as meninas em tarefas cognitivas que exigem uma quantidade maior de processamento de informações abstratas” (OECD, 2015), assim como Yang e Chen (2010) relataram em sua pesquisa acerca das diferenças de gênero em habilidades espaciais, que mostraram que os homens superaram as mulheres em atividades que demandam habilidades espaciais.

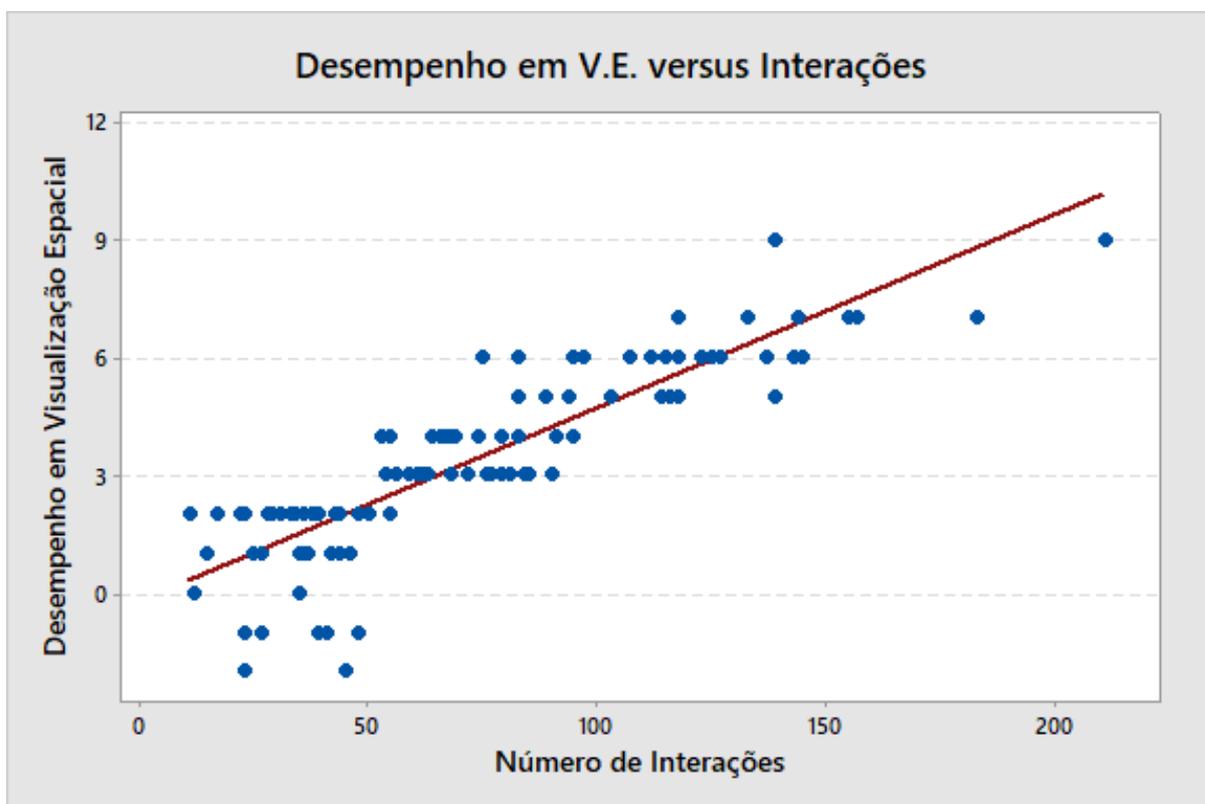
Embora os resultados da primeira avaliação tenham indicado que a habilidade de visualização espacial do gênero masculino foi superior à do gênero feminino (p-valor 0.05746), as diferenças entre os gêneros foram reduzidas na segunda avaliação. Mais especificamente, não foram encontradas evidências estatisticamente significativas entre o desempenho dos gêneros na segunda avaliação (p-valor 0.7466). Este resultado indica que a habilidade de visualização espacial do gênero feminino foi melhorada significativamente após o uso dos recursos educacionais aumentados (p-valor <0,001).

Nesta perspectiva, as evidências descobertas se alinham com os resultados encontrados em pesquisa prévia de Saccuzzo et al. (1996), que também demonstraram que haviam diferenças nas habilidades espaciais entre os gêneros no início, com o gênero masculino apresentando melhores resultados, porém os participantes do gênero feminino melhoraram em ritmo mais rápido e também não foram estatisticamente diferentes do gênero masculino nas atividades que realizaram usando o computador.

4.2.1.4 Análise do Desempenho em Visualização Espacial e Interação com recursos educacionais aumentados

A fim de investigar o quanto as interações dos participantes com os recursos educacionais aumentados poderiam influenciar no desempenho individual para as avaliações de visualização espacial, a análise da dispersão foi realizada com o objetivo de representar graficamente a relação entre o desempenho dos participantes e as suas interações. Para a elaboração deste gráfico foram consideradas apenas as amostras do Grupo Experimental, em virtude de serem os únicos participantes a utilizarem os recursos educacionais aumentados. O valor utilizado como referência para o desempenho (Eixo Y) foi a diferença da subtração entre os resultados individuais do participante para a primeira e a segunda avaliação de visualização espacial. Em relação ao número de interações para cada participante (Eixo X), o valor de referência utilizado foi a quantidade de interações coletadas no log (registro) do aplicativo de realidade aumentada de cada participante (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Gráfico de dispersão para o desempenho em V.E. e o número de interações



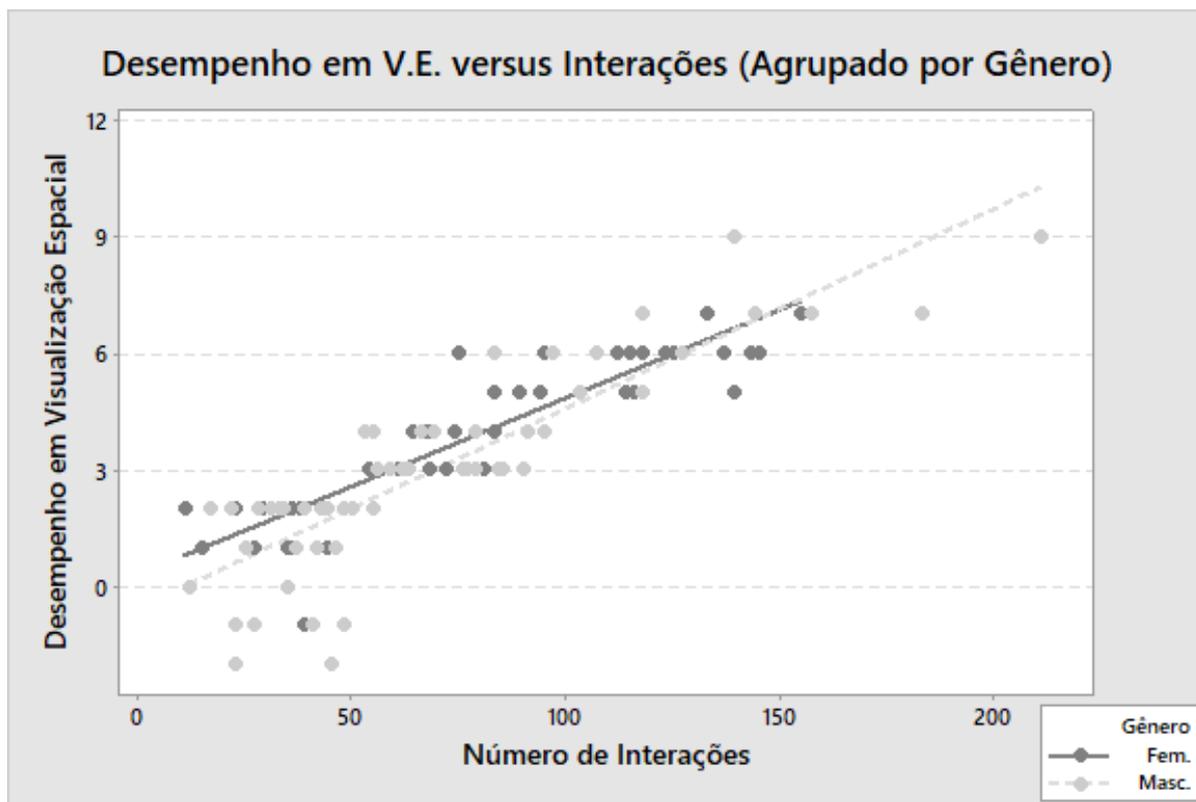
Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da representação gráfica apresentada acima (Figura 4.9) é possível observar que existe relação entre as interações e a melhora na performance da habilidade de visualização espacial, dado que, à medida em que é possível observar o aumento das interações também se observa o aumento no desempenho, características que podem ser verificadas através das associações entre as duas variáveis (pontos azuis) e corroborado pela tendência da linha de regressão (linha vermelha). Entretanto, a interpretação da representação gráfica por si só, não possibilita definir o quão determinante foi essa relação.

Para determinar o grau da relação entre as variáveis de desempenho em visualização espacial e número de interações, foi utilizado a medida de associação denominada coeficiente de correlação de Spearman, a qual resulta no coeficiente ρ que varia entre -1 e 1, quanto mais próximo dos extremos o coeficiente estiver, maior associação entre as variáveis. O coeficiente obtido através do teste de correlação de Spearman foi de 0,90124, demonstrando alto grau de associação entre as variáveis com diferença estatística significativa (p-valor <0,001). Este resultado representa que existe associação entre as variáveis testadas nesta pesquisa, indicando que quanto maior foi o número de interações do participante, maior foi o desempenho em visualização espacial. Para corroborar com o resultado observado na correlação de Spearman, foi realizada a análise de regressão para encontrar o coeficiente de determinação (R^2), medida que corresponde a qualidade do ajuste do modelo estatístico aos dados observados e varia entre 0 e 1. O resultado obtido para o modelo estatístico foi de 0,8122, demonstrando que o coeficiente de determinação equivalente a 81,22% consegue explicar os resultados observados através das amostras do Grupo Experimental no desempenho de visualização espacial.

A representação gráfica da dispersão demonstrando o desempenho em visualização espacial e o número de interações do participante foi novamente executada, porém, agora com o agrupamento por gênero, a fim de identificar se algum gênero obteve melhor desempenho em relação ao outro no que tange a performance em visualização espacial. Para tanto, foi realizada a análise da distribuição da performance individual de cada participante na avaliação que determinou o grau da habilidade de visualização espacial (Eixo Y) em relação ao número de interações (Eixo X) realizadas no aplicativo de realidade aumentada pelo participante, agrupando a dispersão por gênero (Figura 4.10).

Figura 4.10 – Gráfico de dispersão para o desempenho em visualização espacial e o número de interações - agrupamento por gênero



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a literatura apresente resultados indicando que frequentemente o gênero masculino apresenta maior aptidão em relação ao gênero feminino em atividades que envolvam e/ou demandam da habilidade de visualização espacial (SACCUZZO et al., 1996; YANG & CHEN, 2010; OECD, 2015), foi possível observar na análise acima (Figura 4.10) que a dispersão dos dados se dá de maneira concentrada para ambos os gêneros, não sendo possível destacar diferença estatisticamente significativa.

No entanto, pode-se observar que o gênero feminino obteve concentração na distribuição dos pontos em faixa de desempenho superior e de maior interação em relação ao gênero masculino, aspecto que indica melhor performance e maior interação do gênero feminino com os recursos educacionais aumentados, assim como já verificado na mediana apresentada na Tabela 4.7. Além disso, também pode-se observar que a tendência da linha de regressão do gênero feminino apresenta melhor desempenho e mais ao centro, enquanto que a linha do gênero masculino inicia abaixo e se dispersa ao longo do gráfico.

Por fim, o resultado encontrado demonstrou que existe relação positiva entre as interações do participante com os recursos educacionais aumentados e a sua performance em

visualização espacial, perspectiva esperada pelo pesquisador, dado que a literatura apresenta vasta argumentação acerca do tema, tal como as pesquisas conduzidas por Mayer (2009), que defende a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e estabelece doze princípios para construir representações mentais através de recursos multimídia, com o argumento de que durante o processo de tentar construir conexões entre palavras e imagens, os aprendizes são capazes de criar uma compreensão mais profunda do que poderiam criar a partir de apenas palavras ou imagens.

Nesta perspectiva, os recursos educacionais aumentados aos quais os participantes do Grupo Experimental interagiram, proporcionaram tanto a interação com recursos multimídia, e.g. objetos 3D, simulações, vídeos, imagens e áudios narrativos, como também a construção de uma compreensão mais profunda, através da combinação dos recursos multimídia aumentados. Este resultado é considerado uma importante contribuição desta pesquisa, pois apresenta evidências sólidas, capazes de comprovar estatisticamente tal constatação, perspectiva alcançada através do coeficiente de Spearman (ρ 0,90124) que demonstrou alto grau de associação entre as variáveis de interação com os recursos multimídia e de performance em visualização espacial, com diferença estatística significativa (p-valor $<0,001$), corroborado pelo coeficiente de determinação de 81,22%.

4.2.1.5 Comparação entre resultados observados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental

A fim de evidenciar o desempenho global entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental, análises estatísticas foram realizadas. Ao executar testes estatísticos para comparar ambos os grupos (Tabela 4.8) englobando todas as amostras demonstradas nas análises anteriores, foi possível evidenciar que o desempenho entre os grupos para a primeira avaliação não demonstrou diferença significativa em termos estatísticos (p-valor 0.7496), resultado favorável que demonstra que as amostras eram equivalentes antes da realização das atividades envolvendo os recursos educacionais aumentados.

No entanto, durante a segunda avaliação que determinou o grau de habilidade de visualização espacial dos participantes, foi possível identificar que o desempenho entre os grupos obteve diferença estatisticamente significativa (p-valor 0.05103), dado que o Grupo Experimental alcançou desempenho na mediana melhor na segunda avaliação em relação ao Grupo Controle. Este é um importante resultado, dado que apresenta evidências de que a diferença estatisticamente significativa evidenciada no desempenho da habilidade de

visualização espacial do Grupo Experimental entre a primeira e a segunda avaliação não se deu por acaso, permitindo realizar a inferência de que essa melhora no desempenho está atribuída aos efeitos relacionados ao uso dos recursos educacionais aumentados.

Tabela 4.8 – Comparação geral do Grupo Controle com o Grupo Experimental

Total	n	Pré-Teste (VE*)	Pós-Teste (VE)	p-valor
Controle	96	5,75	7,00	<0,001
Experimental	112	5,25	8,50	<0,001
p-valor		0.7496	0.05103	

* VE → Visualização Espacial

Fonte: Elaborado pelo autor.

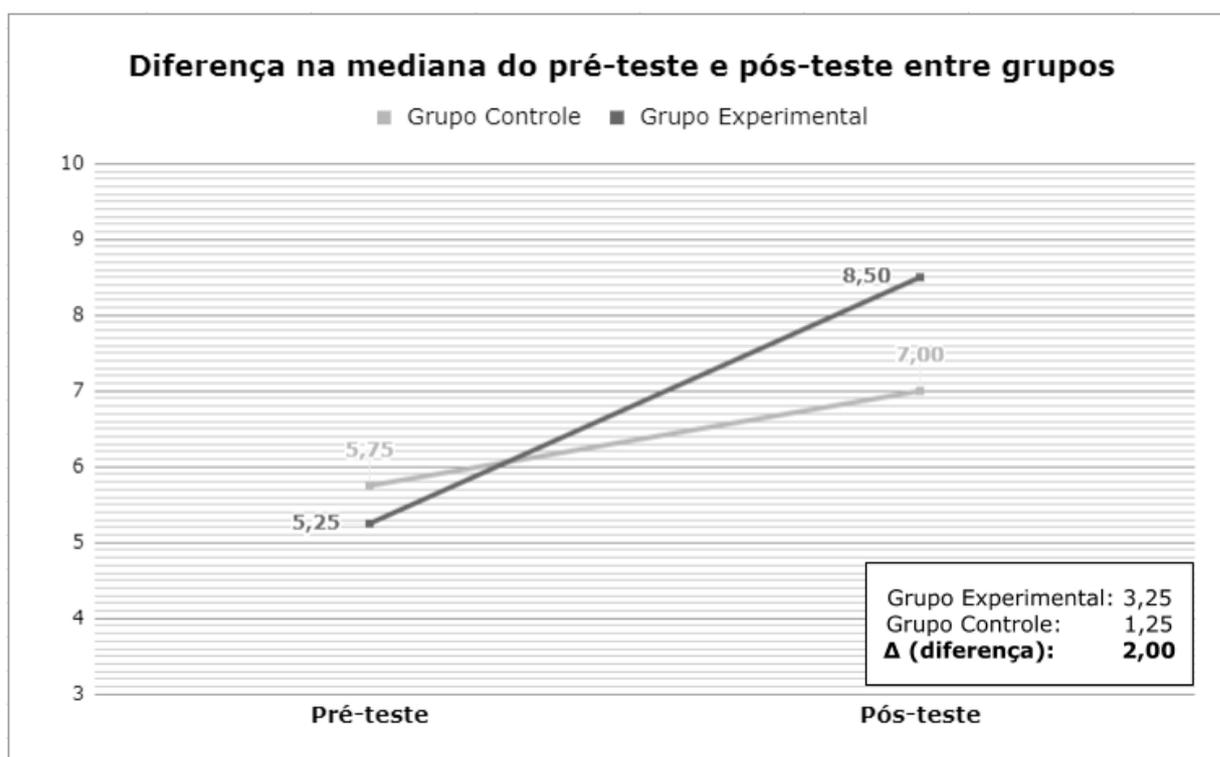
Outro resultado que corrobora a diferença observada acima, consiste na melhora do desempenho em cada grupo, uma vez que as comparações entre a primeira avaliação e a segunda avaliação reforçam a afirmativa de que a melhora não foi por acaso, mas sim pelos efeitos da pesquisa, mais especificamente, pelo uso dos recursos educacionais aumentados, dado que a melhora na performance individual de cada grupo demonstra que em ambos os casos houve diferença estatisticamente significativa, tanto no Grupo Controle (p-valor <0,001) e, principalmente, no Grupo Experimental (p-valor <0,001).

Embora algumas análises estatísticas individuais apresentadas em seções anteriores não tenham apresentado diferença significativa, é preciso destacar que na análise global dos resultados, os efeitos do uso dos recursos educacionais aumentados apresentam relevância para o desenvolvimento da visualização espacial, fato já comprovado através da diferença estatística apresentada anteriormente (p-valor 0.05103). Assim sendo, na expectativa de representar graficamente a diferença global entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental para as avaliações que determinaram o nível de visualização espacial de ambos, a Figura 4.11 apresenta a comparação entre o desempenho do Grupo Controle em relação ao desempenho do Grupo Experimental tanto para a primeira avaliação (Pré-Teste) como na segunda avaliação (Pós-Teste).

Na Figura 4.11 é possível observar que o Grupo Controle obteve desempenho mediano (5,75 pontos) superior ao Grupo Experimental (5,25 pontos) na primeira avaliação de visualização espacial. Entretanto, na segunda avaliação o Grupo Controle obteve desempenho mediano (7 pontos) inferior ao Grupo Experimental (8,50 pontos), comprovando a relevância

dos resultados apresentados anteriormente. Outra análise viável consiste na diferença entre a primeira e a segunda avaliação de cada grupo, em que foi constatado que o Grupo Experimental obteve aumento na performance de 3,25 pontos enquanto que o Grupo Controle obteve aumento de apenas 1,25 pontos entre a primeira e a segunda avaliação de visualização espacial. A diferença observada na Figura 4.11 estabelece que existe variação entre os grupos, em que os participantes que utilizaram os recursos educacionais aumentados tiveram melhor desempenho de visualização espacial em comparação com aqueles participantes que seguiram realizando apenas as atividades tradicionais de sala de aula.

Figura 4.11 – Comparação de desempenho entre grupos (n = 208)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a intenção de verificar se os resultados alcançados podem ser considerados positivos em uma perspectiva mais ampla, os mesmos foram comparados com os resultados encontrados no âmbito mundial, a fim de verificar se o desempenho dos participantes do Grupo Experimental acerca da habilidade de visualização espacial acompanhou os resultados obtidos em outros países. Para tanto, foi realizada uma análise com o intuito de comparar a performance dos participantes da amostra desta tese em relação aos resultados de outras pesquisas, que também utilizaram o mesmo questionário para mensurar a habilidade de visualização espacial.

Os resultados foram apresentados na Tabela 4.9, em que é possível verificar que a amostra do Grupo Experimental corresponde ao desempenho dos participantes apresentados nesta tese (para compor o valor da média foram considerados os desempenhos de cada participante na primeira e segunda avaliação). Em relação aos resultados do grupo global, os dados foram coletados do relatório do teste de visualização espacial (PRIETO, 2010).

Tabela 4.9 – Comparação da média global do TVZ em relação a amostra desta tese

	n	Média (Acertos)	Desvio Padrão	Mínimo (Acertos)	Máximo (Acertos)
Global*	2112	7,69	5,08	0	20
Experimental **	112	7,08	2,68	2	15

* Amostras Global (amostras de Prieto, 2010)					
País	N	Áreas	Masculino	Feminino	Idade (Méd.)
Brasil	269	Engenharia	72,9%	27,1%	19,09
Brasil	425	Ensino Médio	73,4%	26,6%	18,09
Argentina	390	Engenharia	71,8%	28,2%	18,30
Perú	295	Engenharia	73,9%	26,1%	19,14
Espanha	629	Psicologia	11,6%	88,4%	20,67

** Amostra do Grupo Experimental (amostra coletada no âmbito desta Tese)					
País	N	Áreas	Masculino	Feminino	Idade (Méd.)
Brasil	112	E.F. / E.M.	53,6%	46,4%	16,03

Fonte: adaptado de Prieto (2010).

A Tabela 4.9 apresenta resultados descritivos acerca da amostra Global e Experimental. Os resultados da amostra global foram apurados com base em 2112 participantes, que alcançaram média de acertos equivalente a 7,69 pontos, sendo observado que o mínimo de acerto foi de 0 pontos e máximo de acerto sendo 20 pontos entre os participantes, também foi calculado o desvio padrão da amostra, que indicou alta dispersão no desempenho dos participantes, equivalente a 5,08. Para a amostra do Grupo Experimental coletada nesta tese, apurada com base em 112 participantes, foi evidenciado que a média de acertos foi de 7,08 pontos, sendo que o mínimo de acertos foi equivalente a 2 pontos e o máximo de 15 pontos, já o desvio padrão da amostra foi de 2,68, resultado que pode ser considerado baixo medida de dispersão e demonstra que os participantes do grupo experimental apresentaram desempenho mais concentrado em relação a amostra global.

Outra discussão interessante sobre o resultado do Grupo Experimental (Tabela 4.9) consiste na média da pontuação global relacionada ao desempenho em Ciências de cada país analisado pela avaliação do PISA (OECD, 2016). Os dados do PISA demonstram que a maior

parte dos países considerados na amostra Global (Tabela 4.9) possuem resultados superiores em Ciências. Com exceção do Peru (média de pontos 397), os demais países que compõem a amostra Global possuem pontuação média igual ou superior à pontuação média da amostra do Grupo Experimental: Espanha (média de pontos 493), Argentina (média de pontos 475) e Brasil (média de pontos 401). Nesta perspectiva, é possível constatar que mais da metade da amostra Global possui desempenho superior na pontuação média de Ciências, conforme a avaliação do PISA, e, este fato explica o desempenho superior obtido pelos participantes pertencentes da amostra Global. Por outro lado, em relação a amostra do Grupo Experimental, este fato demonstra que o desempenho evidenciado pode ser considerado um resultado positivo, uma vez que a amostra do Grupo Experimental, com pontuação média inferior em Ciências, alcançou resultados similares em visualização espacial aos encontrados para a amostra Global, que possui pontuação média superior na avaliação de Ciências do PISA.

4.2.2 Questão de Pesquisa 5: O aplicativo de realidade aumentada contribui para o desenvolvimento do conhecimento de Física?

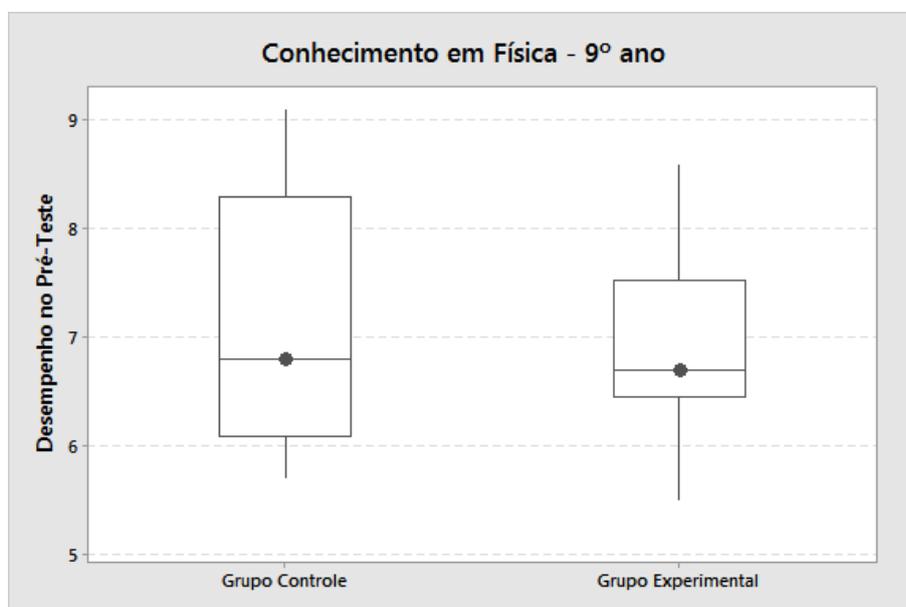
Para responder à Questão de Pesquisa 5 relacionada ao impacto dos recursos educacionais aumentados no desenvolvimento do conhecimento de Física, testes estatísticos foram desempenhados e as análises dos seus resultados foram segmentadas conforme as turmas, séries, gêneros e grupos dos participantes, com vistas a embasar a discussão das evidências encontradas.

Portanto, em um primeiro momento foram elaboradas representações gráficas no formato de *boxplot* para a análise dos resultados, visto que possibilitam maior compreensão das amostras do Grupo Controle e Grupo Experimental e auxiliam na interpretação acerca dos resultados estatísticos. Para tanto, a seguir serão apresentadas as representações gráficas elaboradas individualmente para cada série e período da avaliação do conhecimento de Física (primeira e segunda avaliação) diferenciando os valores encontrados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental.

A Figura 4.12 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 9º ano do E.F. na avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física (pré-teste) para ambos os Grupos, em que é possível verificar o desempenho da amostra do Grupo Controle em relação à amostra do Grupo Experimental por meio de quartis. É possível observar que a menor concentração é verificada na caixa da amplitude do Grupo Controle ($n = 27$), que representa maior amplitude interquartílica, correspondendo a amplitude de 2,2 pontos, sendo

que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 6,1 e 8,3 pontos. A mediana do Grupo Controle foi de 6,8 pontos, ou seja, metade dos participantes obteve desempenho menor ou igual a 6,8 pontos e a outra metade obteve desempenho maior ou igual a 6,8 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude (reta vertical) demonstram que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 5,7 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 9,1 pontos.

Figura 4.12 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 9º ano



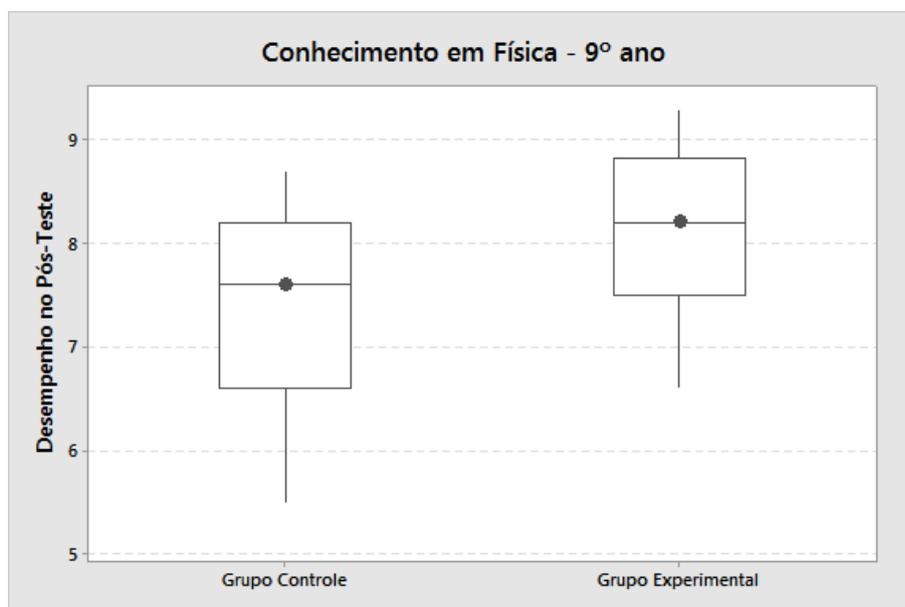
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental ($n = 26$), é possível observar menor amplitude interquartílica (Figura 4.12), representando maior concentração dos dados coletados acerca do desempenho em visualização espacial (amplitude representada por 1,07 pontos). A mediana observada foi de 6,7 pontos, sendo que a maioria dos participantes obteve desempenho na habilidade de visualização espacial na faixa entre 6,45 e 7,52 pontos (50% dos participantes). Os traços que se estendem para ambos os lados da caixa da amplitude correspondem aos demais participantes, 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 5,5 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8,6 pontos.

Na Figura 4.13 é possível verificar o grau de dispersão referente ao desempenho dos participantes de ambos os Grupos do 9º ano do E.F. na segunda avaliação de conhecimento em Física (pós-teste). A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle ($n = 27$) demonstra que há maior amplitude interquartílica (1,6 pontos), o que denota menor concentração dos resultados dos participantes. A mediana observada foi de 7,6 pontos e a

maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 6,6 e 8,2 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 5,5 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8,7 pontos.

Figura 4.13 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 9º ano



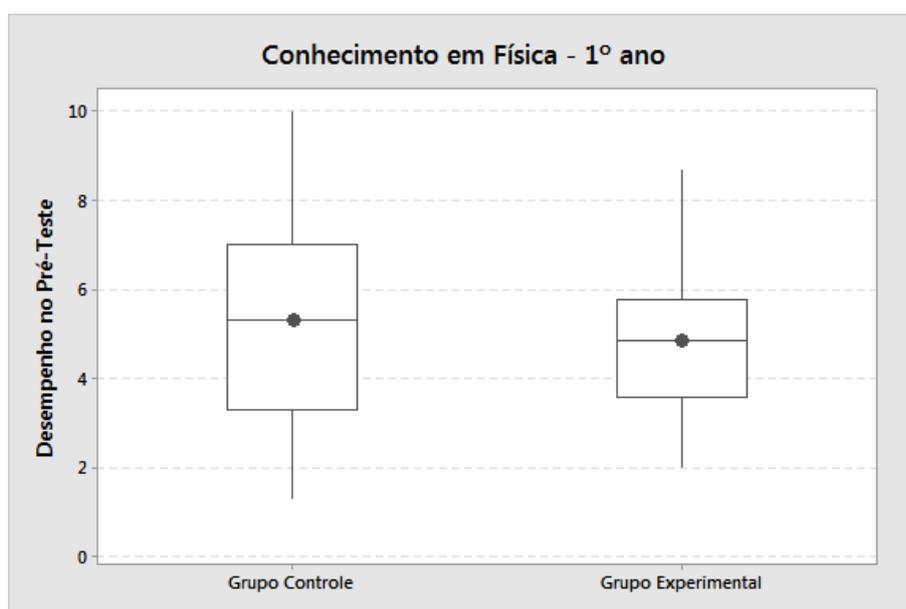
Fonte: Elaborado pelo autor.

O grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 26$) (Figura 4.13) para os dados amostrais do desempenho em Física apresentam menor amplitude interquartílica (1,32 pontos), que representa maior concentração dos dados coletados, com mediana equivalente a 8,2 pontos. A maior parte dos participantes, que correspondem a 50% dos dados, obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 7,5 e 8,82 pontos. Já os demais participantes, são representados pela reta vertical, que demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 6,6 pontos e outros 25% tão elevados quanto 9,3 pontos. Neste sentido, foi possível constatar que houve melhora na mediana em relação a primeira avaliação do conhecimento em Física, visto que a mediana aumentou de 6,7 pontos para 8,2 pontos.

A Figura 4.14 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 1º ano do E.M. na avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física (pré-teste) para ambos os Grupos, em que pode-se verificar o desempenho da amostra do Grupo Controle em relação a amostra do Grupo Experimental por meio de quartis. É possível observar que a menor concentração é verificada na caixa da amplitude do Grupo Controle ($n = 28$), que

representa maior amplitude interquartílica, correspondendo à amplitude de 3,7 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 3,3 e 7 pontos. A mediana do Grupo Controle foi de 5,3 pontos, ou seja, metade dos participantes obteve desempenho menor ou igual a 5,3 pontos e a outra metade obteve desempenho maior ou igual a 5,3 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude (reta vertical) demonstram que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 1,3 pontos e outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

Figura 4.14 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 1º ano



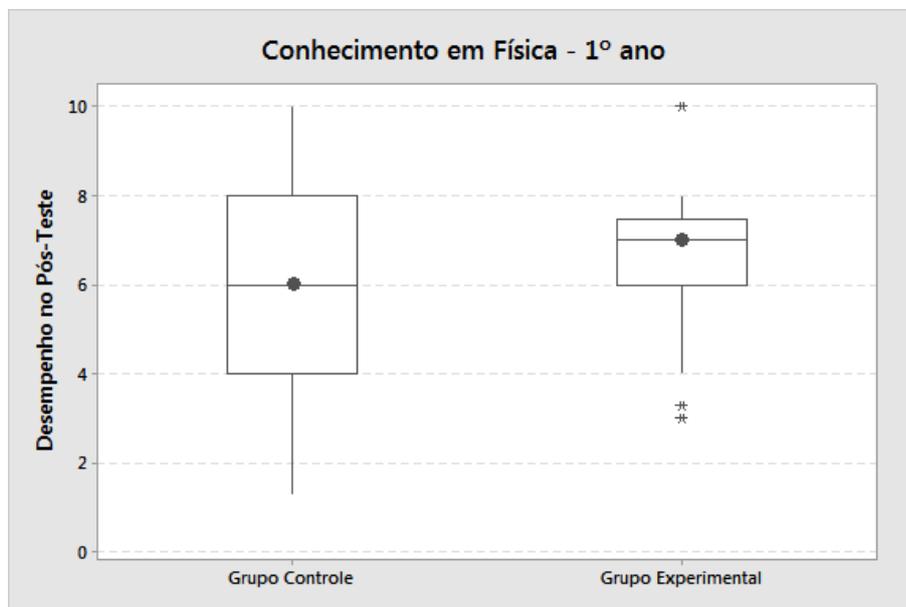
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental ($n = 34$), é possível observar menor amplitude interquartílica (Figura 4.14), representando maior concentração dos dados coletados acerca do desempenho em visualização espacial (amplitude representada por 2,17 pontos). A mediana observada foi de 4,85 pontos, sendo que a maioria dos participantes obteve desempenho na habilidade de visualização espacial na faixa entre 3,6 e 5,77 pontos (50% dos participantes). Os traços que se estendem para ambos os lados da caixa da amplitude correspondem aos demais participantes, 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8,7 pontos.

A respeito do grau de dispersão para ambos os Grupos do 1º ano do E.M., a Figura 4.15 apresenta a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de conhecimento em Física. A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle ($n = 28$) demonstra que há maior amplitude interquartílica, determinada em 4 pontos, com mediana representada em 6

pontos. A maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4 e 8 pontos (50% das amostras). Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 1,3 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

Figura 4.15 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 1º ano



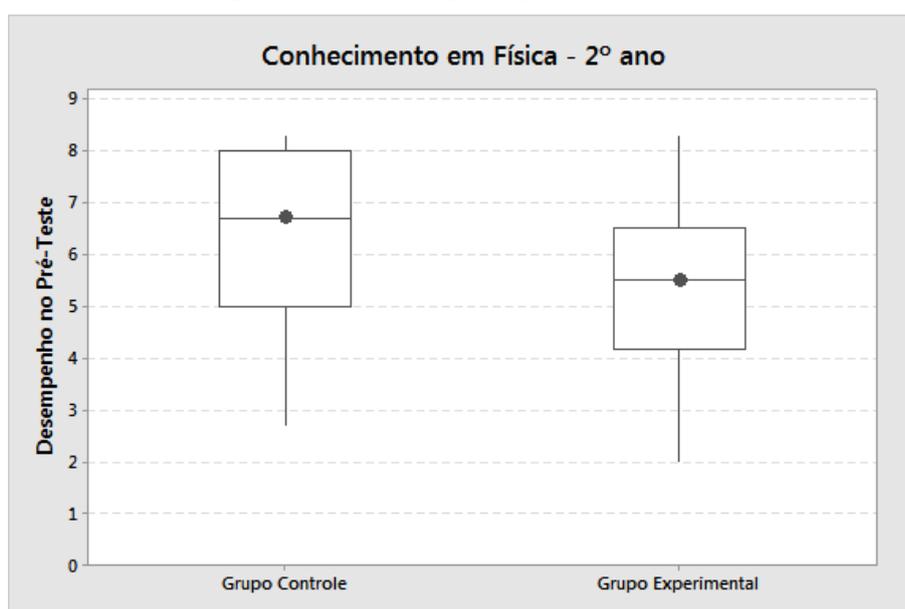
Fonte: Elaborado pelo autor.

A respeito do grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 34$) do 1º ano do E.M. no desempenho da segunda avaliação que determinou o grau de conhecimento em Física, é possível identificar a mediana equivalente a 7 pontos e menor amplitude interquartílica (1,47 pontos), demonstrando maior concentração nas amostras coletadas no Grupo Experimental. A maior parte dos participantes alcançou desempenho de visualização espacial na faixa entre 6 e 7,47 pontos. Acerca dos demais participantes, o traço vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 4 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8 pontos. Na Figura 4.15 também é possível verificar os valores identificados como atípicos e representados na forma de asteriscos, identificados para que não comprometam as interpretações dos resultados dos testes estatísticos aplicados nas amostras do Grupo Experimental. Assim como observado para o 9º ano, também foi possível observar melhor resultado na segunda avaliação de conhecimento em Física para o 1º ano, dado que a mediana aumentou de 4,85 pontos para 7 pontos.

A Figura 4.16 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 2º ano do E.M. na avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física para ambos os

Grupos. No que diz respeito ao Grupo Controle ($n = 15$), é possível verificar maior amplitude interquartílica (3 pontos), o que denota menor concentração das amostras. A performance dos participantes obteve mediana de 6,7 pontos, retratando que 50% dos participantes obteve desempenho inferior ou igual a 6,7 pontos e os outros 50% superior ou igual a 6,7 pontos. Na caixa da amplitude à esquerda também é possível visualizar que a maioria dos participantes (50% das amostras) alcançaram desempenho na faixa entre 5 e 8 pontos. Os demais participantes são representados pela reta vertical em ambos os lados da caixa da amplitude, os quais correspondem aos 25% dos participantes que apresentaram performance tão baixo quanto 2,7 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8,3 pontos.

Figura 4.16 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 2º ano

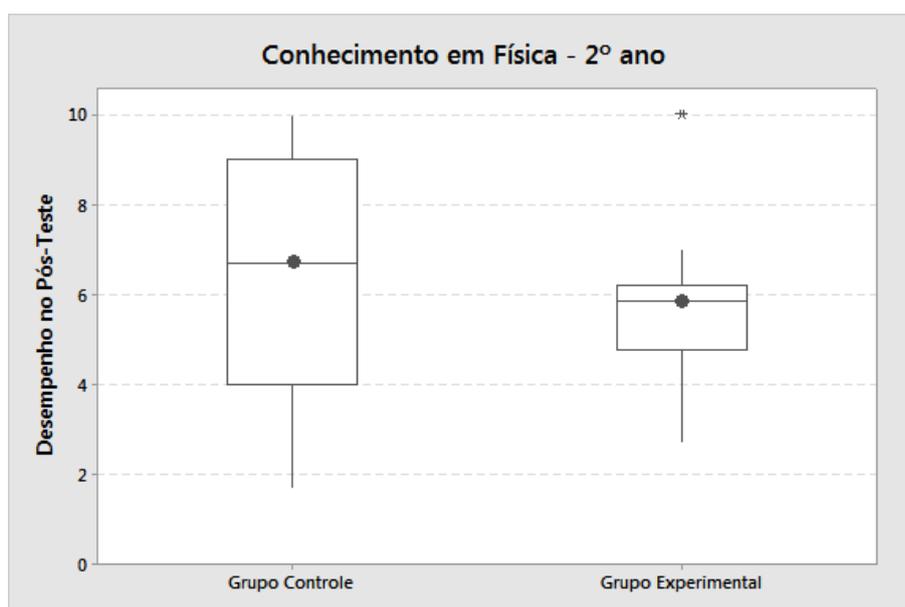


Fonte: Elaborado pelo autor.

Já o Grupo Experimental ($n = 16$) (Figura 4.16), demonstra que o grau de dispersão no desempenho dos participantes do 2º ano do E.M. na avaliação do nível de conhecimento em Física, indica menor amplitude interquartílica (2,35 pontos), demonstrando maior concentração nas amostras coletadas para o Grupo Experimental. A performance dos participantes resultou na mediana de 5,5 pontos. Também é possível verificar que a maioria dos participantes (50% das amostras) alcançaram desempenho na faixa entre 4,17 e 6,52 pontos. A reta vertical apresenta os traços que correspondem aos demais participantes, sendo que 25% dos participantes apresentaram performance tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 8,3 pontos.

A respeito do grau de dispersão identificado na performance de ambos os Grupos do 2º ano do E.M., a Figura 4.17 apresenta a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de conhecimento em Física. A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle (n = 15) demonstra maior amplitude interquartílica (5 pontos), com mediana representada em 6,7 pontos. A maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4 e 9 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, o traço vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 1,7 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

Figura 4.17 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 2º ano



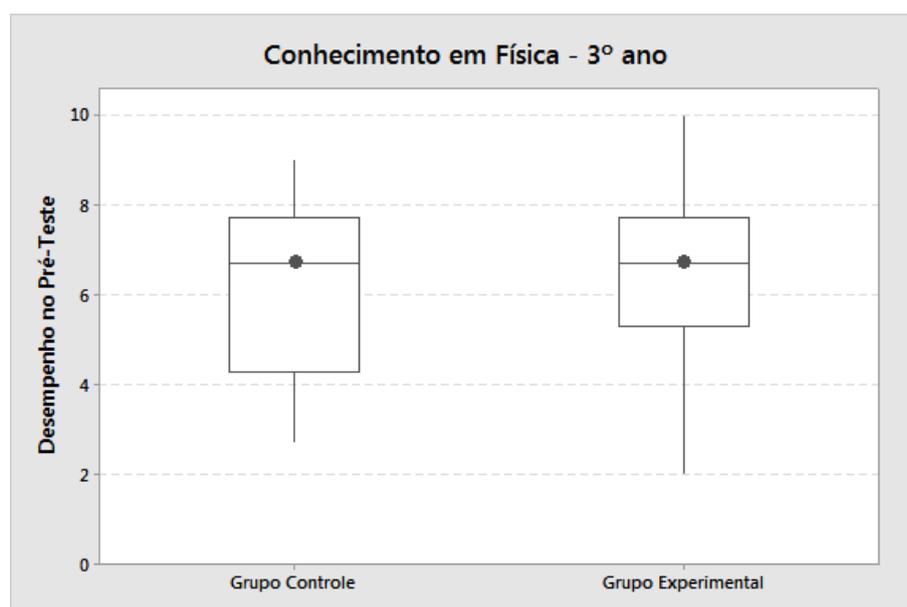
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental (n = 16) (Figura 4.17), a distribuição no desempenho referente a segunda avaliação de visualização espacial demonstra menor amplitude interquartílica (1,45 pontos), indicando maior concentração no desempenho dos participantes. O resultado da mediana no desempenho de visualização espacial foi de 5,85 pontos. A maioria dos participantes (50% das amostras) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4,77 e 6,22 pontos. Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 2,7 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 7 pontos. Embora tenha sido constatada melhora na mediana referente ao conhecimento em Física do Grupo Experimental quando comparada a primeira avaliação, o aumento observado não foi significativo.

Uma hipótese levantada para explicar está baixa diferença entre a mediana do pré-teste para o pós-teste, pode ter sido ocasionada por um problema identificado após a realização das avaliações. Em que foi observado que os professores responsáveis pelas disciplinas não efetuaram a coleta de dados com o rigor científico necessário, sendo utilizado questões abertas para as avaliações, as quais ficam subjetivas à interpretação do professor e podem ter contaminado as amostras coletada nas avaliações.

A Figura 4.18 apresenta o grau de dispersão do desempenho dos participantes do 3º ano do E.M. na avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física (pré-teste) para ambos os Grupos, em que pode-se verificar o desempenho da amostra do Grupo Controle em relação a amostra do Grupo Experimental por meio de quartis. É possível observar que a menor concentração é verificada na caixa da amplitude do Grupo Controle (n = 26), que representa maior amplitude interquartilica, correspondendo a amplitude de 3,4 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 4,3 e 7,7 pontos. A mediana do Grupo Controle foi de 6,7 pontos, ou seja, metade dos participantes obteve desempenho menor ou igual a 6,7 pontos e a outra metade obteve desempenho maior ou igual a 6,7 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa da amplitude (reta vertical) demonstram que 25% dos participantes obteve desempenho tão baixo quanto 2,7 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 9 pontos.

Figura 4.18 – Desempenho de cada grupo na primeira avaliação de Física - 3º ano

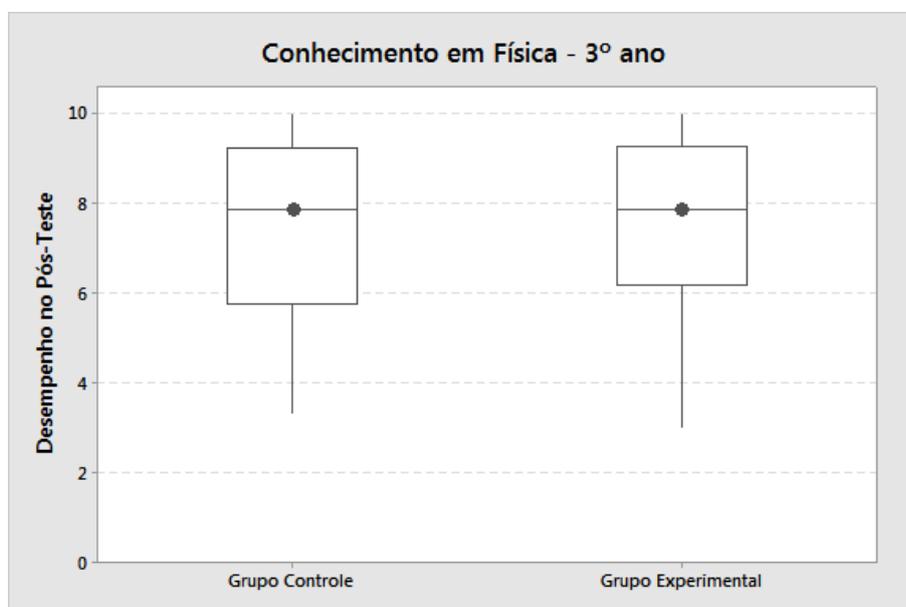


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao Grupo Experimental ($n = 36$), é possível observar menor amplitude interquartílica (Figura 4.18), representando maior concentração dos dados coletados acerca do desempenho em Física (amplitude representada por 2,4 pontos). A mediana observada foi de 6,7 pontos, sendo que a maioria dos participantes obteve desempenho em Física na faixa entre 5,3 e 7,7 pontos (50% dos participantes). Os traços da caixa da amplitude correspondem aos demais participantes, 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 2 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

Na Figura 4.19 é possível verificar o grau de dispersão referente ao desempenho dos participantes de ambos os Grupos do 3º ano do E.M. na segunda avaliação de conhecimento em Física (pós-teste). A distribuição da amostra referente ao Grupo Controle ($n = 26$) demonstra que há maior amplitude interquartílica (3,47 pontos), o que denota menor concentração dos resultados dos participantes. A mediana observada foi de 7,85 pontos e a maioria dos participantes obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 5,75 e 9,22 pontos (50% dos participantes). Em relação aos demais participantes, a reta vertical demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 3,3 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 10 pontos.

Figura 4.19 – Desempenho de cada grupo na segunda avaliação de Física - 3º ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

O grau de dispersão do Grupo Experimental ($n = 36$) para os dados amostrais do desempenho em Física apresentam menor amplitude interquartílica (3,07 pontos), que representa maior concentração dos dados coletados, com mediana equivalente a 7,85 pontos

(Figura 4.19). A maior parte dos participantes, que correspondem a 50% dos dados, obteve desempenho na avaliação de visualização espacial na faixa entre 6,17 e 9,25 pontos. Já os demais participantes, são representados pela reta vertical, que demonstra que 25% deles obteve desempenho tão baixo quanto 3 pontos e outros 25% tão elevados quanto 10 pontos. Assim como observado para as demais séries analisadas, também foi possível verificar uma melhora dos resultados na segunda avaliação de conhecimento em Física para o 3º ano, dado que a mediana aumentou de 6,7 pontos para 7,85 pontos.

4.2.2.1 Análises estatísticas do desempenho em Física entre turmas

Com vistas a apresentar o panorama geral das amostras coletadas sobre o desempenho em Física, os resultados dos participantes da mesma série foram comparados entre suas respectivas turmas, independentemente dos seus respectivos grupos, com a finalidade de demonstrar o desempenho das turmas na avaliação que determinou o grau de conhecimento em Física. Nesta perspectiva, foram realizados testes comparativos para as Turmas 9A, 9B, 101, 102, 301, 302 e 303, a fim de demonstrar a performance em Física das turmas antes e depois das atividades envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados, configurando-se em uma importante perspectiva para as discussões que serão apresentadas na sequência desta seção (Tabela 4.10).

A primeira análise demonstra que houve diferença estatística significativa entre a Turma 9A e 9B para a primeira avaliação (Pré-Teste) que determinou o nível de conhecimento em Física (p-valor 0.02158). O mesmo padrão também ocorre para as análises entre as Turmas 301, 302 e 303 (p-valor 0.0007984). Não foi constatada diferença estatisticamente significativa nas Turmas 101 e 102 (p-valor 0.7753) na primeira avaliação de conhecimento em Física. A ocorrência da diferença significativa nas Turmas 9A e 9B e Turmas 301, 302 e 303 demonstra que o conhecimento entre as turmas não era homogêneo, dado que os desempenhos dos participantes de cada turma não apresentaram consistência na avaliação. Em se tratando das Turmas 101 e 102, não apresentaram diferença estatística significativa, resultado que se espera na análise entre turmas de mesma série, pois apresenta evidências de que há consistência entre as turmas na primeira avaliação, característica que representa a homogeneidade das turmas antes da realização das atividades com os recursos educacionais aumentados.

Tabela 4.10 – Comparações entre Turmas da mesma série

9º ano do E.F. - Turmas 9A / 9B				
Avaliação	T. 9A	T. 9B	p-valor	
Pré-Teste (CF*)	4	5,7	0.02158	
Pós-Teste (CF)	6,7	7	0.8475	
p-valor	<0,001	0.01366		
1º ano do E.M. - Turmas 101 / 102				
Avaliação	T. 101	T. 102	p-valor	
Pré-Teste (CF)	6,7	6,8	0.7753	
Pós-Teste (CF)	8,2	7,5	0.006874	
p-valor	0.0002363	0.08982		
3º ano do E.M. - Turmas 301/ 302 / 303				
Avaliação	T. 301	T. 302	T. 303	p-valor
Pré-Teste (CF)	6,15	5,3	9	0.0007984
Pós-Teste (CF)	7,15	6	9,2	<0,001
p-valor	0.002332	0.009255	0.001169	

* CF → Conhecimento em Física

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda sobre a Tabela 4.10, em relação a análise estatística referente a segunda avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física dos participantes, apontado como Pós-Teste na (Tabela 4.10), as evidências coletadas demonstram que os participantes alcançaram melhores resultados medianos em comparação a primeira avaliação. Com exceção das Turmas 9A e 9B (p-valor 0.8475), as demais comparações entre turmas da mesma série apresentaram diferença estatisticamente significativa, como pode ser visto na comparação entre as 101 e 102 (p-valor de 0.006874) e 301, 302 e 303 (p-valor de <0,001), sendo possível constatar que houveram avanços entre o Pré-Teste e o Pós-Teste para cada turma, resultado que se configura como uma importante evidência para esta pesquisa.

Outra evidência que corrobora com esse resultado, consiste na melhora observada da própria turma, considerando que foi constatado melhor performance do Pré-Teste para o Pós-Teste nos resultados das medianas das Turmas 9A (p-valor <0,001), 9B (p-valor 0.01366), 101 (p-valor 0.0002363), 102 (p-valor 0.08982), 301 (p-valor 0.002332), 302 (p-valor 0.009255) e 303 (p-valor 0.001169), resultados que correspondem a diferença estatisticamente significativa para cada turma no que diz respeito ao desenvolvimento do conhecimento de Física.

4.2.2.2 Análises estatísticas do desempenho em Física entre grupos de mesma série

A fim de analisar o desempenho em Física dos participantes em cada grupo observado durante esta pesquisa, testes estatísticos foram realizados para evidenciar se houve diferença significativa entre o desempenho de cada grupo para cada série, assim como se houve diferença significativa entre o resultado da primeira e segunda avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física. Nesta perspectiva, foram realizados testes comparativos para as Turmas 9A, 9B, 101, 102, 201, 301, 302 e 303 (Tabela 4.11).

A primeira análise realizada verificou se as Turmas do 9º ano do E.F. demonstraram diferença estatisticamente significativa entre a mediana dos participantes do Grupo Controle para o Grupo Experimental durante a primeira avaliação (Pré-Teste) que determinou o nível de conhecimento em Física dos participantes (Tabela 4.11). Tal análise possibilitou evidenciar que não houve diferença estatística significativa, dado que o p-valor foi de 0.5868. Nesta perspectiva, a rejeição da hipótese nula retrata um resultado positivo para esta investigação, dado que apresenta evidências da uniformidade entre os grupos antes mesmo do início dos testes, aspecto que representa a homogeneidade dos grupos antes da realização das atividades com os recursos educacionais aumentados.

Na segunda avaliação realizada para o 9º ano do E.F. (Pós-Teste), foi possível verificar que houve uma melhora significativa na mediana relativa ao desempenho do Grupo Experimental em relação ao Grupo Controle, evidência que demonstra diferença estatística (p-valor 0.005449) (Tabela 4.11). A evidência encontrada é suficiente para rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, indício de que os participantes que utilizaram os recursos educacionais aumentados obtiveram melhor performance na mediana referente ao nível de conhecimento em Física em relação aos participantes que não utilizaram os recursos educacionais aumentados.

Além disso, também foi possível verificar que apenas o Grupo Experimental obteve diferença estatisticamente significativa entre o Pré-Teste e o Pós-Teste (p-valor $<0,0001184$), perspectiva que corrobora para a inferência de que a melhora na performance do conhecimento de Física não ocorreu por acaso, mas sim em virtude do uso do aplicativo de realidade aumentada.

Outro teste estatístico foi executado com os resultados das Turmas do 1º ano do E.M., em que não foi possível verificar a ocorrência de diferença significativa entre a mediana de desempenho dos participantes do Grupo Controle e o Grupo Experimental durante a primeira avaliação de conhecimento em Física (p-valor 0.5657), resultado positivo que demonstra que

os grupos eram homogêneos no início dos testes (Tabela 4.11). Entretanto, na segunda avaliação também não houve diferença significativa entre os grupos (p-valor 0.4852).

Tabela 4.11 – Comparações entre Grupos da mesma série em relação ao desempenho de Física

9º ano do E.F. - Turmas 9A / 9B			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (CF*)	6,8	6,7	0.5868
Pós-Teste (CF)	7,6	8,2	0.005449
p-valor	0.2802	0.0001184	
1º ano do E.M. - Turmas 101 / 102			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (CF)	5,3	4,85	0.5657
Pós-Teste (CF)	6	7	0.4852
p-valor	0.002344	<0,001	
2º ano do E.M. - Turma 201			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (CF)	6,7	5,5	0.1126
Pós-Teste (CF)	6,7	5,85	0.275
p-valor	0.777	0.4504	
3º ano do E.M. - Turmas 301 / 302 / 303			
Avaliação	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (CF)	6,7	6,7	0.7637
Pós-Teste (CF)	7,85	7,85	0.8081
p-valor	0.0005651	0.0002748	

* CF → Conhecimento em Física

Fonte: Elaborado pelo autor.

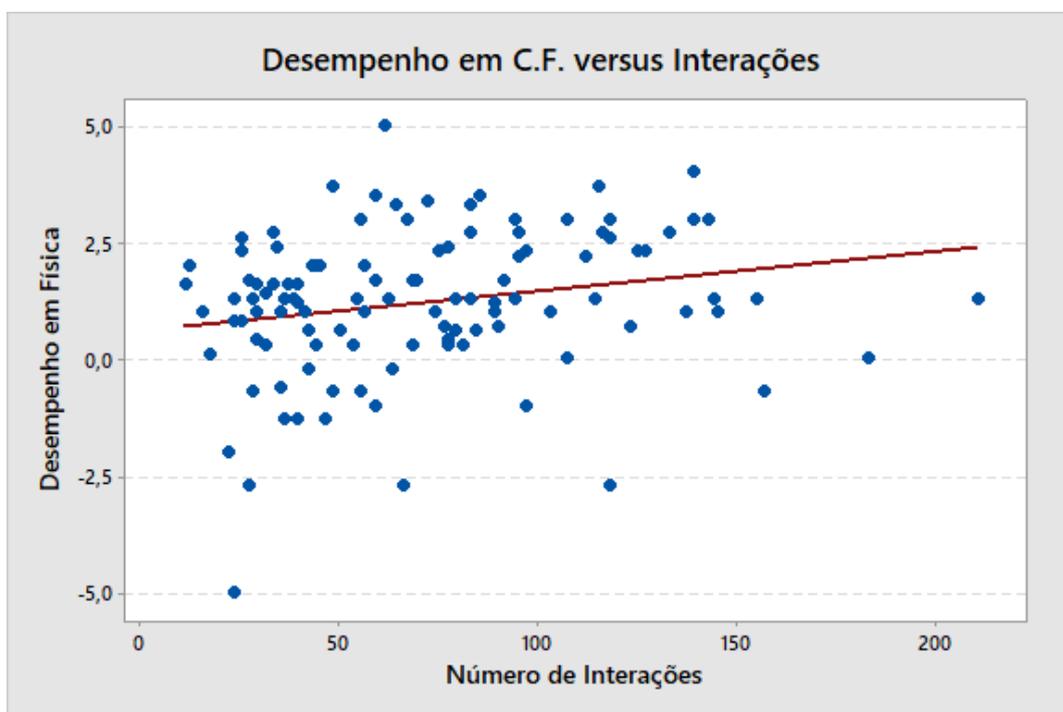
Embora tenha sido verificado aumento na mediana dos participantes do Grupo Experimental em relação ao Grupo Controle, que se trata de um importante resultado, a diferença observada não foi suficiente para comprovar estatisticamente que os recursos educacionais aumentados contribuíram para o desenvolvimento da performance em Física. Entretanto, foi constatado resultados positivos para ambos os grupos, quando verificado a melhora no desempenho entre a primeira e a segunda avaliação de conhecimento em Física, dado que tanto o Grupo Controle (p-valor 0.002344) como o Grupo Experimental (p-valor <0,001) apresentaram diferença estatisticamente significativa. Padrão que também ocorreu para os resultados das Turmas do 3º ano do E.M. Já os resultados do desempenho da Turma

do 2º ano do E.M., não foi verificada diferença em nenhuma das análises estatísticas realizadas.

4.2.2.3 *Análise do Desempenho em Física e Interação com recursos educacionais aumentados*

Com vistas a identificar o quanto às interações dos participantes com os recursos educacionais aumentados influenciaram na performance individual nas avaliações de conhecimento em Física, foi realizada a análise de dispersão para representar graficamente a relação entre o desempenho dos participantes e as suas interações. Para a elaboração deste gráfico foram consideradas apenas as amostras do Grupo Experimental, visto que foram os únicos participantes a utilizarem os recursos educacionais aumentados. O valor utilizado como referência para o desempenho (Eixo Y) foi a diferença dos resultados do participante entre a primeira e a segunda avaliação do conhecimento em Física. Em relação ao número de interações para cada participante (Eixo X), o valor de referência utilizado foi a quantidade de interações coletadas no log (registro) do aplicativo de realidade aumentada de cada participante (Figura 4.20).

Figura 4.20 – Gráfico de dispersão para o desempenho em C.F. e o número de interações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da representação gráfica apresentada acima (Figura 4.20) não é possível identificar se existe associação entre as variáveis de interação e o desempenho em Física, em virtude da alta dispersão nos dados. Fato que ocorre em virtude do baixo desempenho dos participantes nas avaliações que determinaram o conhecimento em Física. Entretanto, a tendência da linha de regressão (linha vermelha) auxilia a identificar que existe uma reta crescente, embora pequena, entre o número de interações e o desempenho em Física dos participantes. Porém, a interpretação da representação gráfica por si só, não possibilita identificar o quão determinante foi essa relação.

Para determinar o nível da relação entre as variáveis de desempenho em Física e número de interações, foi utilizado a medida de associação denominada coeficiente de correlação de Spearman. O coeficiente obtido foi de 0,24403, resultado que evidencia a existência de baixo grau de associação entre as variáveis, porém foi observada significância estatística (p-valor 0.009517). Portanto, para que o desempenho em Física seja influenciado positivamente pelas interações do participante, são necessárias grandes quantidades de interações com os recursos educacionais aumentados. Porém, essa regra nem sempre se efetivará, pois, o coeficiente de determinação obtido para o modelo estatístico foi de 0,0595, demonstrando que apenas 5,95% do modelo estatístico consegue explicar os resultados observados através das amostras do Grupo Experimental nas avaliações que determinaram o desempenho em Física e suas interações com o aplicativo de realidade aumentada.

4.2.2.4 Comparação entre resultados observados para o Grupo Controle e o Grupo Experimental

Na expectativa de comparar o desempenho global entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental, testes estatísticos foram conduzidos para comparar ambos os grupos englobando todas as amostras apresentadas nas análises anteriores (Tabela 4.12). A partir da análise dos resultados, foi possível evidenciar que o desempenho de ambos os grupos na primeira avaliação de conhecimento em Física não apresentou diferença estatística significativa (p-valor 0.1366), resultado positivo e que reforça o fato dos grupos serem homogêneos antes mesmo da realização desta pesquisa.

Tabela 4.12 – Comparação geral do Grupo Controle com o Grupo Experimental

Total	n	Pré-Teste (CF*)	Pós-Teste (CF)	p-valor
Controle	96	6,4	7,35	<0,001
Experimental	112	6	7	<0,001
p-valor		0.1366	0.7839	

* CF → Conhecimento em Física

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da análise dos resultados coletados da segunda avaliação que determinou o nível de conhecimento em Física dos participantes, foi possível constatar que não houve diferença significativa entre as performances do Grupo Controle em relação ao Grupo Experimental (p-valor 0.7839), resultado negativo constatado também nas medianas do Grupo Experimental, que não apresentaram melhora substancial capaz de comprovar estatisticamente a eficácia dos recursos educacionais aumentados. Por outro lado, foi possível observar que ambos os grupos obtiveram melhor desempenho entre a primeira e a segunda avaliação, perspectiva que apresentou diferença estatística significativa (p-valor <0,001) em ambos os casos.

Na visão do pesquisador, parte dos resultados discutidos sobre o desempenho em Física demonstraram valores atípicos e inconclusivos, que não permitem estabelecer evidências o suficiente para afirmar que a melhora no desempenho em Física dos participantes ocorreu devido ao uso dos recursos educacionais aumentados, salvo casos específicos que apresentaram diferença significativa após utilizar os recursos educacionais aumentados, tal como demonstrado na Tabela 4.11 em que o 9º ano do E.F. - Turmas 9A / 9B, em que o Grupo Experimental apresentou diferença estatisticamente significativa na segunda avaliação do conhecimento em Física (Pós-Teste) em relação ao Grupo Controle. Nesta perspectiva, em conversa com os professores responsáveis pelas disciplinas, foi constatado que não houve rigor científico necessário para a coleta dos dados em alguns casos, fato constatado através da análise das avaliações, em que foi possível observar o uso de questões abertas, que ficam subjetivas à interpretação do professor e podem ter contaminado as amostras coletadas nas avaliações. Portanto, considera-se para as pesquisas futuras, executar os testes estatísticos sem a inclusão das amostras identificadas como subjetivas a interpretação do professor.

4.3 Resultados da avaliação da qualidade da abordagem educacional

A fim de responder à Questão de Pesquisa 6, a discussão dos resultados foi dividida em duas seções. A primeira seção apresenta os resultados da percepção de qualidade dos participantes acerca da abordagem educacional com recursos educacionais aumentados para o ensino de Física (Seção 4.3.1). Já a segunda seção apresenta os resultados das entrevistas conduzidas com os participantes sobre a percepção acerca da abordagem educacional envolvendo o uso dos recursos educacionais em realidade aumentada (Seção 4.3.2).

4.3.1 Questão de Pesquisa 6: Qual é a percepção de qualidade dos participantes acerca da abordagem educacional com os recursos educacionais aumentados para o ensino de Física?

A análise dos resultados da abordagem desempenhada com o uso dos recursos educacionais aumentados do aplicativo avatAR UFRGS foi realizada com base na coleta de dados efetuada com o modelo de avaliação MAREEA. Para melhor apresentar os resultados, as dimensões correspondentes a cada fator de qualidade foram divididas e serão apresentadas separadamente na seguinte ordem: Usabilidade, Engajamento, Motivação e Aprendizagem.

Para o fator de qualidade que avaliou a percepção dos participantes sobre a Usabilidade do aplicativo de RA utilizado na abordagem educacional de Física, o modelo MAREEA estabelece quatro dimensões de avaliação, as quais são Facilidade de Aprendizagem, Operabilidade, Acessibilidade e Prevenção de erros ao usuário. Com base nos resultados obtidos das respostas dos participantes aos sete questionamentos, foi possível calcular a média e o desvio padrão para cada item, apresentados na Tabela 4.13. Em termos gerais, Pacheco et al. (2019) contextualizam que em objetos de aprendizagem desenvolvidos com recursos de RA, caracterizam-se como boa usabilidade aqueles que são úteis, eficientes, eficazes, satisfatórios, fáceis de aprender e acessíveis.

Analisando os resultados obtidos na avaliação do fator de qualidade referente a usabilidade do aplicativo de realidade aumentada avatAR UFRGS, é possível observar que a média global alcançou o valor de 0,7. A média global evidencia uma posição positiva dos participantes em relação ao aplicativo, com grande parte das opiniões favoráveis a usabilidade.

Tabela 4.13 – Percepção sobre os aspectos de Usabilidade do aplicativo avatAR UFRGS

		Questões		Média	D.P.
Usabilidade	Facilidade de Aprendizagem	Q1	Eu precisei aprender pouca coisa antes de usar este aplicativo de realidade aumentada.	0,8	0,9
		Q2	Aprender a usar este aplicativo de realidade aumentada foi fácil.	1,2	0,8
	Operabilidade	Q3	Este aplicativo de realidade aumentada é fácil de usar.	1,1	0,9
		Q4	A forma de usar este aplicativo de realidade aumentada é fácil de entender.	1,0	1,2
	Acessibilidade	Q5	O <i>design</i> (cor, estilo de fonte e tamanho) usado neste aplicativo de realidade aumentada é claro e legível.	1,0	1,0
	Prevenção de Erros	Q6	Este aplicativo de realidade aumentada torna difícil que eu cometa erros.	0,1	0,8
		Q7	Em caso de erro no aplicativo, eu consigo me recuperar rápido dele.	0,0	1,0

Legenda: D.P. → Desvio Padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta perspectiva, ao analisar individualmente cada atributo avaliado, foi possível observar que na dimensão de facilidade de aprendizagem, os participantes indicaram que foi necessário aprender poucas coisas para utilizar o aplicativo (média 0,8) e aprender a usá-lo foi fácil (média 1,2). Quando questionados sobre a operabilidade do aplicativo, os participantes mostraram-se favoráveis, indicando que o aplicativo é fácil de utilizar (média 1,1) e de fácil entendimento (média 1,0), apresentando um *design* claro e legível aos seus usuários (média 1,0). Por outro lado, constatou-se alta taxa de imparcialidade nas respostas da dimensão que analisa a capacidade do aplicativo em prevenir o usuário a cometer erros e recuperar-se rapidamente durante a sua interação, aspecto também reforçado pela alta dispersão observada na medida do desvio padrão (Tabela 4.13). Essa perspectiva demonstra que estratégias devem ser implementadas com a finalidade de favorecer a rápida recuperação quando o usuário experienciar algum erro, para que possa continuar a interagir com os recursos educacionais aumentados.

A respeito do fator de qualidade que avaliou o grau de Engajamento referente ao uso do aplicativo de realidade aumentada pelos participantes, quatro dimensões de avaliação foram estabelecidas, sendo elas: Estética, Aceitabilidade, Envolvimento e Novidade. Através das respostas dos participantes a oito questões, foram calculadas as médias e os desvios padrões, apresentados na Tabela 4.14.

O engajamento é uma qualidade da experiência do usuário, caracterizada pela profundidade da participação que o usuário é capaz de alcançar ao interagir com um sistema digital (O'Brien, Cairns e Hall, 2018). Os resultados observados através das percepções dos participantes acerca do aplicativo de realidade aumentada apresentam indícios de que os recursos educacionais aumentados estão de acordo com as definições estabelecidas por O'Brien e Toms (2008), que especificam a qualidade de experiência em atributos de desafio, afeto positivo, durabilidade, apelo estético e sensorial, atenção, *feedback*, variedade / novidade, interatividade e controle do usuário percebido.

A média geral nas avaliações dos participantes nas respostas ao fator de qualidade de engajamento do aplicativo de realidade aumentada foi de 0,8 (Tabela 4.14). A percepção dos participantes mostrou-se favorável em relação ao grau de engajamento proporcionado pelo aplicativo de realidade aumentada, apresentando indícios de que a interface do aplicativo era atraente (média 0,6) e apresentava harmonia em suas informações gráficas (média 1,0). Os participantes classificaram o aplicativo satisfatório em quesitos relacionados ao conteúdo educacional (média 1,1) e gratificante do ponto de vista da experiência proporcionada através da abordagem educacional com o aplicativo de realidade aumentada (média 0,7).

Tabela 4.14 – Percepção sobre aspectos de Engajamento do aplicativo avatAR UFRGS

			Questões	Média	D.P.
Engajamento	Estética	Q8	A interface deste aplicativo de realidade aumentada é atraente.	0,6	0,9
		Q9	Eu gosto da informação gráfica apresentada neste aplicativo de realidade aumentada.	1,0	0,8
	Aceitabilidade	Q10	O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada vale a pena.	1,1	0,9
		Q11	Minha experiência com este aplicativo de realidade aumentada foi gratificante.	0,7	1,0
	Envolvimento	Q12	Eu me senti envolvido nas tarefas deste aplicativo de realidade aumentada.	0,5	1,0
		Q13	A experiência de aprendizagem com este aplicativo de realidade aumentada foi divertida.	1,0	0,9
	Novidade	Q14	O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada despertou minha curiosidade.	0,8	1,0
		Q15	Eu me interessei por este aplicativo de realidade aumentada.	0,7	0,9

Legenda: D.P. → Desvio Padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os participantes demonstraram-se neutros quando questionados sobre o envolvimento proporcionado pelas tarefas (média 0,5), por outro lado, indicaram que a experiência de aprendizagem foi divertida (média 1,0). Em se tratando da originalidade, a avaliação do aplicativo foi positiva, indicando que os conteúdos educacionais apresentados despertaram a curiosidade (média 0,8) e o interesse dos participantes em utilizar o aplicativo (média 0,7). De modo geral, em relação ao fator de qualidade referente ao engajamento, mesmo o aplicativo promovendo experiências prazerosas, ainda precisa aprimorar os recursos que promovem o envolvimento dos participantes no processo instrucional, para isso podem ser utilizadas estratégias que incentivem comportamentos e ações dos participantes, capazes de ensinar a motivação intrínseca.

Para analisar o fator de qualidade referente a Motivação dos participantes a respeito do uso do aplicativo de realidade aumentada, quatro dimensões do modelo MAREEA foram utilizadas: Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação. Foram empregadas dez questões para coletar a opinião dos participantes sobre a abordagem educacional, os quais são apresentados na Tabela 4.15, juntamente com a média e o desvio padrão para cada item avaliado.

A motivação é uma dimensão humana que explica a direção e a magnitude do comportamento, ou em outras palavras, explica quais objetivos as pessoas escolhem para buscar e quão ativamente ou intensamente elas os perseguem (Keller, 2010). Em relação ao contexto educacional, Keller (1999) estabelece quatro dimensões que definem os aspectos motivacionais em: Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação, onde o autor reitera que todas as quatro dimensões podem afetar diretamente a motivação do aluno de forma independente. Neste contexto, foi possível verificar através das percepções dos participantes que a abordagem educacional em RA proporcionou experiências relevantes e satisfatórias para os objetivos dos participantes, as quais contribuíram para o sentimento de confiança em relação ao aprendizado dos conteúdos. Entretanto, as percepções acerca da dimensão de atenção evidenciaram que os participantes não estavam envolvidos a ponto de focar apenas na utilização dos recursos educacionais aumentados, apenas indicaram com certa parcialidade que os recursos educacionais aumentados contribuíram para manter a sua atenção.

Uma análise mais específica com relação a percepção dos participantes na avaliação da abordagem educacional sobre o fator de qualidade referente a motivação, demonstra que de modo geral os participantes mantiveram-se neutros, uma vez que a média global das respostas foi de 0,2 (Tabela 4.15). Em referência a dimensão de atenção focada, os resultados indicam que o aplicativo não obteve um resultado positivo em despertar a atenção dos participantes a

ponto de perderem a noção de tempo (média -0,4), dado que as respostas sugerem que não houve uma completa imersão nas tarefas com o aplicativo (média -0,5).

Entretanto, observou-se tênue avanço quando avaliada a organização das informações apresentadas no aplicativo, aspecto que os participantes consideraram ter auxiliado a manter a atenção no que estava sendo realizado no momento em que utilizaram o aplicativo (média 0,4). Cabe destacar que na dimensão de atenção focada foi observado o alto grau de dispersão nas avaliações, constatado através do cálculo do desvio padrão (Tabela 4.15), indicando que as percepções dos participantes estão distribuídas entre uma ampla gama de valores, o que dificulta identificar um consenso a respeito do grau de atenção que o aplicativo de realidade aumentada possibilitou durante a interação dos participantes na abordagem educacional conduzida. Nesta perspectiva, o estudo apresentado por Chiang, Yang e Hwang (2014a), destacam as vantagens dos recursos educacionais aumentados no âmbito da motivação, visto que os resultados experimentais encontrados indicaram que os alunos do grupo experimental obtiveram significativa motivação de aprendizado para atenção, relevância, confiança e um alto nível de satisfação ao usar os dispositivos móveis baseados em RA para aprender.

Tabela 4.15 – Percepção sobre aspectos de Motivação do aplicativo avatAR UFRGS

			Questões	Média	D.P.
Motivação	Atenção Focada	Q16	Eu estava tão envolvido na tarefa com este aplicativo de realidade aumentada que perdi a noção do tempo.	-0,4	1,2
		Q17	Eu ignorei as coisas ao meu redor quando eu estava usando este aplicativo de realidade aumentada.	-0,5	1,1
		Q18	A forma como a informação é organizada neste aplicativo de realidade aumentada ajudou a manter a minha atenção.	0,4	0,9
	Relevância	Q19	Está claro para mim como o conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada está relacionado às coisas que conheço.	0,7	0,9
		Q20	Completar com sucesso as atividades com este aplicativo de realidade aumentada foi importante para mim.	0,1	1,0
	Confiança	Q21	Estou confiante de que aprendi o que deveria depois de usar este aplicativo de realidade aumentada.	0,1	1,0
		Q22	Estou confiante de que entendi o conteúdo educacional mais complexo usando este aplicativo de realidade aumentada.	0,1	1,1
	Satisfação	Q23	Completar as atividades neste aplicativo de realidade aumentada gerou um sentimento satisfatório de realização.	0,2	0,9
		Q24	Gostei tanto do conteúdo educacional deste aplicativo de	0,3	1,0

			realidade aumentada que gostaria de saber mais sobre esse assunto.		
		Q25	Eu realmente gostei de estudar com este aplicativo de realidade aumentada.	0,6	0,9

Legenda: D.P. → Desvio Padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando questionados sobre a dimensão que corresponde a relevância, os participantes informaram que o conteúdo educacional do aplicativo utilizado na abordagem educacional foi considerado pertinente aos conceitos abordados em sala de aula (média 0,7), mas os participantes se mostraram neutros quando questionados sobre a importância em completar as tarefas propostas com o aplicativo (média 0,1). A alta taxa de imparcialidade nas respostas manteve-se quando avaliada a dimensão de confiança, em que os participantes foram questionados se estavam confiantes que aprenderam o que deveriam (média 0,1) e que entenderam o conteúdo educacional mais complexo após o uso do aplicativo (média 0,1).

Ao serem questionados sobre a dimensão de satisfação no uso do aplicativo, os participantes mostraram-se imparciais em relação a sensação satisfatória de realização proporcionada ao completar as atividades (média 0,2), assim como mantiveram-se imparciais ao avaliar que gostariam de saber mais sobre o conteúdo educacional (média 0,3). Entretanto, os participantes mostraram-se favoráveis a abordagem educacional quando questionados se haviam gostado de estudar com o auxílio do aplicativo de realidade aumentada (média 0,6).

Após a análise dos dados, foi possível observar que em grande parte das opiniões apresentadas pelos participantes houve alto grau de dispersão nas respostas. Esse valor consiste em uma importante evidência acerca da abordagem educacional conduzida com o aplicativo de realidade aumentada, de que a opinião dos participantes acerca do fator de qualidade relacionado ao grau de motivação que o aplicativo de realidade aumentada proporcionou não estabeleceu uma concordância dos participantes, em outras palavras, a dispersão nas percepções indica que para alguns participantes a abordagem educacional foi motivadora e para outros nem tanto.

Em relação ao fato de qualidade referente a Aprendizagem, os participantes avaliaram cinco dimensões sobre o uso do aplicativo de realidade aumentada: Aprendizagem, Desafio, Feedback, Segurança, Resolução de problemas. Os participantes responderam a doze questões sobre a abordagem educacional, possibilitando a coleta de dados e o cálculo da média e o desvio padrão para cada item avaliado, que são apresentados na Tabela 4.16.

A aprendizagem ativa é geralmente definida por uma aprendizagem focada no aluno que é envolvente, interativa e cognitivamente exigente (KRULATZ, 2016). Algumas características que contribuem para o envolvimento dos estudantes em uma aprendizagem ativa são: desafios apropriados ao nível de habilidade do aprendiz (CSIKSZENTMIHALYI, 1997), resolução de problemas e feedback (PRENSKY, 2001), autonomia para a execução das tarefas (MARTENS, GULIKERS e BASTIAENS, 2004), senso de diversão (PAPERT, 1999), local seguro para que o aluno possa cometer falhas e aprender fazendo (SCHANK, 1994), experiências personalizadas através de simulações interativas (MARTIN, 2012).

Neste contexto, as percepções observadas junto aos participantes indicam que os recursos educacionais aumentados permitem a compreensão do conteúdo educacional, sendo perceptível a utilidade do conhecimento adquirido e permitindo relativizar esse conhecimento em outros contextos e outras atividades. Também foi possível verificar que os conteúdos eram desafiadores e ofereciam um *feedback* visual diante das ações realizadas pelos participantes. Outro ponto observado está relacionado a possibilidade de interação com simulações que dificilmente seriam realizadas no mundo real, atendendo a características de oferecer ambiente seguro para o estudante realizar suas experimentações.

De modo mais específico, a percepção dos participantes na avaliação da abordagem educacional sobre o fator de qualidade referente a aprendizagem (Tabela 4.16) evidencia uma baixa concordância, porém ainda favorável, ao uso do aplicativo na maioria das dimensões avaliadas. Em referência a dimensão de aprendizagem, os resultados indicam que o aplicativo possibilitou um melhor entendimento do conteúdo educacional (média 0,5) e as simulações nele apresentadas foram úteis para o aprendizado dos participantes (média 0,8), no entanto, foi observada uma alta taxa de imparcialidade nas respostas dos participantes na dimensão referente à aplicação do que foi aprendido em outras atividades (média 0,4).

Tabela 4.16 – Percepção sobre aspectos de Aprendizagem do aplicativo avatAR UFRGS

			Questões	Média	D.P.
Aprendizagem	Efetividade	Q26	Este aplicativo de realidade aumentada me permitiu compreender melhor o conteúdo educacional.	0,5	1,0
		Q27	Eu poderei aplicar o que aprendi com este aplicativo de realidade aumentada em outras atividades.	0,4	1,0
		Q28	As simulações deste aplicativo de realidade aumentada são úteis para o meu aprendizado.	0,8	0,9
	Desafio	Q29	Este aplicativo de realidade aumentada me desafiou a aprender coisas novas.	0,5	1,0

		Q30	Neste aplicativo de realidade aumentada, escolho tarefas que posso aprender.	0,7	0,9
	Feedback	Q31	Este aplicativo de realidade aumentada forneceu oportunidades para experimentar informações por meio de feedback visual.	0,8	1,0
		Q32	Este aplicativo de realidade aumentada forneceu oportunidades para experimentar informações por meio de feedback de áudio.	0,0	1,0
	Segurança	Q33	Este aplicativo de realidade aumentada me permite interagir com simulações que dificilmente realizaria no mundo real.	1,0	1,0
		Q34	As simulações neste aplicativo de realidade aumentada foram apropriadas para uma experiência de aprendizado.	0,8	0,9
		Q35	As simulações neste aplicativo de realidade aumentada são úteis para praticar os casos da vida real antes de realizá-las no laboratório real.	0,6	0,9
	Complexidade	Q36	Este aplicativo de realidade aumentada retratou problemas do mundo real por meio de simulações.	0,4	1,0
		Q37	Eu gosto de usar este aplicativo de realidade aumentada no meu treinamento prático.	0,2	1,1

Legenda: D.P. → Desvio Padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora as avaliações apresentadas na Tabela 4.16 indiquem, através da tendência central de média, resultados abaixo do esperado, é preciso considerar que os valores calculados na noção de desvio padrão demonstram os diferentes comportamentos observados nas avaliações dos participantes, fato que evidencia a dispersão na opinião dos participantes, ou seja, maior heterogeneidade da amostra. Em se tratando da aprendizagem com recursos educacionais aumentados, Zhang et al. (2016) demonstram que o uso de RA para auxiliar o ensino de ciências nas escolas de ensino fundamental aumenta os ganhos de aprendizagem dos alunos, porém, também observaram diferente eficácia para os alunos com distintos estilos de aprendizagem. Essa observação se configura em uma interessante perspectiva a ser explorada em pesquisas futuras.

Quando questionados sobre o desafio proporcionado pela abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada, os participantes foram favoráveis ao aplicativo, indicando que se sentiram desafiados a aprender coisas novas (média 0,5) e que escolheram tarefas que poderiam promover a aprendizagem (média 0,7). A respeito do *feedback* proporcionado durante o uso do aplicativo, os participantes foram favoráveis às

experiências visuais (média 0,8), mas mostraram-se neutros em relação às experiências audíveis (média 0,0).

A respeito do *feedback* de áudio, o aplicativo oportunizou a interação com conteúdos audíveis e sons inerentes aos experimentos e simulações de Física, embora a tendência central de média tenha apresentado uma alta taxa de imparcialidade nas respostas, não pode ser descartada a hipótese de que os participantes não tenham encontrado essas opções na interface do aplicativo, fato que explicaria o alto grau de dispersão nas respostas dos participantes, fazendo-se necessário o desenvolvimento de uma estratégia que evidencie esse tipo de recurso.

O destaque na avaliação do fator de qualidade referente a aprendizagem ocorreu na dimensão que avalia a segurança proporcionada pelo aplicativo de realidade aumentada, o qual foi classificado positivamente pelos participantes, dado que foram observadas as possibilidades de interação com experiências apropriadas para a aprendizagem (média 0,8), que dificilmente seriam executadas no mundo real (média 1,0) e que se mostraram úteis para a prática de casos da vida real (média 0,6), características que demonstram a relevância de simulações interativas, dado o fato de permitirem aos participantes alterar os parâmetros das experiências e verificar os resultados de suas próprias ações, operações que contribuem para validar as suas hipóteses.

Por outro lado, quando questionados sobre a dimensão de avaliação referente a complexidade, no que diz respeito à resolução de problemas, foi observada uma alta taxa de imparcialidade nas respostas dos participantes, fornecendo indícios de que algumas experiências apresentadas no aplicativo não retratam os problemas do mundo real (média 0,4) e, além disso, também foi observada uma alta taxa de imparcialidade nas respostas dos participantes sobre o treinamento prático (média 0,2). Esta divergência na opinião dos participantes avaliadores entre os itens avaliados anteriormente em relação aos problemas do mundo real e treinamento prático pode ter ocorrido em virtude da maneira como os conteúdos são apresentados no aplicativo, ou seja, por meio de experimentos e simulações, que consistem na forma da Ciência experimental e que por vezes não são vistos no dia-a-dia dos participantes. Esta argumentação vai ao encontro da avaliação constatada anteriormente, em que os participantes afirmaram que dificilmente iriam executar interações com tais experiências no mundo real e que as mesmas se mostraram úteis para a prática de casos da vida real, aspectos considerados positivamente a favor do aplicativo de RA, porém, ao apresentar situações diferentes das quais os participantes estão habituados, pode ter ocasionado essa avaliação não tão favorável.

4.3.2 Resultados das Entrevistas com os Participantes

Na perspectiva de aprofundar a discussão dos resultados sobre a percepção dos participantes acerca da abordagem educacional envolvendo o uso dos recursos educacionais em realidade aumentada, esta seção apresenta os resultados das entrevistas conduzidas com estudantes que participaram das atividades envolvendo o uso do aplicativo avatAR UFRGS.

Para complementar a análise das entrevistas, foi utilizada a plataforma de mineração de textos Voyant Tools (2019) para a construção de nuvens de palavras para cada uma das questões efetuadas pelo pesquisador aos entrevistados. Dentre os algoritmos de mineração de dados disponíveis na Voyant Tools, a ferramenta Cirrus auxilia na construção da nuvem de palavras, também conhecido como Word Cloud, a qual posiciona as palavras de tal forma que os termos com maior frequência no corpus linguístico são posicionados centralmente e dimensionados com maior tamanho.

Desempenhar essa análise demandou que as entrevistas fossem preparadas em cinco diferentes arquivos de texto para a composição do corpus linguísticos (arquivos individuais para cada questão), categorização, definição das *stopwords* (palavras irrelevantes e desconsideradas pela ferramenta para a construção das nuvens de palavras) e remoção dos questionamentos proferidos pelo entrevistador, para que não fossem contabilizados durante a execução dos algoritmos. Por fim, cabe destacar que as percepções registradas durante as entrevistas foram realizadas através do sorteio dos participantes e, durante todo o processo, os entrevistados foram identificados e mencionados apenas por um código identificador, sem qualquer menção aos seus nomes reais, com a intenção de assegurar a privacidade durante a coleta de suas opiniões.

Para organizar a apresentação dos resultados alcançados ao longo das entrevistas, as percepções dos participantes para cada questão serão apresentadas separadamente a seguir:

QA1: Quais foram os aspectos positivos e negativos observados durante as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada?

A fim de elencar os aspectos positivos e negativos observados pelos participantes durante as atividades envolvendo o uso dos recursos educacionais em realidade aumentada no ensino de física, alguns trechos das entrevistas foram selecionados para serem apresentados na Tabela 4.17, com vistas a expressar as opiniões dos participantes.

Tabela 4.17 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1

Participante	Transcrição das Entrevistas
ID 302_19	<p>“O aplicativo é muito bom, eu gostei bastante de mexer nele, por que tu tem uma noção do que você está vendo nas aulas de física... a gente sempre vê a foto no livro, de uma parte do circuito elétrico, por exemplo, com o aplicativo a gente tem uma noção de como é que funciona o todo dele, então tu consegue ver, tu consegue imaginar ‘essa carga aqui vai pra tal lugar e essa aqui vai pra tal lugar’... pois tem as animações que ajudam muito a ter essa noção de como funciona a função de energia por exemplo, isso ajuda muito na hora de tu ter uma noção...Ele (o aplicativo) é bem um pouco lento na hora de abrir o programa em si ... eu achei meio um pouquinho incômodo por que às vezes nem abre, aí tu tem que fechar o aplicativo e abrir de novo.”</p>
ID 102_26	<p>“Aquela parte que tem as opções no lado (menu com simulações), tem muita coisa que tinha no livro também, então aquilo me ajudou de certa forma e eu percebi que a Professora também me falou que tinha ali (as simulações) e a gente usou em aula, tanto que eu percebi... Acho que as imagens me chamaram bastante a atenção.”</p>
ID 101_33	<p>“Positivo é ver o motor do carro funcionando. E o ruim é que não estava funcionando a MRUV. (A vantagem então seria visualizar os objetos?) Isso. Por exemplo o motor que eu estava falando, tu não vai conseguir cortar um bloco para visualizar ele.”</p>
ID 301_24	<p>“... é muito mais fácil identificar como é que as coisas funcionam... por exemplo, o sistema solar que eu me lembro, muita gente às vezes não entende, só olha ali o desenho e acha que tudo vai pra baixo mas não, tudo vai pro centro.”</p>
ID 101_31	<p>“... os pontos positivos é que fica bem mais fácil de tu conseguir compreender as coisas, principalmente com os objetos em 3D e ver como eles funcionam e os exemplos que tu (pesquisador) colocaste lá funcionam bem. A questão é que existem uns problemas bem simples do aplicativo, quando tu entra da primeira vez demora pra funcionar, o experimento do MRU e do MRUV não funcionam, e celulares com a tela pequena tu não consegue ter a visão completa.”</p>
ID 301_22	<p>“... eu gostei bastante que ele mostra tridimensional ... e também tu consegue ver a explicação dele (experimento) e mexendo ele tu consegue ver direitinho qual parte é o que e daí depois tu consegue ver os vídeos com a explicação dele, eu gostei bastante disso.”</p>
ID 302_16	<p>“Deu pra visualizar melhor, ter uma noção, pois permite girar, mover, olhar todas as partes. (e negativo?) ... ele (aplicativo) ocupa muito o espaço da memória.”</p>
ID 101_24	<p>“A principal vantagem foi a gente conseguir visualizar melhor os exemplos do movimento que é a nossa matéria de física. O livro traz imagens muito boas, mas quando é movimento, a gravação, a questão do deslocamento ajuda... a única desvantagem é ter que usar o QR-code.”</p>

ID 301_14	“A vantagem é de que como provavelmente nós nunca vamos ter uma experiência em física com aquelas coisa (experimentos e simulações), a gente teve uma base em três dimensões (usando o aplicativo).”
ID 101_16	“De positivo é que permite ver algumas coisas que tu não consegue ver nas aulas normalmente, ver e poder mexer nas coisas (experimentos e seus componentes). Sobre os pontos negativos não vi muita coisa, alguns estavam funcionando muito bem, alguns não.”
ID 301_12	“A maior vantagem foi tu poder ver o que está aprendendo né, o que tu estás aprendendo no bimestre tu acaba olhando no aplicativo de um jeito diferente do que tu olharias no livro, em três dimensões. (A vantagem então seria visualizar os objetos?) Eu achei bem relevante porque tu consegue ver tudo o que tá na volta e como é que acontece o próprio experimento.”
ID 302_11	“O mais positivo com certeza é poder pegar um objeto em 3D em realidade aumentada e poder abrir ele, e, por exemplo, ver o campo magnético, isso tu não poderias ver normalmente. Como negativo eu colocaria o peso dele (tamanho em disco do aplicativo).”
ID 301_10	“Tu pode ver as coisas da aula, que a professora diz em aula mas que tu não consegue realmente visualizar aquilo e com o aplicativo tu consegue ter uma ideia.”
ID 201_05	“Os positivos foi a resolução em 3D que dá para ver mais como é que são os experimentos e dá para mexer neles. Os pontos negativos não tem nenhum.”
ID 101_03	“Eu acho que o ponto positivo que eu achei é essa intenção de ajudar a ver o mundo espacialmente, entender as coisas espacialmente isso é legal. O que eu não gostei muito é que algumas simulações não eram claras, ou era muito por cima do assunto...”
ID 102_10	“Eu acho que ele teve vantagem para gente porque ele ajuda tu a entender coisas que tu não tens como entender na vida cotidiana, tipo eu não ia nunca conseguir pegar uma balança e botar pesos um de cada lado...”
ID 102_06	“Eu acho que é bom na hora de ter uma de revisão, porque aí tu com as imagens pode entender um pouquinho melhor... A vantagem que eu entendi foi que é mais fácil de ver as coisas, entender as imagens, já tem coisa escrita ali, basicamente pra tu não precisar fazer nem cálculo basicamente.”
ID 302_02	“Eu achei que o aplicativo é bom por que dá para visualizar bem toda aquela ideia, todos os objetivos físicos dele na aula de física que a gente usou. Acho que o ponto negativo é ele consome muita bateria e para melhorar ele só deixar um pouco mais rápido na hora de abrir, o resto do aplicativo é bom.”
ID 301_03	“O ponto positivo é que posso observar melhor os experimentos de física. (A vantagem então seria visualizar os objetos?) As simulações, porque tenho certeza que não conhecia alguns assuntos e acabei conhecendo no aplicativo.”

Legenda: ID → Identificador do Participante.

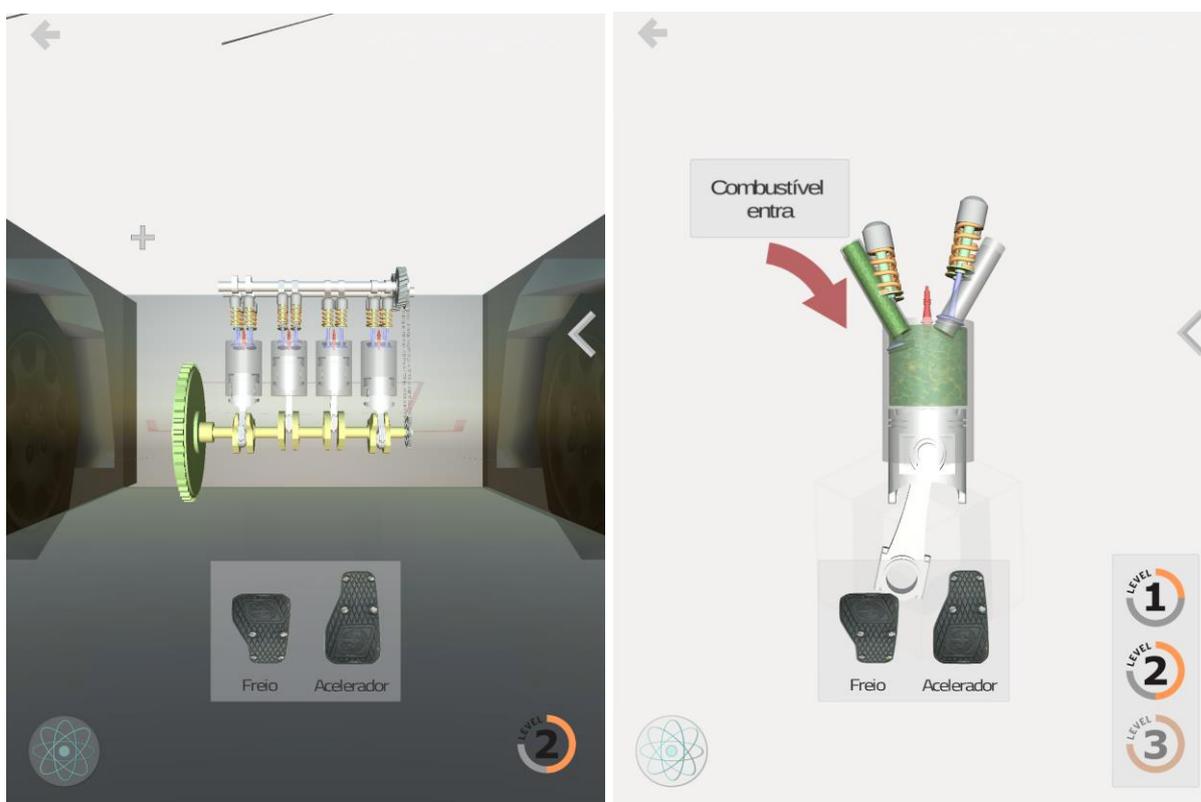
Fonte: Elaborado pelo autor.

Algumas percepções apresentadas na Tabela 4.17 revelam as convicções dos participantes acerca das vantagens envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e dos seus recursos educacionais aumentados na disciplina de Física, tais como “fica bem mais fácil de tu conseguir compreender as coisas, principalmente com os objetos em 3D e ver como eles funcionam” (Participante 101_31), “a resolução em 3D que dá para ver mais como é que são os experimentos e dá para mexer neles” (Participante 201_05), “é muito mais fácil identificar como é que as coisas funcionam” (Participante 301_24), “deu pra visualizar melhor, ter uma noção, pois permite girar, mover, olhar todas as partes” (Participante 302_16), e “o mais positivo com certeza é poder pegar um objeto em 3D em realidade aumentada e poder abrir ele, e, por exemplo, ver o campo magnético, isso tu não poderia ver normalmente” (Participante 302_11).

Com a intenção de analisar as transcrições das entrevistas, a ferramenta Voyant Tools foi utilizada para a análise do corpus linguístico da Questão de Análise 1, sendo possível identificar o total de 1.395 palavras, sendo 379 palavras únicas. A densidade do vocabulário analisado é de 0.272 e a média de palavras por sentença 32.4. As palavras mais frequentes no corpus linguístico e que foram amplamente empregadas nas entrevistas são “visualizar”, “ajuda”, “coisas”, “funciona”, “aplicativo”, “entender”, “tridimensional” e “experimentos” (Figura 4.21).

As palavras em destaque na nuvem de palavra podem ser observadas na Figura 4.21, em que é possível destacar os pontos positivos e negativos da abordagem educacional envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados no ensino de Física. Cabe ressaltar também que as palavras “positivo” e “vantagem” apresentaram maior frequência quando comparadas com as palavras “negativo” e “desvantagem”.

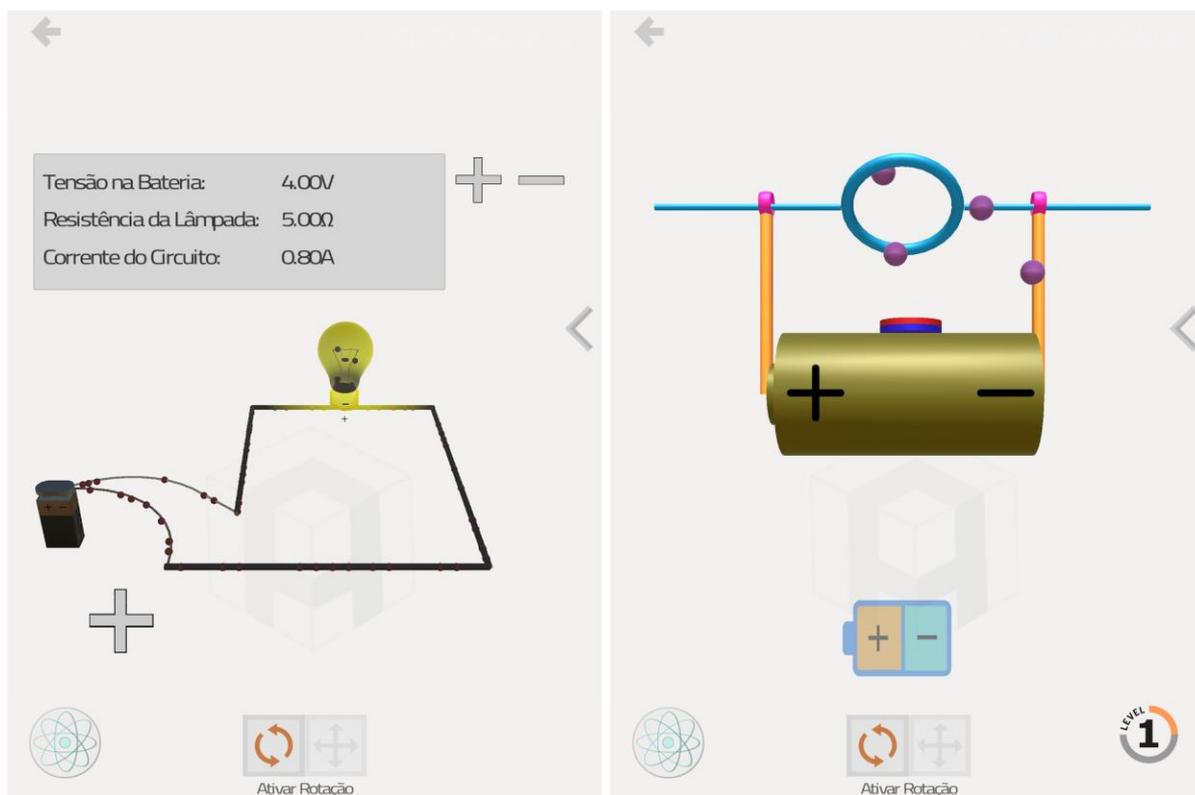
Figura 4.21 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Outro participante expressou um comentário sobre o experimento de circuito elétrico “nas aulas de física a gente sempre vê foto no livro, de uma parte do circuito elétrico por exemplo, uma parte dele e a professora só desenha uma parte também, aí (com o aplicativo) tu tem uma noção de como é que funciona o todo dele, então tu consegue ver, tu consegue imaginar, ah então essa carga aqui vai pra tal lugar e essa aqui vai pra tal lugar, pois tem as animações que ajudam muito a ter essa noção de como funciona (Participante 302_19)”, demonstrando que os recursos educacionais aumentados foram úteis para explicar situações do cotidiano que são invisíveis, como no caso do circuito elétrico relatado no comentário do participante acima, que descreve em seu comentário a visualização das cargas, o sentido, o movimento, a corrente elétrica, que o permitiram imaginar e ter uma ideia completa do que acontece em um circuito elétrico (Figura 4.23).

Figura 4.23 – Simulações de corrente elétrica e motor elétrico - visualização das cargas elétricas

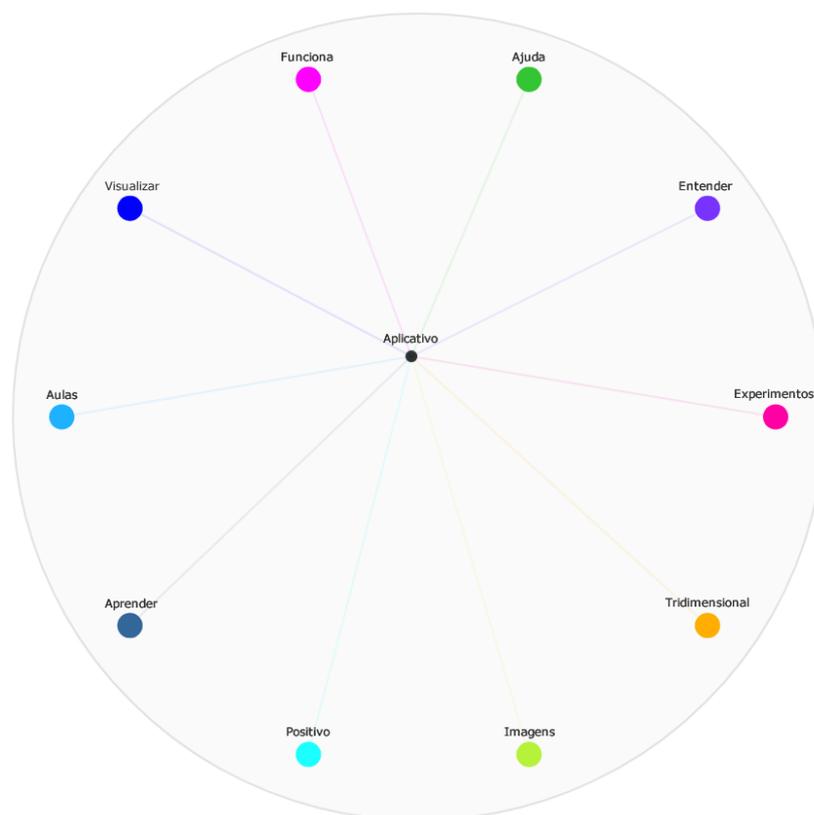


Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Outro destaque relevante foi que em nenhum momento das entrevistas foram identificadas palavras em referência a falta de conexão com a Internet da Escola. Essa constatação é uma importante evidência de que o módulo *offline* desenvolvido no aplicativo para solucionar o problema da falta de conexão nas escolas, atendeu as expectativas dos participantes, a ponto de não relatarem durante a entrevista como sendo um aspecto negativo da abordagem educacional conduzida com o uso do aplicativo em sala de aula.

Dada a densidade do vocabulário e a média de palavras por sentença identificados na transcrição das percepções dos participantes sobre a Questão de Análise 1, também se optou por verificar a ferramenta Mandala da plataforma de mineração de textos Voyant Tools, com vistas a apresentar uma visualização conceitual das relações entre os termos e o corpus linguístico (Figura 4.24).

Figura 4.24 – Mandala com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 1



Fonte: produzido pelo autor na plataforma Voyant Tools (2019).

A Figura 4.24 apresenta a visualização conceitual das relações entre os termos e o corpus linguístico, elaborada com base nas entrevistas dos participantes, sendo possível identificar o termo de pesquisa denominado como ímã (palavra “aplicativo” ao centro), que aproxima outros dez termos com base na frequência relativa de cada termo no corpus linguístico. É possível observar que a visualização conceitual das relações apresenta maior aproximação, ou seja, maior frequência relativa dos termos “Aulas”, “Visualizar”, “Funciona”, “Ajuda”, “Entender”, “Experimentos” no corpus linguísticos do que os demais termos apresentados (“Aprender”, “Positivo”, “Imagens” e “Tridimensional”).

O número de ocorrências dos termos na transcrição das entrevistas dos participantes consiste em um forte indício da significância que esses recursos educacionais aumentados possuem na percepção dos participantes para as atividades realizadas durante a abordagem educacional envolvendo o uso do aplicativo avatAR UFRGS na disciplina de Física. Aspecto que pode ser evidenciado nas palavras destacadas na Figura 4.21 e 4.24, que denotam a percepção de que os experimentos utilizados em sala de aula funcionam e ajudam a visualizar e a entender os conteúdos de Física.

QA2: As atividades que envolveram o uso do aplicativo de realidade aumentada foram úteis para o seu desempenho acadêmico na disciplina de Física?

Na expectativa de apresentar a percepção dos participantes acerca da utilidade do aplicativo de realidade aumentada e seus recursos educacionais para o processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física, alguns comentários foram anexados na Tabela 4.18:

Tabela 4.18 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 2

Participante	Transcrição das Entrevistas
ID 302_19	“...uma semana antes da prova e eu estava um pouco preocupado, por isso comecei a ver os modelos de circuito (no aplicativo) porque não conseguia entender como funcionava a parte da carga em si, e isso foi bem útil porque aí comecei a ver quando começa a aumentar a carga, pode diminuir a tensão, aí tu começa a ter mais ou menos uma noção e isso facilita na hora de fazer o exercício... (Você acredita que o aplicativo te ajudou na prova?) Isso, ajudou muito, ajudou muito mesmo.”
ID 102_26	“Acho que se eu tivesse usado mais ele (aplicativo) e mais frequente, até podia ter ajudado um pouco mais.”
ID 301_24	“Sim por causa que tinha uma explicação do lado, ... aparecia uma explicação sobre o que a gente estava vendo (informações sobre o experimento), a gente ia ver o planeta e tinha ali a explicação do que que era o planeta...”
ID 101_31	“O aplicativo é funcional e ele auxilia bastante nesse quesito (utilidade no desempenho em Física). Em matérias que não exigem tanto cálculo, funciona muito bem.”
ID 302_16	“Eu acredito que sim, pois quando usamos o aplicativo eu conseguia ver coisas que não via no dia-a-dia das aulas.”
ID 101_16	“Ajuda (no desempenho), por que tu consegue ver as imagens, diferente do que tu vê em aula.”
ID 301_12	“Eu diria que sim, porque você pode ver os dados dos experimentos, aumentar as cargas ou não, e tu acaba podendo ver como é que funciona as próprias contas que tu faz. (Interagir com a simulação te ajudou?) Sim, sim, no meu caso eu achei.”
ID 302_11	“Ajudou muito, principalmente em questão de matérias... O professor desenha um fio no quadro e tu olha o fio e diz ‘beleza é um fio’, mas aí tu pega o fio (no aplicativo), pode mexer ele e ver o campo em volta dele, é muito mais interessante, a gente consegue aprender bem mais do que só um desenho num quadro 2D.”
ID 301_10	“Sim. Como eu falei antes, eu conseguia ver partes do conteúdo que antes eu não tinha acesso.”

ID 101_03	“Eu particularmente não, porque eu consigo já ver as coisas assim, eu aprendo bem fácil, se eu estou sem ter o que fazer, eu só olho para me divertir um pouco.”
ID 102_10	“Eu acho que ele ajudou, ele complementou o que a gente já sabia e ajudou a gente a entender de certa forma coisas que a gente não tinha entendido ainda, melhor, mas o que a gente tinha como base a gente continuou tendo como base.”
ID 201_15	“Eu acredito que foi útil para o meu desempenho, pois eu vi alguns conteúdos na prática que não tinha visto na aula ou no livro, alguns casos eu tinha visto mas sem muito aprofundamento no assunto.”
ID 102_06	“Sim, física sim, porque é maior a dificuldade né? A parte de gravidade basicamente que cai os objetos né, velocidade é fácil entender.”
ID 302_02	“Melhorou um pouco minha noção espacial, ver um pouco o objeto espacial, na cabeça.”

Legenda: ID → Identificador do Participante.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A transcrição das percepções dos participantes acerca da utilidade aparente no uso do aplicativo de realidade aumentada revelam importantes contribuições dos recursos educacionais aumentados na disciplina de Física (Tabela 4.18), tais como: “quando usamos o aplicativo eu conseguia ver coisas que não via no dia-a-dia das aulas” (Participante 302_16), “eu conseguia ver partes do conteúdo que antes eu não tinha acesso” (Participante 301_10), “porque você pode ver os dados dos experimentos, aumentar as cargas ou não, e tu acaba podendo ver como é que funciona as próprias contas que tu faz” (Participante 301_12), “eu acredito que foi útil para o meu desempenho, pois eu vi alguns conteúdos na prática que não tinha visto na aula ou no livro, alguns casos eu tinha visto mas sem muito aprofundamento no assunto” (Participante 201_15), e “uma semana antes da prova e eu estava um pouco preocupado, por isso comecei a ver os modelos de circuito porque não conseguia entender como funcionava a parte da carga em si, e isso foi bem útil porque aí comecei a ver quando começa a aumentar a carga, pode diminuir a tensão, aí tu começa a ter mais ou menos uma noção e isso facilita na hora de fazer o exercício” (Participante 302_19).

Para analisar as transcrições das entrevistas, a ferramenta Voyant Tools foi utilizada para a análise do corpus linguístico da Questão de Análise 2, sendo possível identificar o total de 587 palavras, sendo 218 palavras únicas. A densidade do vocabulário analisado é de 0.371 e a média de palavras por sentença 28.0. As palavras mais frequentes no corpus linguístico foram “ajudou”, “consigo”, “funciona”, “entender”, “explicação”, “acredito”, “aulas”,

Figura 4.26 – Demonstração das explicações disponíveis ao participante em cada simulação



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Também foi possível observar algumas palavras empregadas durante as entrevistas em contextos específicos sobre os experimentos realizados durante a interação com o aplicativo, por exemplo “fio”, “cargas”, “pesos”, “planeta” e “lua”, as quais estão associados às simulações com que os participantes executaram durante a realização da abordagem educacional, evidenciando que tais experimentos consistem em situações importantes no contexto educacional a ponto de serem registradas durante as entrevistas.

QA3: Você gostaria de continuar utilizando o aplicativo de realidade aumentada em suas atividades educacionais?

Com vistas a evidenciar a percepção dos participantes acerca da continuidade no uso do aplicativo de realidade aumentada e seus recursos educacionais para o processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física, alguns comentários extraídos da entrevista foram anexados na Tabela 4.19:

Tabela 4.19 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 3

Participante	Transcrição das Entrevistas
ID 302_19	“Sim, seria muito legal... como se fosse uma atividade de tema de casa, por exemplo, use para fazer tal exercício. E na aula para ver se a gente consegue se apropriar mesmo, porque querendo ou não, a tecnologia está ajudando muito na hora de aprender e esse aplicativo ajudou muito. É muito legal.”
ID 102_26	“Eu acho legal, eu gosto de trazer a tecnologia para dentro da sala de aula, esse é o meu ponto de vista, sei que tem gente que não gosta, mas na minha opinião eu acho interessante, da mesma forma que usar fora da sala de aula.”
ID 301_24	“Eu gostaria de continuar utilizando o aplicativo. Acho que dá pra fazer tanto nos dois, em casa e na sala de aula, assim como usar o livro e o caderno pra passar tema.”
ID 101_31	“Sim. É uma forma de tornar a aula menos massiva e um pouco mais interessante sair do ‘beabá’ (tradicional) caderno-livro e livro-caderno.”
ID 302_16	“Sim, por que ele permite que a gente amplie a visão e a noção do que a gente tá fazendo ali.”
ID 101_24	“Eu usaria, eu gostaria de usar na aula, o meu real problema é que o meu telefone não tem memória e o aplicativo é um pouco pesado... mas eu usaria ano que vem. Não sei a matéria do ano que vem, mas usaria de qualquer forma.”
ID 301_12	“Acho que sim, ela (professora) poderia pedir um exercício e tu poderia ver no próprio aplicativo como ele funcionaria, não só no teórico, mas sim no prático.”
ID 302_1	“É óbvio que eu gostaria de usar o aplicativo. Quando eu tenho alguma dificuldade em física, que às vezes surge do nada, por exemplo um campo magnético, eu posso acessar o aplicativo e consigo ver o campo magnético e entender o porquê ele está ali.”
ID 201_05	“Sim, gostaria. Porque ao usar o aplicativo eu consigo ver coisas sobre o conteúdo, algumas vezes coisas que são até invisíveis.”
ID 102_10	“Eu acho que seria uma boa ser mais usado em aula por que como eu disse ele tem uma plataforma mais fácil de entender né, então facilita nas aulas.”
ID 102_06	“Sim, gostaria de continuar usando o aplicativo... Basicamente porque em sala todo mundo pode ver o conteúdo e assim discutir sobre o assunto, acho mais legal.”

Legenda: ID → Identificador do Participante.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A transcrição das percepções dos participantes a respeito do interesse em continuar a utilizar o aplicativo de realidade aumentada demonstram as motivações que o uso da

seria uma boa ser mais usado em aula, por que como eu disse, ele tem uma plataforma mais fácil de entender né, então facilita nas aulas” (Participante 102_10), “sim, gostaria que houvesse mais oportunidade de usar o aplicativo durante as aulas” (Participante 101_03), evidências que demonstram a percepção favorável dos participantes sobre o uso do aplicativo de realidade aumentada e seus recursos educacionais na disciplina de Física.

QA4: Quais foram as diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais?

A fim de elencar as percepções dos participantes acerca das diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais, os trechos das entrevistas mais relevantes foram destacados na Tabela 4.20 para demonstrar as opiniões:

Tabela 4.20 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 4

Participante	Transcrição das Entrevistas
ID 302_19	“...na aula a gente conseguia ver só o desenho do livro e não tinha noção como era o tamanho como é que funcionava isso. A Professora desenhava ‘essa carga é para cá’, mas a pessoa ‘tá e como funciona o outro lado?’ ... no aplicativo tem tudo desenhado bonitinho tem todo o campo magnético, tu pode mexer nele e girar, dar uma pausada (parar a simulação).”
ID 102_26	“Eu acho que a forma que tá mais específica ali (aplicativo), aquela parte escrita que tem no aplicativo já mostra um pouco mais, de uma forma mais simplificada, mas que eu entendi bem melhor do que tá no livro.”
ID 101_33	“É legal, ... consegue visualizar umas coisas a mais, testar um peso, por exemplo, ver informações sobre os planetas.”
ID 301_24	“Sim, por que é mais fácil de ver, até porque, por exemplo a gente está aprendendo a regra da mão direita (Regra de Fleming) e aí a gente tem que ver por onde que passa o circuito (corrente elétrica). No livro a gente só tem desenhado em 2D e no aplicativo a gente conseguia ver toda a forma de como ele realmente passa o circuito (corrente elétrica) e assim facilita de entender.”
ID 301_22	“... tu tem uma ferramenta em casa que tu pode usar mais e com uma explicação boa, por exemplo, um livro tu só lê, já o aplicativo te mostra tudo como é, te apresenta vídeos e uma explicação e tu entende melhor.”

ID 101_24	“A diferença é que a gente conseguiu entender melhor a matéria, por que com a professora só explicando no quadro e só passando desenho fica meio difícil.”
ID 301_14	“Acho que sim, eu compreendi melhor, é diferente, é mais interessante, tu tem que descobrir.”
ID 301_12	“A principal diferença foi que eu acabei me interessando mais pelas aulas, pelo fato de poder ver como é que funciona. Eu prefiro poder ver o que acontece do que só fazer cálculos ou coisa assim.”
ID 302_11	“A principal é a visualização em 3D, que é muito muito muito bom e muito útil. Também ajudou muito em questão até mesmo vendo 2D depois que tu viu em 3D, tu entende melhor pois tu já viu em 3D, aí tu imagina muito mais fácil. (Os objetos 3D auxiliaram a entender o conteúdo?) Faz mais sentido. O 2D fica muito mais fácil de ser interpretado depois de visualizado em 3D.”
ID 201_05	“Sim, na sala de aula não dá para ver muito detalhado e no aplicativo dava para ver mais detalhado os assuntos de física.”
ID 101_03	“É exatamente aquilo de poder ver as coisas espacialmente e não só ter aquela imagem 2D, que tu não consegue entender bem, funcionaria bem para biologia, por exemplo seria legal ver os órgãos.”
ID 102_10	“A gente entendeu coisas que antes a gente não entendia, por exemplo, foi mais fácil aprender sobre como funcionava a gravidade.”
ID 201_15	“Sim, por exemplo, uma atividade que tem um motor, de física, só pelo livro não dá pra entender muito bem a dinâmica né? Com o aplicativo ajuda muito na hora das atividades, para entender bem a dinâmica do motor.”
ID 102_06	“A principal diferença é que tu pode compartilhar as ideias sobre o assunto com os colegas e fazer junto com eles.”
ID 302_02	“É mais interessante, é diferente, é inovador, é melhor tu mexer na tecnologia do que ficar fazendo papel, conta, caneta.”

Legenda: ID → Identificador do Participante.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas percepções transcritas das entrevistas dos participantes a respeito das diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais executadas em sala de aula, foi possível evidenciar os aspectos positivos dos recursos educacionais aumentados apontados pelos participantes (Tabela 4.20), tais como: “consegue visualizar umas coisas a mais, testar um peso, por exemplo, ver informações sobre os planetas” (Participante 101_33), “tu tem uma ferramenta em casa que tu pode usar mais e com uma explicação boa, por exemplo, um livro

tu só lê, já o aplicativo te mostra tudo como é, te apresenta vídeos e uma explicação e tu entende melhor” (Participante 301_22), “eu compreendi melhor, é diferente, é mais interessante, tu tem que descobrir” (Participante 301_14), “a gente entendeu coisas que antes a gente não entendia, por exemplo, foi mais fácil aprender sobre como funcionava a gravidade” (Participante 102_10), “é mais interessante, é diferente, é inovador, é melhor tu mexer na tecnologia do que ficar fazendo papel” (Participante 302_02), e “a principal diferença é que tu pode compartilhar as ideias sobre o assunto com os colegas e fazer junto com eles” (Participante 102_06).

Para analisar as transcrições das entrevistas, a ferramenta Voyant Tools foi utilizada para a análise do corpus linguístico da Questão de Análise 4, sendo possível identificar o total de 640 palavras, sendo 214 palavras únicas. A densidade do vocabulário analisado é de 0.334 e a média de palavras por sentença 23.7. As palavras mais frequentes no corpus linguístico foram “entendi”, “diferença”, “fácil”, “desenho” e “funciona”. Outras palavras que não foram tão frequentes mas chamam a atenção foram “3D”, “aprender”, “atividades”, “aulas”, “visualização”, “especialmente”, entre outras (Figura 4.28).

Figura 4.28 – Nuvem de Palavras com a Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 4



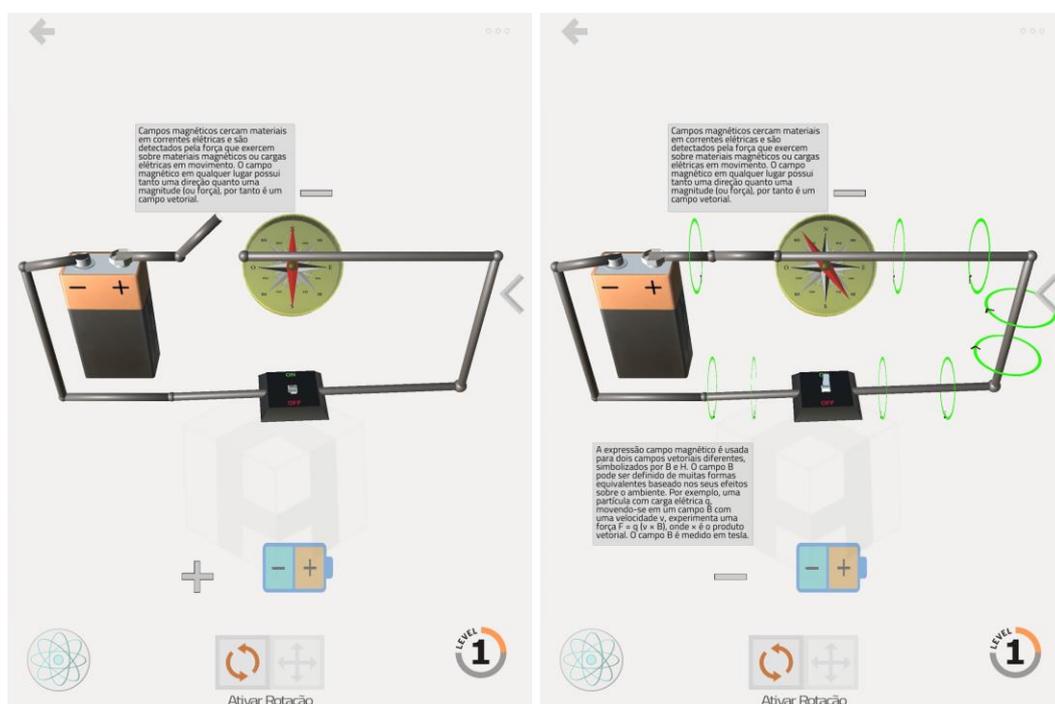
Fonte: produzido pelo autor na plataforma Voyant Tools (2019).

A respeito da nuvem de palavras construída com base no corpus linguístico da Questão de Análise 4, a Figura 4.28 apresenta a percepção dos entrevistados sobre as

diferenças observadas entre as atividades educacionais envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada e as atividades tradicionais.

Analisar os contextos em que essas palavras foram utilizadas permite extrair importantes evidências para o entendimento completo da percepção dos participantes acerca das diferenças entre as duas abordagens (tradicional e uso do aplicativo), as quais foram empregadas nos seguintes contextos “no livro a gente só tem desenhado em 2D e no aplicativo a gente conseguia ver toda a forma de como ele realmente passa o circuito e assim facilita de entender” (Participante 301_24), “a principal (diferença) é a visualização em 3D, que é muito muito muito bom e muito útil (Figura 4.29). Também ajudou muito a questão de ver em 2D e depois em 3D, tu entendes melhor pois tu já viste em 3D, aí tu imaginas muito mais fácil” (Participante 302_11), “é exatamente aquilo de poder ver as coisas espacialmente e não só ter aquela imagem 2D, que tu não consegues entender bem, funcionaria bem para biologia, por exemplo seria legal ver os órgãos” (Participante 101_03). Os trechos destacados das entrevistas demonstram que os participantes identificaram as diferenças entre as abordagens e foram favoráveis acerca das potencialidades dos recursos aumentados para o processo educacional na disciplina de Física.

Figura 4.29 – Exemplo de interação do usuário com o experimento e seus conteúdos



Fonte: do autor.

Outros diferenciais apontados pelos participantes foram “... eu acabei me interessando mais pelas aulas, pelo fato de poder ver como é que funciona. Eu prefiro poder ver o que acontece do que só fazer cálculos ou coisa assim” (Participante 301_12), “... na sala de aula não dá para ver muito detalhado e no aplicativo dava para ver mais detalhado os assuntos de física” (Participante 201_05), “... na aula, como eu disse antes, a gente conseguia ver só o desenho do livro e não tinha noção como era o tamanho, como é que funcionava isso... no aplicativo tem tudo desenhado bonitinho tem todo o campo magnético, tu podes mexer nele e girar...” (Participante 302_19), evidenciando que o uso do aplicativo possibilitou visualizar os conteúdos com maior nível de detalhamento, permitindo a interação com ocorrências que muitas vezes são invisíveis, por exemplo o campo magnético e elétrico, características que permitem o entendimento acerca do conteúdo e motivam os participantes a se interessarem mais pelas aulas.

QA5: Quais recursos educacionais despertaram sua atenção nas atividades envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada? Você saberia descrever algumas características desses recursos?

Com o intuito de elencar os aspectos que despertaram a atenção dos participantes nas atividades envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada no processo de ensino e aprendizagem de Física, alguns trechos das entrevistas foram selecionados para serem apresentados na Tabela 4.21, com vistas a expressar as opiniões dos participantes.

Tabela 4.21 – Transcrição das Entrevistas da Questão de Análise 5

Participante	Transcrição dos Comentários
ID 302_19	“O do campo magnético. Eu achei bem divertido porque como a gente estava estudando o campo magnético eu não conseguia imaginar direito. No aplicativo é só tu ver ali e tinha a noção de como era o campo e tu conseguia já gravar. Então toda a hora que eu lembro de campo magnético vem a parte do aplicativo na minha cabeça. (O que chamou a sua atenção?) Por que ele mostrava como o campo funcionava. Isso foi muito útil.”
ID 101_33	“O motor me chamou a atenção. (O que chamou a sua atenção?) O bloco com os pistões, que você consegue ver funcionando.”
ID 301_24	“O sistema solar... (O que chamou a sua atenção?) ... ele tinha cada detalhe, de cada coisa referente ao planeta. Tinha outro experimento de planeta que tu podia escolher um planeta e largar um peso e tu via a

	diferença de gravidade entre os planetas (relação peso e massa). Em Júpiter por exemplo, que eu me lembro, a gravidade era mais forte. Aí isso daria até para relacionar, por exemplo, com a teoria da relatividade, dizer que o tempo lá pode passar diferente do que aqui.”
ID 101_31	“A do sistema solar achei ela bem feita como funcionava os planetas. (O que chamou a sua atenção?) A velocidade que os astros se moviam, era condizente com a realidade.”
ID 302_16	“Os geradores, tinham sons, demonstrava o que estava acontecendo e também tinha explicação.”
ID 101_24	“Tinha uma simulação sobre o motor do carro em que eu conseguia visualizar o acelerador e o funcionamento do motor, inclusive era possível visualizar o movimento dos pistões quando eu acelerava o carro.”
ID 301_14	“O experimento falando sobre os pesos, as velocidades, em que eu podia soltar os pesos de diferentes alturas e em diferentes planetas, para ver a velocidade em que caiam.”
ID 301_12	“Teve o do sistema solar, a bobina de tesla e a do moinho. (O que chamou a sua atenção?) Porque foi coisa que a gente acabou aprendendo e visualizando no aplicativo como é que funcionava.”
ID 302_11	“Eu achei interessante o do empuxo, bola de plasma, mas principalmente o do campo magnético da Terra. (O que chamou a sua atenção?) Principalmente o do campo magnético foi porque é uma coisa que a gente não consegue ver, os pólos e as formas diferenciadas.”
ID 201_05	“O da bateria, porque eu conseguia visualizar em 3D como que a energia passava pelo fio e o sentido da corrente.”
ID 101_03	“Eu lembro da gravidade, um experimento que tem os planetas e tem os objetos e a maçã e o peso. Eu podia puxar esses objetos para cima e ele cai de acordo com a gravidade daquele planeta.”
ID 102_10	“Eu lembro da simulação dos objetos caindo no chão. (O que chamou a sua atenção?) Por que tu pode interagir com aquilo, tu pode colocar o que tu quiser na balança e ver o que vai mexer. Na hora que vou fazer uma prova, vou lembrar daquilo, é uma coisa que se você é um aluno visual, é mais fácil de lembrar do que tu vê do que do que escuta e aquilo ajuda bastante.”
ID 302_02	“Aquele experimento da pilha que saía o campo magnético de cima e voltava pra baixo. (O que chamou a sua atenção?) Os arcos do campo magnético, a interação de aumentar e diminuir a carga, o que ele mostrava pra mim, deu pra ver e foi bem interessante.”

Legenda: ID → Identificador do Participante.

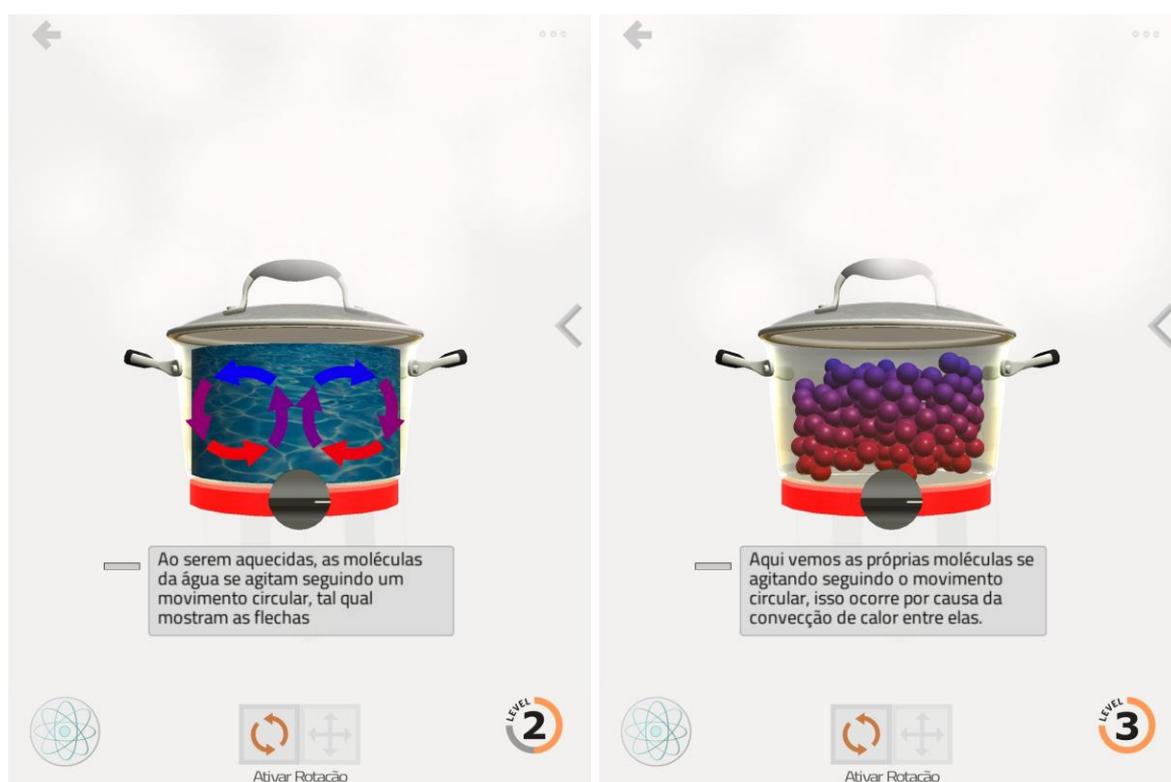
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da transcrição das percepções dos participantes a respeito dos recursos educacionais aumentados que despertaram a sua atenção, foi possível destacar as características evidenciadas a respeito dos recursos utilizados durante as atividades

Com relação a respeito da nuvem de palavras apresentada na Figura 4.30 construída com base no corpus linguístico da Questão de Análise 5, é possível observar a percepção dos entrevistados acerca dos recursos educacionais que despertaram a atenção durante as atividades envolvendo o uso do aplicativo de realidade aumentada.

Os termos com maior frequência na nuvem de palavras estão relacionados às simulações com que os participantes interagiram (Figura 4.31), associadas a comentários positivos, tais como: “a gente estava estudando o campo magnético e eu não conseguia imaginá-lo... No aplicativo é só tu ver ali e tinha a noção de como era o campo e tu conseguia já gravar. (Porque te chamou a atenção?) Por que ele mostrava como o campo funcionava. Isso foi muito útil” (Participante 302_19), outro comentário no mesmo sentido também foi observado na entrevista do Participante 302_11 “principalmente o do campo magnético, porque é uma coisa que a gente não conseguia ver” (Participante 302_11).

Figura 4.31 – Exemplo de experimento e suas reações mediante a interação do usuário

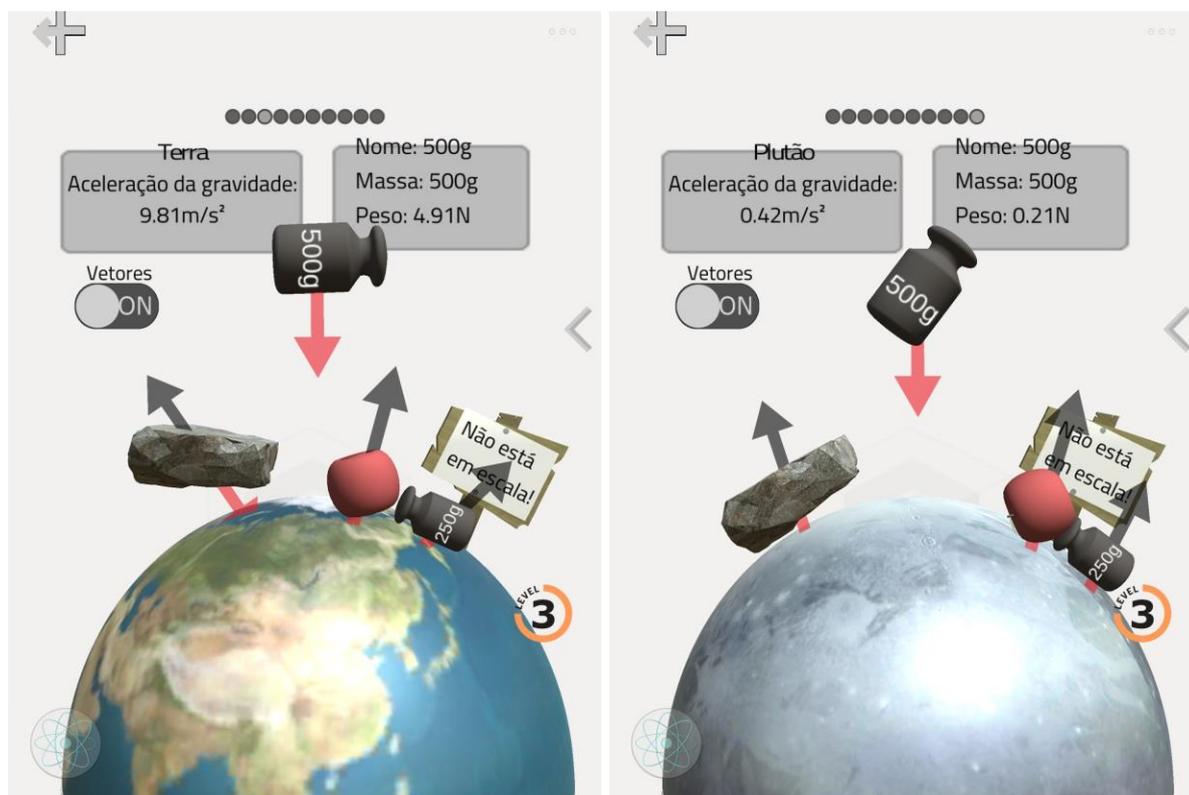


Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Outro conteúdo apresentado no aplicativo que também foi lembrado pelos participantes consiste na relação de peso e massa (Figura 4.32). O aplicativo permitia aos usuários soltarem objetos em diferentes atmosferas, buscando promover a compreensão sobre

a quantidade de matéria presente em um corpo (massa) e a força “invisível” que os atrai para a superfície do planeta (peso).

Figura 4.32 – Simulação para representar as grandezas peso e massa



Fonte: AVATAR UFRGS (2019).

Acerca da interação com a simulação de peso e massa, os comentários foram “eu podia escolher um planeta e largar um peso e ver a diferença de gravidade entre os planetas” (Participante 301_24), “eu podia soltar os pesos de diferentes alturas e em diferentes planetas, para ver a velocidades em que caiam” (Participante 101_16), “eu podia puxar esses objetos para cima e ele cai de acordo com a gravidade daquele planeta” (Participante 101_03) e “eu podia clicar em cada planeta e ver informações, ver a explicação” (Participante 301_22).

Os comentários demonstram que a abordagem educacional com recursos educacionais aumentados desperta a atenção dos usuários, envolvendo-os ativamente no seu processo de ensino e aprendizagem. Além disso, os relatos enfatizam a importância de simulações que possibilitem a interação ativa do usuário, que apresentem significados associados aos conteúdos vistos em sala de aula e permitam testar suas hipóteses e verificar os resultados das suas ações.

5 CONCLUSÃO

A reconhecida dificuldade dos estudantes em construir o conhecimento sobre Física é tema de diferentes pesquisas, publicadas ao longo dos anos. Acerca deste tema, importantes evidências foram apresentadas no relatório sobre os resultados do PISA a nível mundial (OECD, 2016), as quais destacam a desigualdade no desenvolvimento educacional nas áreas de Ciências, tais como a Física, entre os países participantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Dentre os fatores que influenciam o aprendizado de Física, Ibáñez et al. (2019) afirmam que a baixa capacidade de visualização espacial dificulta a abstração dos fenômenos físicos, uma vez que estas operações mentais de abstração, segundo Yilmaz et al. (2015), são demandadas pelos estudantes durante a aprendizagem, contribuindo para visualizar mentalmente os objetos, conhecê-los de diferentes perspectivas e translada-los.

O reconhecimento destes aspectos serviu como elemento motivador para nortear os estudos desta tese, a fim de entender o problema e propor uma solução factível, que pudesse ser adotada como prática pedagógica para o ensino de Física para estudantes de nível fundamental e médio. A partir da revisão sistemática da literatura, foi possível observar importantes vantagens no âmbito educacional, para diferentes áreas do conhecimento, relacionados ao uso de realidade aumentada em dispositivos móveis e o acesso de estudantes aos recursos multimídia. Nesta perspectiva, investigar o impacto das interações dos estudantes com os recursos educacionais aumentados no processo de ensino e aprendizagem de Física, se apresenta como uma temática relevante de pesquisa.

Com o intuito de verificar o impacto das interações dos estudantes com os recursos educacionais aumentados, diferentes estudos foram realizados buscando contemplar os envolvidos no processo de ensino e aprendizagem de Física. Portanto, foi realizado um estudo com professores em formação, com vistas a identificar a percepção dos mesmos sobre os aspectos pedagógicos dos recursos educacionais aumentados, na perspectiva de auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de Física. Após a validação com os professores em formação da área investigada, foi iniciada a pesquisa com os estudantes matriculados em disciplinas de Física, em nível fundamental e médio, através da realização das avaliações preliminares (pré-testes), para determinar o nível da habilidade de visualização espacial e de conhecimento em Física. Após a interação dos estudantes com os recursos educacionais aumentados, as avaliações foram realizadas novamente (pós-teste), a fim de identificar se as interações com os recursos educacionais contribuíram no processo de ensino e aprendizagem

de Física. Ao término das atividades, os estudantes também foram entrevistados e responderam a um questionário para avaliar a qualidade da abordagem educacional envolvendo o uso dos recursos educacionais aumentados.

A partir dos resultados evidenciados nesta tese, foi possível constatar que ao longo dos últimos anos tem sido observado que a realidade aumentada na educação está evoluindo substancialmente (BACCA et al., 2019), especialmente em abordagens educacionais envolvendo o uso de dispositivos móveis (CHATZOPOULOS et al., 2017). Os dispositivos móveis tem se destacado devido ao impacto positivo ocasionado, tanto para os professores quanto para os alunos (OZDAMLI e UZUNBOYLU, 2015; MOHAMMADI, 2015). Estas iniciativas em realidade aumentada para dispositivos móveis vêm avançando no âmbito educacional, uma vez que os estudantes podem acessar os materiais e os conteúdos de aprendizagem em qualquer lugar e a qualquer momento (HANAFI et al., 2017).

Nesta perspectiva, é importante ressaltar que a construção de aplicações educacionais com recursos de realidade aumentada para dispositivos móveis precisa ser articulada do ponto de vista pedagógico. Aspecto enfatizado por Christensen, Marunchak e Stefanelli (2013), dado que paralelamente ao uso dos recursos computacionais oferecidos por esse tipo de ambiente, o foco no lado educacional, que deve ser articulado pelo professor, torna-se essencial e deve ser cuidadosamente estabelecido e organizado. Estes aspectos podem ser definidos como usabilidade pedagógica, conforme descrito por Lakkala, Rahikainen e Hakkarainen (2001), ou seja, a correspondência entre o *design* do sistema e o ambiente educacional, situação e contexto em que será utilizado.

Os resultados oriundos da avaliação realizada com professores em formação na área de Ciências, possibilitou avaliar a usabilidade pedagógica dos recursos educacionais do aplicativo avatAR UFRGS. A análise dos resultados se propôs a discutir o grau de usabilidade pedagógica percebida pelos professores em formação para as dimensões de Aspectos Pedagógicos (média global alcançada 4,27), Aspectos de Ensino de Ciências (média global alcançada 4,33) e Aspectos de Usabilidade (média global alcançada 4,24). Através dos resultados obtidos, é possível afirmar que os recursos educacionais aumentados atendem às características de usabilidade pedagógica comuns aos materiais de aprendizagem digitais, pois, conforme as diretrizes de Nokelainen (2006), oferecem aos aprendizes o controle sobre as suas ações de aprendizagem, oferecendo interações com simulações e possibilitando a validação de hipóteses abordadas em sala de aula pelo professor, além de proporcionar suporte para as experiências de aprendizagem através de situações simuladas, autênticas e fidedignas ao mundo real.

Os fatores determinantes para esta ampla aceitação observada nos recursos de realidade aumentada na educação, incluem a disponibilidade de dispositivos portáteis de baixo custo com recursos inovadores que permitem a implantação de aplicativos baseados em RA (IBÁÑEZ e DELGADO-KLOOS, 2018). Estas características dos recursos educacionais aumentados combinados com os recursos multimídias, se integram à fidelidade representacional e ao controle imediato do usuário, que de acordo com Makransky e Petersen (2019) constituem-se em qualidades únicas de ambientes virtuais de aprendizagem em 3D e que explicam o valor educacional das simulações virtuais. Atributos que, conforme Ibáñez e Delgado-Kloos (2018) também proporcionam imersão sensorial, navegação e manipulação, que funcionam como promotores de emoções positivas enquanto os estudantes aprendem, além de criar resultados de aprendizado mais eficientes.

No geral, os resultados observados a respeito de usabilidade pedagógica dos recursos educacionais aumentados podem ser considerados positivos, pois demonstram que na percepção dos professores em formação tais recursos podem, de fato, auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de Ciências, além de fornecer uma ferramenta agradável e bem estruturada, com potenciais benefícios para os estudantes e para apoiar a prática docente, oferecendo suporte à construção de conceitos e associação entre teoria e o mundo real, além de facilitar o acesso de estudantes aos recursos educacionais aumentados em sua forma de conteúdos de aprendizagem interativos. Entende-se que os resultados positivos observados nos recursos educacionais aumentados estão interligados aos princípios defendidos por Mayer (2009), pois, da mesma forma que a teoria da aprendizagem multimídia faz uso dos sentidos humanos, Specht, Ternier e Greller (2011) elucidam que os recursos da realidade aumentada melhoram os sentidos primários de uma pessoa (visão, audição e tátil) com informações virtuais ou naturalmente invisíveis, tornando-as visíveis por meios digitais.

As implicações da teoria de aprendizagem multimídia de Mayer (2009) para os recursos educacionais em realidade aumentada apresentados nesta tese, permitem contemplar os princípios de: Multimídia: disponibilizados através de textos, imagens, áudios, vídeos e objetos 3D simulados para a interação dos usuários, projetados e desenvolvidos com a supervisão de professores formados na área fim; Atenção dividida: o usuário tem a possibilidade de interagir e manusear experimentos que abrangem recursos integrados, que apresentam informações contextualizadas ao experimento e ao nível de conhecimento em que o usuário está interagindo, além de também dispor de informações e recursos segmentados conforme os conteúdos, para que não ocorra sobrecarga de informações durante a interação; Modalidade: os recursos aumentados apresentam informações gráficas combinadas com

informações textuais, mas principalmente com informações audíveis, pois Mayer (2009) argumenta que aprender com animação e narração é mais eficaz do que aprender com animação e texto; Redundância: as informações contidas nos recursos aumentados observaram este princípio para não repetir conhecimentos, apresentando sempre novos elementos e de maneira encadeada, ensejando o aprendizado; Segmentação, pré-treinamento e modalidade: os recursos educacionais foram desenvolvidos para permitir a interação dos usuários através de uma ordem crescente, do conteúdo básico ao avançado, através de níveis, apresentando primeiramente as principais características e conceitos para que em um segundo momento fossem apresentadas as informações mais complexas, almejando o completo entendimento ao término de suas interações; Coerência, sinalização, contiguidade espacial, contingência temporal e de redundância: foram desenvolvidos recursos aumentados utilizando-se de mídias de texto, imagem, vídeo e simulação em 3D, cada qual considerando a apresentação de informações contextualizadas e essenciais para o pleno entendimento do conteúdo que estava sendo apresentado; e, Personalização, voz e imagem: nos recursos educacionais foram implementados efeitos de visualização dos conteúdos educacionais (até mesmo aqueles que se manifestam invisíveis) e com recursos audíveis, permitindo ao aluno ver as ocorrências e ouvir os sons referentes ao funcionamento das experiências, bem como as explicações sobre os conteúdos e leis da Física associadas.

Dentre as habilidades demandadas durante o desenvolvimento cognitivo, buscou-se investigar nesta tese a habilidade de visualização espacial, uma vez que é abordada como crucial na solução de problemas que envolvem a manipulação e o processamento de informações visuo-espaciais (LAJOIE, 2003). A respeito desta capacidade, Lee e Wong (2014) corroboram argumentando que a habilidade espacial compreende aptidões de reestruturar ou manipular mentalmente os componentes do estímulo visual e envolve reconhecer, reter e recordar configurações, sendo capaz de, segundo Höffler e Leutner (2011), impactar na compreensão da visualização computacional em 3D.

Nesta perspectiva, esta tese objetivou conduzir investigações afim de verificar os impactos dos recursos educacionais aumentados para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial de seus usuários, bem como os benefícios práticos de suas interações com os recursos multimídia. No que tange à capacidade espacial dos participantes pesquisados, a análise dos resultados permite concluir que o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial está correlacionado às interações dos indivíduos com os recursos educacionais aumentados. Da mesma forma, é possível concluir que o desenvolvimento do conhecimento em Física, embora em menor valor, está correlacionado às interações dos

participantes com os recursos educacionais aumentados. Ao menos para os indivíduos do Ensino Fundamental, foram encontradas evidências de que a melhora no desempenho em visualização espacial está relacionada à variável de desempenho em Física, ou seja, ter uma boa habilidade em visualização espacial aumenta a probabilidade de um indivíduo aumentar seu desempenho em Física, conforme também evidenciado por Cheng e Tsai (2013), Quintero et al. (2015), Chang et al. (2017), Ibáñez e Delgado-Kloos (2018) e Ibáñez et al. (2019), que demonstram que a capacidade espacial está fortemente associada à aprendizagem STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática). Além do efeito positivo observado na capacidade espacial, também foi possível concluir que quanto maior for o número de interações que o usuário realizar com os recursos educacionais aumentados, maior será o seu desempenho em visualização espacial e maior será o seu desempenho em Física.

A respeito do efeito positivo observado nesta tese sobre a habilidade de visualização espacial e sua relação com o desempenho dos indivíduos pesquisados, é semelhante ao relatado por Città et al. (2019), que após a realização de atividades práticas sobre pensamento computacional, constataram maior desempenho em capacidade espacial dos estudantes participantes. Efeito também observado na pesquisa de Huk (2006), em que foi constatado que a habilidade de visualização espacial é capaz de causar diferenças no desempenho de um indivíduo quando aprende por meio de animações ou simulações interativas em 3D (HÖFFLER e LEUTNER, 2011), visto que possui um impacto na compreensão da visualização computacional em 3D, dependendo de sua capacidade em extrair informações relevantes e depois reconstruírem ou incorporarem as informações em seus modelos mentais existentes.

As interações proporcionadas aos usuários com os recursos educacionais aumentados constituem-se em um importante instrumento pedagógico, passível de ensinar o processo de ensino e aprendizagem, especialmente ao incorporar o uso de recursos multimídia e simulações tridimensionais para o ensino de conteúdos de Ciências. Em virtude de que estas interações permitem que os usuários visualizem os conhecimentos estudados, que por vezes são invisíveis a olho nu, e executem ações para manipulá-los, proporcionando aos mesmos novas formas e perspectivas de compreender os conceitos teóricos na prática, oportunizados através da ação, observação e reflexão.

Estas vantagens pedagógicas observadas nos recursos educacionais aumentados se sustentam na definição de Città et al. (2019), que descreve que os processos cognitivos de mais alto nível e a aquisição do conhecimento mais abstrato estão constantemente e intimamente ligados ao ambiente, as quais emergem de práticas concretas, situadas e baseadas

em ações. Do ponto de vista teórico, Lave (2013, p. 236-237) define essas relações como “o contexto da atividade socialmente situada”, que explica a aprendizagem como onipresente nas atividades contínuas, embora, muitas vezes, não seja reconhecida como tal. A atividade situada sempre envolve mudanças no conhecimento e na ação, as quais são centrais ao que queremos dizer com aprendizagem.

Outra perspectiva investigada nesta tese consiste nas características dos indivíduos pesquisados. Dado que a literatura da área descreve que em ambientes de aprendizagem baseados na realidade aumentada e voltados para áreas de STEM, a relação entre as características dos indivíduos pesquisados, como gênero ou estilo de aprendizagem e seus resultados de aprendizagem, ainda não foi estabelecida (IBÁÑEZ e DELGADO-KLOOS, 2018). Portanto, uma interessante constatação desta tese consiste na relação de equivalência entre as características de gênero dos indivíduos pesquisados e seus respectivos desempenhos em visualização espacial, a partir de suas interações com os recursos educacionais aumentados.

Embora a literatura indique que frequentemente o gênero masculino apresenta maior habilidade em relação ao gênero feminino em atividades que envolvam e/ou demandam da visualização espacial (SACCUZZO et al., 1996; YANG e CHEN, 2010; OECD, 2015), durante as investigações realizadas nesta tese, verificou-se que apenas na primeira avaliação (pré-teste) o gênero masculino se sobressaiu com diferença estatisticamente significativa em questões de desempenho na habilidade de visualização espacial. Na segunda avaliação foi possível observar que a habilidade de visualização espacial do gênero feminino foi melhorada significativamente após o uso dos recursos educacionais aumentados, a ponto de não terem sido encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os gêneros na segunda avaliação, evidência que comprova o efeito positivo para a equivalência entre os gêneros dos indivíduos pesquisados.

Nesta perspectiva, as descobertas são consistentes com os resultados encontrados em pesquisa anterior de Yang e Chen (2010), que também constataram diferenças nas habilidades espaciais entre os gêneros em uma primeira análise, com o gênero masculino apresentando melhores resultados. Porém, os participantes do gênero feminino melhoraram em ritmo mais rápido e também não foram estatisticamente diferentes do gênero masculino nas atividades que realizaram utilizando jogos digitais. Portanto, com base nesta evidência é possível determinar que, através da questão levantada por Ibáñez e Delgado-Kloos (2018), esta tese estabeleceu que em se tratando de recursos educacionais aumentados para o ensino de Física, existe uma relação positiva entre as características de gênero dos indivíduos pesquisados e o

desempenho em visualização espacial e na aprendizagem de conteúdos de Física, principalmente, para o gênero feminino.

O efeito significativo positivo observado nos resultados de visualização espacial dos participantes que utilizaram os recursos educacionais aumentados, fornece evidências do potencial da tecnologia de realidade aumentada para apoiar e aprimorar tanto a habilidade de visualização espacial dos participantes como também o aprendizado de conhecimentos de Física. Esta descoberta implica que a abordagem educacional envolvendo o uso de recursos educacionais aumentados, através da interação ativa do participante, é superior à abordagem convencional adotada em sala de aula, tradicionalmente centrada no professor. Nesta perspectiva, Yip et al. (2019) enfatizam que o ensino e a aprendizagem de alta qualidade exigem um envolvimento ativo com os alunos. Tal envolvimento constatado nos participantes desta tese, só foi possível devido aos recursos educacionais aumentados desenvolvidos no formato de multimídia simulada e tridimensional, os quais possibilitaram a interação, a configuração de parâmetros pelos usuários e a visualização das suas modificações em tempo real.

Estes resultados vão ao encontro da pesquisa realizada por Lee e Wong (2014), que observou um efeito positivo significativo de um ambiente de aprendizado baseado em realidade virtual para apoiar e aprimorar o aprendizado no ensino de biologia. Para evidenciar este resultado, foi comparado o desempenho dos estudantes de alta e baixa capacidade espacial entre um ambiente de realidade virtual centrado no aluno e um ambiente interativo centrado no professor sem visualização em 3D. Lee e Wong (2014) demonstraram que os estudantes com baixa capacidade espacial se beneficiaram mais do ambiente de aprendizado baseado em realidade virtual, porque eles têm dificuldade em reconstruir mentalmente sua própria visualização.

Compreender os efeitos da habilidade espacial no processo de desenvolvimento cognitivo é fundamental para o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem de Ciências, uma vez que, de acordo com Wai, Lubinski e Benbow (2009), a capacidade espacial está relacionada ao envolvimento posterior em especializações e ocupações relacionadas as áreas da STEM, mais especificamente, áreas que englobam os conhecimento de Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemáticas, e fundamentais para o desenvolvimento da sociedade como um todo.

Os resultados evidenciados nesta tese representam um primeiro passo para explorar a relação entre habilidades espaciais e o desenvolvimento do conhecimento em Física. De modo geral, as descobertas apresentadas nesta tese permitem uma melhor compreensão do potencial

da realidade aumentada e de seus recursos multimídia na educação, especialmente as relações encontradas entre as interações do participante a melhora no seu desempenho da habilidade de visualização espacial, os quais evidenciam que os recursos educacionais aumentados contribuem para a melhora no desempenho da aprendizagem de Física e da habilidade de visualização espacial. Tais constatações permitem inclusive que os educadores explorem perspectivas para facilitar o processo de ensino e aprendizado em Física, combinando diferentes tipos de fontes multimídia, incluindo modelos espaciais 3D, imagens, informações textuais, vídeos, animações e sons, para impor conteúdos interativos aos seus alunos através dos recursos educacionais aumentados em dispositivos móveis.

5.1 Trabalhos Futuros

Ao longo do desenvolvimento dessa tese, identificou-se algumas características com potencial para serem trabalhadas posteriormente, as quais não puderam ser incluídas no decorrer dessa pesquisa devido à complexidade intrínseca a cada um dos processos e por requerer tempo a mais do que previsto no cronograma estipulado. Portanto, a seguir são apresentadas algumas possibilidades de trabalhos futuros:

Em conformidade com as considerações de Ibáñez e Delgado-Kloos (2018), a relação entre as características do estudante, tais como gênero ou estilo de aprendizagem, e seu respectivo desempenho de aprendizagem não foi estabelecida. Embora esta tese tenha apresentado resultados estatisticamente significativos relacionados ao gênero e o desempenho do estudante na habilidade de visualização espacial e no desenvolvimento de conhecimentos em Física, ainda são necessárias pesquisas que contemplem as demais características e aptidões do aprendiz, tais como estilos de aprendizagem, inteligências múltiplas, entre outras.

Com base nos resultados observados nesta tese acerca da relação entre a interação dos participantes com os recursos educacionais aumentados e o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial e o conhecimento em Física, também podem ser contempladas como perspectivas futuras o desenvolvimento de diretrizes para a construção de recursos e objetos educacionais aumentados, dado que a literatura define amplamente o uso de recursos multimídia no processo de ensino e aprendizagem, porém carece de maior esclarecimento sobre os fundamentos e especificações para o desenvolvimento de recursos mais eficientes.

Ao construir diretrizes para o desenvolvimento de recursos educacionais em realidade aumentada, também podem ser investigados os efeitos desses recursos na atenção e

engajamento dos seus usuários, dado que em uma pesquisa prévia, através de uma análise qualitativa utilizando sensores de ondas cerebrais, Herpich et al. (2018) foram capazes de identificar que os recursos educacionais aumentados apresentaram efeito positivo para aumento nos níveis de atenção dos usuários. Porém, os resultados observados ainda são preliminares e precisam de um número maior de amostra de dados. O mesmo conceito de uso de sensores pode ser explorado para identificar os níveis de sobrecarga cognitiva dos recursos educacionais aumentados.

REFERÊNCIAS

- AKÇAYIR, Murat, AKÇAYIR, Gökçe, Pektaş, Hüseyin M., Ocak, Mehmet A. Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. **Computers in Human Behavior**, 57, p. 334–342, 2016.
- ALL, Anissa, PLOVIE, Barbara, Castellar, Elena P. N., Looy, Jan V.. Pre-test influences on the effectiveness of digital-game based learning: A case study of a fire safety game. **Computers & Education**, 114, p. 24–37, 2017.
- ALMEIDA, Elizabeth G. D. Aprendizagem Situada. **Texto Livre: Linguagem e Tecnologia**, 7 (1), p. 177–185, 2014.
- AMIN, Dhiraj, GOVILKAR, Sharvari. Comparative Study of Augmented Reality SDK's. **International Journal on Computational Sciences & Applications**, 5 (1), p. 11–26, 2015.
- ARToolKit**. 2019. Disponível em: <<https://artoolkit.org/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- Augment**. 2019. Disponível em: <<http://www.augment.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- AVATAR. Página oficial do Projeto AVATAR (Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto)**. 2019. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/avatar>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- AZUMA, Ronald. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, 6 (4), p. 355–385, 1997.
- AZUMA, Ronald, BAILLOT, Yohan, BEHRINGER, Reinhold, FEINER, Steven, JULIER, Simon, MACINTYRE, Blair. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics And Applications**, 21 (6), p. 34–47, 2001.
- BACCA, Jorge, BALDIRIS, Silvia, FABREGAT, Ramon, KINSHUK. Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. **Australasian Journal of Educational Technology**, 35 (3), p. 102–117, 2019.
- BASILI, V. R.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. D. Goal Question Metric Paradigm. In: MARCINIAK, J. J. (Ed.). **Encyclopedia of Software Engineering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. p. 528–532.
- BECKER, Adams S., CUMMINS, M., DAVIS, A., FREEMAN, A., HALL, Giesinger C., ANANTHANARAYANAN, V. **NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition**. Austin, Texas. Disponível em: <<http://cdn.nmc.org/media/2017-nmc-horizon-report-he-EN.pdf>>.
- BILLINGHURST, Mark, DÜNSER, Andreas. Augmented reality in the classroom.

Computer, 45 (7), p. 56–63, 2012.

BISSOLOTTI, Katielen, NOGUEIRA, Garcia H., PEREIRA, Alice T. C. Potencialidades das mídias sociais e da gamificação na educação a distância. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, 12 (2), p. 1–11, 2014.

BlippAR. 2019. Disponível em: <<https://blippar.com/en/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

BOTELLA, C., BRETON-LÓPEZ, J., QUERO, S., BAÑOS, R. M., GARCÍA-PALACIOS, A., ZARAGOZA, I., ALCANIZ, M. Treating cockroach phobia using a serious game on a mobile phone and augmented reality exposure: A single case study. **Computers in Human Behavior**, 27 (1), p. 217–227, 2011.

BRESSLER, Denise M., BODZIN, Alec M. Investigating Flow Experience and Scientific Practices During a Mobile Serious Educational Game. **Journal of Science Education and Technology**, 25 (5), p. 795–805, 2016.

BRIEN, Heather L. O., CAIRNS, Paul, HALL, Mark. A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (UES) and new UES short form. **International Journal of Human-Computer Studies**, 112, p. 28–39, 2018.

BROWN, John Seely, COLLINS, Allan, DUGUID, Paul. Situated Cognition and the Culture of Learning. **Educational Researcher**, 18 (1), p. 32–42, 1989.

BRUNER, Jerome S. The Act of Discovery. **Harvard Educational Review**, 31, p. 21–32, 1961.

BURSALI, Hamiyet, YILMAZ, Rabia M. Effect of augmented reality applications on secondary school students' reading comprehension and learning permanency. **Computers in Human Behavior**, 95, p. 126–135, 2019.

CAI, Su, WANG, Xu, CHIANG, Feng K. A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. **Computers in Human Behavior**, 37, p. 31–40, 2014.

CARRERA, Carlos C., ASENSIO, Luis A. B. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. **Journal of Geography in Higher Education**, 41 (1), p. 119–133, 2017.

Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br). 2019. Disponível em: <http://data.cetic.br/cetic/explore?idPesquisa=TIC_EDU>. Acesso em: 3 jan. 2019.

CHANG, Jack S., YEBOAH, Georgina, DOUCETTE, Alison, CLIFTON, Paul, NITSCHKE, Michael, WELSH, Timothy, MAZALEK, Ali. Evaluating the effect of tangible virtual reality on spatial perspective taking ability. *Symposium on Spatial User Interaction*, 2017.

- CHANG, Kuo-En, CHANG, Chia-Tzu, HOU, Huei-Tse, SUNG, Yao-Ting, CHAO, Huei-Lin, LEE, Cheng-Ming. Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum. **Computers and Education**, 71, p. 185–197, 2014.
- CHANG, Shao-Chen, HWANG, Gwo-Jen. Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. **Computers & Education**, 125, p. 226–239, 2018.
- CHANG, Yu-Lien, HOU, Huei-Tse, PAN, Chao-Yang, SUNG, Yao-Ting, CHANG, Kuo-En. Apply an Augmented Reality in a Mobile Guidance to Increase Sense of Place for Heritage Places. **Educational Technology & Society**, 18 (2), p. 166–178, 2015.
- CHATZOPOULOS, Dimitris, BERMEJO, Carlos, HUANG, Zhanpeng, HUI, Pan. Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go. **IEEE Access**, 5, p. 6917–6950, 2017.
- CHEN, Chia-Chen, HUANG, Tien-Chi. Learning in a u-Museum: Developing a context-aware ubiquitous learning environment. **Computers & Education**, 59, p. 873–883, 2012.
- CHEN, Chih-Ming, TSAI, Yen-Nung. Interactive augmented reality system for enhancing library instruction in elementary schools. **Computers & Education**, 59 (2), p. 638–652, 2012.
- CHEN, Da-Ren, CHEN, Mu-Yen, HUANG, Tien-Chi, HSU, Wen-Pao. Developing a Mobile Learning System in Augmented Reality Context. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, p. 1–7, 2013.
- CHENG, Kun-Hung, TSAI, Chin-Chung. Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. **Journal of Science Education and Technology**, 22 (4), p. 449–462, 2013.
- CHENG, Kun H., TSAI, Chin C. Children and parents' reading of an augmented reality picture book: Analyses of behavioral patterns and cognitive attainment. **Computers and Education**, 72, p. 302–312, 2014.
- CHIANG, Tosti H. C., YANG, Stephen J. H., HWANG, Gwo-Jen. An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities. **Educational Technology & Society**, 17 (4), p. 352–365, 2014. a.
- CHIANG, Tosti H. C., YANG, Stephen J. H., HWANG, Gwo-Jen. Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. **Computers and Education**, 78, p. 97–108, 2014. b.

- CHIOU, Chuang-Kai, TSENG, Judy C. R., HWANG, Gwo-Jen, HELLER, Shelly. An adaptive navigation support system for conducting context-aware ubiquitous learning in museums. **Computers & Education**, 55, p. 834–845, 2010.
- CHIU, Jennifer L., DEJAEGHER, Crystal J., CHAO, Jie. The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. **Computers and Education**, 85, p. 59–73, 2015.
- CHRISTENSEN, Inger-Marie F.; MARUNCHAK, Andrew; STEFANELLI, Cristina. **Added Value of Teaching in a Virtual World**. London: Palgrave Macmillan, 2013.
- CHUNG, Namho; HAN, Heejeong; JOUN, Youhee. Tourists' intention to visit a destination: The role of augmented reality (AR) application for a heritage site. **Computers in Human Behavior**, 50, p. 588–599, 2015.
- CITTÀ, Giuseppe, GENTILE, Manuel, ALLEGRA, Mario, ARRIGO, Marco, CONTI, Daniela, OTTAVIANO, Simona, REALE, Francesco, SCIORTINO, Marinella. The effects of mental rotation on computational thinking. **Computers & Education**, 141, 2019. a.
- CraftAR**. 2019. Disponível em: <<https://catchoom.com/product/craftar/augmented-reality-and-image-recognition/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly. **Finding flow: the psychology of engagement with everyday life**. New York, USA: Basic Books, 1997.
- CUBILLO, Joaquín, MARTIN, Sergio, CASTRO, Manuel, BOTICKI, Ivica. Preparing Augmented Reality Learning Content Should be Easy: UNED ARLE - an Authoring Tool for Augmented Reality Learning Environments. **Computer Applications in Engineering Education**, 23 (5), p. 778–789, 2015.
- DAINEKO, Yevgeniya, DMITRIYEV, Viktor, IPALAKOVA, Madina. Using Virtual Laboratories in Teaching Natural Sciences: An Example of Physics Courses in University. **Computer Applications in Engineering Education**, 25 (1), p. 39–47, 2017.
- DAVIS, Fred. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, 13 (3), p. 319–340, 1989.
- DEDE, C. Immersive Interfaces for Engagement and Learning. **Science**, 323, p. 66–69, 2009.
- DELELLO, Julie A. Insights from pre-service teachers using science-based augmented reality. **Journal of Computers in Education**, 1 (4), p. 295–311, 2014.
- DEY, Arindam, BILLINGHURST, Mark, LINDEMAN, Robert W., SWAN, J. Edward. A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. **Frontiers in Robotics and AI**, 5, p. 1–28, 2018.
- DILLENBOURG, Pierre. What do you mean by collaborative learning? In: **Collaborative-**

- learning: Cognitive and Computational Approaches**. Oxford: Elsevier, 1999. p. 1–19.
- DÜNSER, Andreas, GRASSET, Raphaël, BILLINGHURST, Mark. **A Survey of Evaluation Techniques Used in Augmented Reality Studies Human Interface Technology Laboratory New Zealand, Technical Report TR-2008-02**.
- EasyAR**. 2019. Disponível em: <<http://www.easyar.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- ECK, Ulrich, SANDOR, Christian. HARP: A framework for visuo-haptic augmented reality. *IEEE Virtual Reality*, 2013.
- HUANG, Ronghuai, KINSHUK, SPECTOR, J. Michael (Eds.). **Reshaping Learning..** Athabasca: Springer. 2013. 457 p.
- FALCONER, Liz. Situated learning in virtual simulations: researching the authentic dimension in virtual worlds. **Journal of Interactive Learning Research**, 24 (3), p. 285–300, 2013.
- FESTAS, Maria Isabel Ferraz. A aprendizagem contextualizada: análise dos seus fundamentos e práticas pedagógicas. **Educação e Pesquisa**, 41 (3), p. 713–727, 2015.
- FONSECA, David, MARTÍ, Nuria, REDONDO, Ernesto, NAVARRO, Isidro, SÁNCHEZ, Albert. Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models. **Computers in Human Behavior**, 31, p. 434–445, 2014.
- FONTANA, David. **Psicologia para Professores**. São Paulo: Edições Loyola, 1998.
- FURIÓ, D. et al. Mobile learning vs. traditional classroom lessons: a comparative study. **Journal of Computer Assisted Learning**, 31 (3), p. 189–201, 2015.
- GONZALEZ-PARDO, Antonio, ROSA, Angeles, CAMACHO, David. Behaviour-based identification of student communities in virtual worlds. **Computer Science and Information Systems**, 11 (1), p. 195–213, 2014.
- GOTARDO, Reginaldo, GROOTE, Jean-Jacques, VOLPINI, Neli, STAMATO, Erica, DIAS, Paulo, ALMEIDA, Thiago, BUENO, Alexandre. Realidade Aumentada aliada aos Materiais Didáticos na Educação Básica. **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**, p. 1828–1836, 2013.
- GRUBER, V., SCHAEFFER, L., SILVA, J. B., RESTIVO, T. Model for remote data acquisition and monitoring integrating social media, NTIC's and 3G cell phone Networks applied to monitoring small wind turbine. **Journal of Telecommunications**, 7 (1), p. 13–20, 2011.
- GUAZZARONI, Giuliana. Emotional mapping of the archaeologist game. **Computers in Human Behavior**, 29 (2), p. 335–344, 2013. a.

- GUILLERMO, Ocar E. P. **Uso de Laboratórios Virtuais de Aprendizagem em Mecânica dos Flúidos e Hidráulica na Engenharia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2016.
- HANAFI, Hafizul F., SAID, Che S., WAHAB, Mohd H., SAMSUDDIN, Khairulanuar. Improving Students' Motivation in Learning ICT Course With the Use of A Mobile Augmented Reality Learning Environment Improving Students' Motivation in Learning ICT Course With the Use of A Mobile Augmented Reality Learning Environment. **International Research and Innovation Summit (IRIS2017)**, 226, p. 1–10, 2017.
- HARLEY, Jason M., POITRAS, Eric G., JARRELL, Amanda, DUFFY, Melissa C., LAJOIE, Susanne P. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: emotions and learning outcomes. **Educational Technology Research and Development**, 64 (3), p. 359–388, 2016.
- HECK, Carine, COELHO, Karine S., SIMÃO, José P. S., SILVA, Isabela N., SILVA, Juarez B., BILESSIMO, Simone M. S. Experiência de Integração da Experimentação Remota no Ensino de Física do Ensino Médio: Percepção dos Alunos. **Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE)**, 14 (2), p. 1–10, 2016.
- HERPICH, Fabrício, ROSSI, Tito A., TIBOLA, Leandro R., FERREIRA, Valter A., TAROUCO, Liane M. R. Learning Principles of Electricity Through Experiencing in Virtual Worlds. In: BECK, Dennis et al. (Eds.). **Communications in Computer and Information Science - Immersive Learning Research Network (iLRN)**. Cham (ZG) - Switzerland: Springer International Publishing, 725, p. 229–242, 2017.
- HERPICH, Fabrício, GUARESE, Renan L. M., CASSOLA, Amaury T., TAROUCO, Liane M. R. Mobile Augmented Reality impact in Student Engagement: an Analysis of the Focused Attention dimension. **International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)**, p. 1–6, 2018.
- HERPICH, Fabrício, NUNES, Felipe B., PETRI, Giani, TAROUCO, Liane M. R. How Mobile Augmented Reality is applied in Education? A systematic literature review. **Creative Education (no prelo)**, p. 1–39, 2019. a.
- HERPICH, Fabrício, NUNES, Felipe B., PETRI, Giani, NICOLETE, Priscila, TAROUCO, Liane M. R. Modelo de Avaliação de Abordagens Educacionais em Realidade Aumentada Móvel. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação (no prelo)**, p. 1–10, 2019. b.
- HERPICH, Fabrício; GUARESE, Renan L. M., TAROUCO, Liane M. R. A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications. **Creative Education**, 8 (9), p. 1433–1451, 2017.

- HO, Shu-Chun, HSIEH, Sheng-Wen, SUN, Pei-Chen, CHEN, Cheng-Ming. To activate english learning: Listen and speak in real life context with an AR featured u-learning system. **Educational Technology and Society**, 20 (2), p. 176–187, 2017.
- HÖFFLER, Tim N., LEUTNER, Detlev. The role of spatial ability in learning from instructional animations - Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. **Computers in Human Behavior**, 27 (1), p. 209–216, 2011.
- HP Reveal (antiga Aurasma)**. 2019. Disponível em: <<https://www.hpreveal.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- HSU, Ting-Chia. Learning English with Augmented Reality: Do learning styles matter? **Computers & Education**, 106, p. 137–149, 2016.
- HUANG, Tien-Chi, CHEN, Chia-Chen, CHOU, Yu-Wen. Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. **Computers & Education**, 96, p. 72–82, 2016.
- HUK, T. Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. **Journal of Computer Assisted Learning**, 22 (6), p. 392–404, 2006.
- HWANG, Gwo-Jen, WANG, Siang-Yi. Single loop or double loop learning: English vocabulary learning performance and behavior of students in situated computer games with different guiding strategies. **Computers & Education**, 102, p. 188–201, 2016.
- IBÁÑEZ, María-Blanca, DI SERIO, Ángela, VILLARÁN, Diego, DELGADO-KLOOS, Carlos. Impact of Visuospatial Abilities on Perceived Enjoyment of Students toward an AR-Simulation System in a Physics Course. **2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, p. 995–998, 2019.
- IBÁÑEZ, María-Blanca, DELGADO-KLOOS, Carlos. Augmented reality for STEM learning: A systematic review. **Computers & Education**, 123, p. 109–123, 2018.
- IBÁÑEZ, María-Blanca, DI SERIO, Ángela, VILLARÁN, Diego, DELGADO-KLOOS, Carlos. Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. **Computers and Education**, 71, p. 1–13, 2014.
- INEP. **Notas Estatísticas: Censo Escolar 2018**. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Ministério da Educação (Brasil), 2018.
- Ingress**. 2019. Disponível em: <<https://www.ingress.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB)**. 2018. Disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

International Standard Organization (ISO). ISO/IEC 2510: Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. 2014. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/35733.html>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

IRAWATI, Sylvia, HONG, Sengpyo, KIM, Jinwook, KO, Heedong. 3D Edutainment Environment: Learning Physics through VR/AR Experiences. **Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology**, p. 21–24, 2008.

JAMALI, Siti S., SHIRATUDDIN, Mohd F., WONG, Kok W., OSKAM, Charlotte L. Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 197, p. 659–668, 2015.

KAMARAINEN, Amy M., METCALF, Shari, GROTZER, Tina, BROWNE, Allison, MAZZUCA, Diana, TUTWILER, M. Shane, DEDE, Chris. EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. **Computers and Education**, v. 68, p. 545–556, 2013.

KASTRUP, Virgínia, TEDESCO, Silvia, PASSOS, Eduardo. **Políticas da Cognição**. Porto Alegre, Brasil: Editora Sulina, 2008.

KAUFMANN, Hannes. The potential of augmented reality in dynamic geometry education. **12th International Convergence on Geometry and Graphics (ISGG) - Salvador, Brazil**, p. 1–14, 2006.

KE, Fengfeng, CARAFANO, Peter. Collaborative science learning in an immersive flight simulation. **Computers & Education**, 103, p. 114–123, 2016.

KELLER, John. Using the ARCS Motivational Process in Computer-Based Instruction and Distance Education. **New Directions for Teaching and Learning**, 78, p. 39–47, 1999.

KELLER, John M. **Motivational Design for Learning and Performance. The ARCS Model Approach**. New York: Springer, 2010.

Khan Academy. Construção de um diagrama de caixa. 2019. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/math/probability/data-distributions-a1/box--whisker-plots-a1/v/constructing-a-box-and-whisker-plot>>. Acesso em: 5 jul. 2019.

KLOPFER, Eric, SQUIRE, Kurt. Environmental detectives - the development of an augmented reality platform for environmental simulations. **Educational Technology Research and Development**, 56 (2), p. 203–228, 2008.

KRULATZ, Anna. Reflective Practice in English Teacher Education: Why Active Learning is not Enough. **Journal of the International Society for Teacher Education**, 20 (2), p. 8–21,

2016.

KRUMMENAUER, Wilson L. **O Desinteresse pela Física na Região do Vale do Rio dos Sinos: Suas Causas e Consequências na Educação de Jovens e Adultos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2016.

KÜÇÜK, Sevda, KAPAKIN, Samet, GÖKTAŞ, Yüksel. Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. **Anatomical Sciences Education**, 9 (5), p. 411–421, 2016.

Kudan. 2019. Disponível em: <<https://www.kudan.eu/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

KYSELA, Jiří, ŠTORKOVÁ, Pavla. Using augmented reality as a medium for teaching history and tourism. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 174, p. 926–931, 2015.

LAINÉ, Teemu. Mobile Educational Augmented Reality Games: A Systematic Literature Review and Two Case Studies. **Computers**, 7 (1), p. 1–28, 2018.

LAINÉ, Teemu H., NYGREN, Eeva, DIRIN, Amir, SUK, Hae-Jung. Science Spots AR: a platform for science learning games with augmented reality. **Educational Technology Research and Development**, 64 (3), p. 507–531, 2016.

LAJOIE, Susanne P. Individual Differences in Spatial Ability: Developing Technologies to Increase Strategy Awareness and Skills. **Educational Psychologist**, 38 (2), p. 115–125, 2003.

LAKKALA, Minna, RAHIKAINEN, Marjaana, HAKKARAINEN, Kai. **D2. 1 Perspectives of CSCL in Europe: A Review Edited by**. Helsinki: ITCOLE Project, 2001.

LAKOMY, Ana Maria. **Teorias Cognitivas da Aprendizagem**. 2. ed. Curitiba, PR: Editora IBPEX, 2008.

LAVE, Jean. **Cognition in Practice: Mind mathematics, and culture in everyday life**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.

LAVE, Jean. A prática da aprendizagem. In: ILLERIS, K. (Ed.). **Teorias contemporâneas da aprendizagem**. Porto Alegre, Brasil: Penso, 2013. p. 235–245.

LAVE, Jean, WENGER, Etienne. **Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation**. New York, USA: Cambridge University Press, 1991.

LayAR. 2019. Disponível em: <<https://www.layar.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

LEE, Elinda Ai-Lim. **An investigation into the effectiveness of virtual reality-based learning**. Tese de Doutorado. Murdoch University, 2011.

LEE, Elinda A., WONG, Kok W. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. **Computers and Education**, 79, p. 49–58, 2014.

LEOPOLD, Alexander T., RATCHEVA, Vesselina S., ZAHIDI, Saadia. **The Future of Jobs Report 2018 Insight Report Centre for the New Economy and Society**. World Economic

Forum, 2018.

LIAROKAPIS, Fotis, ANDERSON, Eike F. Using Augmented Reality as a Medium to Assist Teaching in Higher Education. **31st Annual Conference of the European Association for Computer Graphics (Eurographics 2010)**, p. 9–16, 2010.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, 22 (140), p. 1–55, 1932.

LIU, Hsin-Hun, YANG, Stephen J. H., CHEN, Sherry Y., TARNG, Wernhuar. The Influences of the 2D Image-Based Augmented Reality and Virtual Reality on Student Learning. **Journal of Educational Technology & Society**, 20 (3), p. 110–121, 2017.

LORENZIN, Mariana P., ASSUMPCÃO, Cristiana M., RABELLO, Marta. Metáforas Mecânicas: uma proposta STEAM para o ensino de ciências. **6 Congresso Pesquisa do Ensino - educação e tecnologia: revisitando a sala de aula**, p. 1–14, 2016.

MAJID, Nazatul A. A., MOHAMMED, Hazura, SULAIMAN, Rossilawati. Students' Perception of Mobile Augmented Reality Applications in Learning Computer Organization. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 176, p. 111–116, 2015.

MAKRANSKY, Guido, PETERSEN, Gustav B. Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach. **Computers and Education**, 134, p. 15–30, 2019.

MARTENS, R. L., GULIKERS, J., BASTIAENS, T. The impact of intrinsic motivation on e learning in authentic computer tasks. **Journal of Computer Assisted Learning**, 20 (5), p. 368–376, 2004.

MARTIN, Romana. The road ahead: eBooks, eTextbooks and publishers' electronic resources. **ASCILITE Annual Conference**, p. 1–5, 2012.

MATCHA, Wannisa, RAMBLI, Dayang R. A. Exploratory study on collaborative interaction through the use of augmented reality in science learning. **Procedia Computer Science**, 25, p. 144–153, 2013.

MAYER, Richard E. Introduction to Multimedia Learning. In: MAYER, Richard E. (Ed.). **The Cambridge Handbook of Multimedia Learning**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 1–18.

MAYER, Richard E. (Ed.). **Multimedia Learning**. 2. ed. New York, USA: Cambridge University Press, 2009.

MAYER, Richard E., MORENO, Roxana. Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. **Educational Psychologist**, 38 (1), p. 43–52, 2003.

MEES, Alberto A. **Astronomia: Motivação para o Ensino de Física na 8ª Série**.

- Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2004.
- MICHELS, Lucas B. **Desenvolvimento de Laboratório de Experimentação Remota Didático para Aprendizagem na Área da Conformação Mecânica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2017.
- MILGRAM, Paul, KISHINO, Fumio. Taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information and Systems**, E77-D (12), p. 1321–1329, 1994.
- Minitab 18 Statistical Software. State College, PA: Minitab, Inc.** 2019. Disponível em: <<http://www.minitab.com/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- MOHAMMADI, Hossein. Social and individual antecedents of m-learning adoption in Iran. **Computers in Human Behavior**, 49, p. 191–207, 2015.
- MOSER, Alvino, SCHNEIDER, Eton I., MEDEIROS, Luciano F. A Aprendizagem Situada nas Comunidades De Prática: uma aproximação fenomenológica. **23º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**, p. 1–10, 2012.
- MUNOZ-CRISTOBAL, Juan A., GALLEGO-LEMA, Vanesa, ARRIBAS-CUBERO, Higinio F., ASENSIO-PÉREZ, Juan I., MARTÍNEZ-MONÉS, Alejandra. Game of Blazons: Helping teachers conduct learning situations that integrate web tools and multiple types of augmented reality. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, p. 1–14, 2018.
- NASCIMENTO, Tiago Lessa Do. **Repensando o Ensino da Física no Ensino Médio**. Universidade Estadual do Ceará (UECE), 2010.
- NINCAREAN, Danakorn, ALI, Mohamad B., HALIM, Noor D. A., RAHMAN, Mohd H. A. Mobile Augmented Reality: the potential for education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences (13th International Educational Technology Conference)**, 103, p. 657–664, 2013.
- NOKELAINEN, Petri. An empirical assessment of pedagogical usability criteria for digital learning material with elementary school students. **Educational Technology and Society**, 9 (2), p. 178–197, 2006.
- NUNES, Felipe B., HERPICH, Fabrício, VOSS, Gleizer B., MEDINA, Roseclea D., LIMA, José V., TAROUCO, Liane M. R. Laboratório Virtual de Química: uma ferramenta de estímulo à prática de exercícios baseada no Mundo Virtual OpenSim. **III Congresso Brasileiro de Informática na Educação - XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, p. 712–721, 2014.
- O'BRIEN, Heather L., TOMS, Elaine G. What is User Engagement? A Conceptual Framework for Defining User Engagement with Technology. **Journal of the American Society for Information Science & Technology**, 59 (6), p. 938–955, 2008.
- O'SHEA, Patrick M., ELLIOTT, Jennifer B. Augmented reality in education: An exploration

and analysis of currently available educational apps. In: ALLISON, Colin et al. (Eds.). **Communications in Computer and Information Science (Immersive Learning Research Network: Second International Conference (iLRN))**. Santa Barbara, USA: Springer International Publishing, 2016. p. 147–159.

OECD. **The ABC of Gender Equality in Education: Aptitude, Behaviour, Confidence**. OECD Publishing, 2015.

OECD. **PISA 2015 Results (Volume 1): Excellence and Equity in Education**. Paris: OECD Publishing, 2016.

OLIVEIRA, Rafael C., SILVA, Danila, FERNANDES, Flávia G., OLIVEIRA, Luciene C., OLIVEIRA, Eduardo C. Aplicativo de Aprendizagem Móvel utilizando Realidade Aumentada para Ensino de Língua Inglesa. **V Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)**, p. 731–740, 2016.

OSTERMANN, Fernanda, CAVALCANTI, Cláudio J. H. **Teorias de Aprendizagem**. 1. ed. Porto Alegre, Brasil: Evangraf; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2011.

OZDAMLI, Fezile, UZUNBOYLU, Huseyin. M-learning adequacy and perceptions of students and teachers in secondary schools. **British Journal of Educational Technology**, 46 (1), p. 159–172, 2015.

PACHECO, B. A., GUIMARÃES, Marcelo, CORREA, Ana G., MARTINS, Valeria F. Usability Evaluation of Learning Objects with Augmented Reality for Smartphones: A Reinterpretation of Nielsen Heuristics. In: AGREDO-DELGADO, V.; RUIZ, P. H. (Eds.). **Human-Computer Interaction**. Springer, 2019. p. 214–228.

Página oficial da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). 2019. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PAPERT, Seymour. The Eight Big Ideas of the Constructionist Learning Laboratory. **Unpublished internal document**, 1999.

PETRI, Giani. **A Method for the Evaluation of the Quality of Games for Computing Education**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

PIAGET, Jean. **Biologia e conhecimento: ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognoscitivos**. Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Editora Vozes, 1973.

PixLive. 2019. Disponível em: <<https://www.vidinoti.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

Pokémon Go. 2019. Disponível em: <<http://www.pokemongo.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

POTKONJAK, Veljko, GARDNER, Michael, CALLAGHAN, Victor, MATTILA, Pasi,

- GUETL, Christian, PETROVIC, Vladimir M., JOVANOVIC, Kosta. Virtual Laboratories for Education in Science, Technology, and Engineering: A Review. **Computers & Education**, 95, p. 309–327, 2016.
- PRENSKY, Marc. **Digital Game-Based Learning Revolution**. New York, USA: McGraw-Hill, 2001.
- PRIETO, Gerardo. Análisis psicométrico de un test informatizado de Visualización Espacial. In: JOLY, M. C. R. A.; REPPOLD, C. T. (Eds.). **Estudo de Testes Informatizados para Avaliação Psicológica**. São Paulo, Brasil: Casa do Psicólogo, 2010. p. 141–162.
- PRIETO, Gerardo, VELASCO, Angela D., ARIAS-BARAHONA, Rosario, ANIDO, Mercedes, NÚÑEZ, Ana-María, CÓ, Patricia. Training of Spatial Visualization Using Computer Exercises. **Journal for Geometry and Graphics**, 14 (1), p. 105–115, 2010.
- QUINTERO, Eliud, SALINAS, Patricia, GONZÁLEZ-MENDÍVIL, Eduardo, RAMÍREZ, Héctor. Augmented Reality app for Calculus: A Proposal for the Development of Spatial Visualization. **Procedia Computer Science**, 75, p. 301–305, 2015.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2019. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- RAMEAU, François, HA, Hyowon, JOO, Kyungdon, CHOI, Jinsoo, PARK, Kibaek, KWEON, In S. A Real-time Augmented Reality System to See-Through Cars. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, 22 (11), p. 2395–2404, 2016.
- RAUTENBACH, Victoria, COETZEE, Serena, JOOSTE, Danie. Results of an evaluation of augmented reality mobile development frameworks for addresses in augmented reality. **Spatial Information Research**, 24 (3), p. 211–223, 2016.
- REYES, Alejandro M., VILLEGAS, Osslán O. V., BOJÓRQUEZ, Erasmo M., SÁNCHEZ, Vianey G. C., NANDAYAPA, Manuel. A Mobile Augmented Reality System to Support Machinery Operations in Scholar Environments. **Computer Applications in Engineering Education**, 24 (6), p. 967–981, 2016.
- REZENDE, Cristina S. **Modelo de avaliação de qualidade de software educacional para o ensino de ciências**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 2013.
- RIBEIRO, Adriana A. S., SIQUEIRA, Adriana B. O., MACEDO, Suzana H. Realidade Aumentada Aplicada ao Ensino e Aprendizagem do Campo Magnético de um Ímã em Forma de Ferradura. **Revista Novas Tecnologias na Educação (RENTE)**, 11 (3), p. 1–10, 2013.
- ROCA, Juan C., CHIU, Chao M., MARTÍNEZ, Francisco J. Understanding e-learning continuance intention: An extension of the Technology Acceptance Model. **International Journal of Human Computer Studies**, 64 (8), p. 683–696, 2006.

- RUMSEY, Deborah. **Statistics for Dummies**. 1. ed. Hoboken: Wiley Publishing, Inc., 2009.
- SACCUZZO, Dennis P., CRAIG, A. Scott, JOHNSON, Nancy E., LARSON, Gerald E. Gender differences in dynamic spatial abilities. **Personality and Individual Differences**, 21 (4), p. 599–607, 1996.
- SANTOS, Luiz C. M., MIRANDA, Theresinha, ICÓ, Maria A., SOUZA, Antonio C. S., MACEDO, Márcio C. F., POPPE, Paulo C. R. Um jogo para aprender libras e português nas séries iniciais utilizando a tecnologia da realidade aumentada. **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, p. 1118–1122, 2014. a.
- SANTOS, M. E. C., TY, Jayzon F., LUEBKE, Arno W., RODRIGO, Mercedes T., TAKETOMI, Takafumi, YAMAMOTO, Goshiro, SANDOR, Christian, KATO, Hirokazu. Authoring Augmented Reality as Situated Multimedia. **22nd International Conference on Computers in Education**, p. 554–559, 2014. b.
- SANTOS, M. E. C., CHEN, Angie, TAKETOMI, Takafumi, YAMAMOTO, Goshiro, MIYAZAKI, Jun, KATO, Hirokazu. Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, 7 (1), p. 38–56, 2014. c.
- SCHANK, R. C. Active learning through multimedia. **IEEE MultiMedia**, 1 (1), p. 69–78, 1994.
- SCHERER, Ronny, SIDDIQ, Fazilat, TONDEUR, Jo. The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. **Computers and Education**, 128, p. 13–35, 2019.
- SCHMITZ, Birgit, KLEMKE, Roland, WALHOUT, Jaap, SPECHT, Marcus. Attuning a mobile simulation game for school children using a design-based research approach. **Computers & Education**, 81, p. 35–48, 2015.
- SCHNEIDER, Bertrand, BLIKSTEIN, Paulo. Tangible User Interfaces and Contrasting Cases as a Preparation for Future Learning. **Journal of Science Education and Technology**, 27 (4), p. 369–384, 2018.
- SILVA, Diego V., JOLY, Maria C. R. A., PRIETO, G. Relação entre habilidades espaciais e desempenho no ensino médio. **Revista Polis e Psique**, 1 (1), p. 61–79, 2011.
- SILVA, Manoela, VILAR, Edvar, REIS, Guilherme, LIMA, João P., TEICHRIEB, Veronica. AR Jigsaw Puzzle: Potencialidades de Uso da Realidade Aumentada no Ensino de Geografia. **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, p. 194–203, 2014.
- Augmented Reality SDK Comparison**. 2019. Disponível em: <<http://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

- SOMMERAUER, Peter, MÜLLER, Oliver. Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. **Computers and Education**, 79, p. 59–68, 2014.
- SOUZA FILHO, Marcilio L. Relações entre Aprendizagem e Desenvolvimento em Piaget e em Vygotsky: Dicotomia Ou Compatibilidade? **Revista Diálogo Educacional**, 8 (23), p. 265–275, 2008.
- SPECHT, Marcus, TERNIER, S., GRELLER, W. Mobile Augmented Reality for Learning: A Case Study. **Journal of the Research Center for Educational Technology**, 7 (1), p. 117–127, 2011.
- SPECTOR, J. Michael, MERRILL, M. David, ELEN, Jan, BISHOP, M. J. **Handbook of Research on Educational Communications and Technology**. 4. ed. New York: Springer, 2014.
- SUNG, Han-Yu, HWANG, Gwo-Jen, YEN, Yi-Fang. Development of a contextual decision-making game for improving students' learning performance in a health education course. **Computers & Education**, 82, p. 179–190, 2015.
- Unity 3D**. 2019. Disponível em: <<http://unity3d.com/>>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- Voyant Tools**. 2019. Disponível em: <<https://voyant-tools.org/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Vuforia**. 2019. Disponível em: <<https://developer.vuforia.com/>>. Acesso em: 25 jul. 2019.
- WAI, Jonathan, LUBINSKI, David, BENBOW, Camilla P. Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. **Journal of Educational Psychology**, 101 (4), p. 817–835, 2009.
- WANG, Hung-Yuan, DUH, Henry B., LI, Nai, LIN, Tzung-Jin, TSAI, Chin-Chung. An Investigation of University Students' Collaborative Inquiry Learning Behaviors in an Augmented Reality Simulation and a Traditional Simulation. **Journal of Science Education and Technology**, 23 (5), p. 682–691, 2014.
- WANG, Y. H. Using augmented reality to support a software editing course for college students. **Journal of Computer Assisted Learning**, 33 (5), p. 532–546, 2017. a.
- WANG, Yi-Hsuan. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities. **Computers & Education**, 113, p. 162-176, 2017. b.
- WEI, Xiaodong, WENG, Dongdong, LIU, Yue, WANG, Yongtian. Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. **Computers and Education**, 81, p. 221–234, 2015.
- Wikitude**. 2019. Disponível em: <<https://www.wikitude.com/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- YANG, Jie C., CHEN, Sherry Y. Effects of gender differences and spatial abilities within a

digital pentominoes game. **Computers and Education**, 55 (3), p. 1220–1233, 2010.

YILMAZ, Rabia M., BAYDAS, Ozlem, KARAKUS, Turkan, GOKTAS, Yuksel. An examination of interactions in a three-dimensional virtual world. **Computers and Education**, 88, p. 256–267, 2015.

YIP, Joanne, WONG, Sze-Ham, YICK, Kit-Lun, CHAN, Kannass, WONG, Ka-Hing. Improving quality of teaching and learning in classes by using augmented reality video. **Computers & Education**, 128, p. 88–101, 2019.

YOON, Susan, ANDERSON, Emma, LIN, Joyce, ELINICH, Karen. How augmented reality enables conceptual understanding of challenging science content. **Educational Technology and Society**, 20 (1), p. 156–168, 2017.

YUSOFF, Rasimah C. M., ZAMAN, Halimah B., AHMAD, Azlina. Design A Situated Learning Environment Using Mixed Reality Technology - A Case Study. **International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering**, 4 (11), p. 1766–1771, 2010.

ZHANG, Jia, OGAN, Amy, LIU, Tzu-Chien, SUNG, Yao-Ting, CHANG, Kuo-En. The Influence of using Augmented Reality on Textbook Support for Learners of Different Learning Styles. **IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)**, p. 107–114, 2016.

ZYDNEY, Janet M., WARNER, Zachary. Mobile apps for science learning: Review of research. **Computers & Education**, 94, p. 1–17, 2016.

APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES

Algumas produções científicas de relevância elaboradas durante o doutorado do autor desta tese (autoria e coautoria), todas revisadas por pares:

1. Herpich, F.; Tarouco, L. M. R. (2016). Engajamento de Usuários em Mundos Virtuais: uma Análise Teórica-Prática. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, 14, p. 1-11.
2. Herpich, F.; Nunes, F. B.; Tarouco, L. M. R.; Cazella, S. (2016). Mineração De Dados Educacionais: Uma Análise Sobre O Engajamento De Usuários Em Mundos Virtuais. **V Congresso Brasileiro de Informática na Educação**, p. 910-919.
3. Herpich, F.; Guarese, R. L. M.; Tarouco, L. M. R. (2017). Recursos de Virtualidade integrados com Realidade Aumentada em Dispositivos Móveis para auxiliar Estudantes na Aprendizagem de Física. **VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação**, p. 260-267.
4. Herpich, F., Nunes, F. B., Voss, G. B., Sindeaux, P., Tarouco, L. M. R., & Lima, J. V. De. (2017). Realidade Aumentada em Geografia: uma atividade de orientação no ensino fundamental. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, 15(2), p. 1–10.
5. Herpich, F.; Filho, T. A. R.; Tibola, L. R.; Ferreira, V. A.; Tarouco, L. M. R. (2017). Learning Principles Of Electricity Through Experiencing In Virtual Worlds. In: Dennis Beck; et al. (Org.). **Communications in Computer and Information Science. 1ed.Cham, Switzerland: Springer International Publishing**, 725, p. 229-242.
6. Herpich, F.; Guarese, R. L. M.; Tarouco, L. M. R. (2017). A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks aimed at The Development of Educational Applications. **Creative Education**, 08, p. 1433-1451.
7. Herpich, F.; Guarese, R. L. M.; Cassola, A. T.; Tarouco, L. M. R. (2018). Mobile Augmented Reality impact in Student Engagement: an Analysis of the Focused Attention dimension. **International Conference on Computational Science and Computational Intelligence**, p. 1–6.
8. Herpich, F.; Guarese, R. L. M.; Fratin, V.; Tarouco, L. M. R. (2018). Augmented reality impact in the development of formal thinking. **4th Annual International Conference of the Immersive Learning Research Network**, p. 23–34.
9. Herpich, F.; Nunes, F. B.; Guarese, R. L. M.; Nichele, A. G.; Da Silva, P. F.; Krassmann, A. L.; Tarouco, L. M. R. (2019). Mobile Augmented Reality in Science Teaching: an analysis of the pedagogical usability with pre-service teachers. **Proceedings from the Fifth Immersive Learning Research Network Conference**, p. 132–139.
10. Herpich, F.; Nunes, F. B.; Petri, G.; Nicolete, P. C.; Tarouco, L. M. R. (2019). Modelo de Avaliação de Abordagens Educacionais em Realidade Aumentada Móvel. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, 17(1), p. 1–10.
11. Herpich, F.; Nunes, F. B.; Petri, G.; Tarouco, L. M. R. (2019). How Mobile Augmented Reality is applied in Education? A systematic literature review. **Creative Education**, 10(7), p. 1–39.
12. Tarouco, L. M. R.; Da Silva, P. F.; Herpich, F. (Eds). (2019). **Cognição e aprendizagem em Mundo Virtual Imersivo**. Porto Alegre: Editora UFRGS. 232 p.

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

Pelo presente, convido-o para participar da pesquisa intitulada: “**Recursos Educacionais em Realidade Aumentada para o Desenvolvimento da Habilidade de Visualização Espacial em Física**”. Este projeto faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida no programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A pesquisa tem como objetivo “investigar os supostos benefícios que os aplicativos de realidade aumentada podem causar no processo de desenvolvimento cognitivo sobre conteúdos de Física, sendo analisado o desempenho de cada estudante para a aplicação de possíveis melhorias no processo de ensino/aprendizagem”. Ela será aplicada no ano de 2018 com os alunos das Turmas <Número da Turma> da disciplina de Física – oferecida por esta Instituição <Nome da Escola> e ministrada pelo professor <Nome do Professor>.

Algumas dessas ações poderão vir a ser fotografadas para possíveis visualizações futuras e acervo documental. Ressalta-se que a identidade dos participantes nas imagens será mantida em sigilo.

Todos os instrumentos a serem aplicados serão mantidos em sigilo, servindo apenas para os fins da pesquisa, não se revelando os nomes dos participantes. As aulas ocorrerão normalmente para todos alunos no período da manhã, se alterando somente a forma de interação com o conteúdo, sendo promovida atividades extras e de caráter lúdico pelo professor, em que os alunos irão utilizar um aplicativo para dispositivo móvel.

A sua participação não oferece risco algum. Caso seja verificado algum constrangimento durante os encontros, o pesquisador irá intervir, direcionando o assunto tratado. É-lhe garantido, também:

- Receber resposta a qualquer pergunta, ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa;
- Poder retirar seu consentimento a qualquer momento, deixando de participar do estudo, sem que isso traga qualquer tipo de prejuízo;
- Que você não será identificado quando da divulgação dos resultados e que

todas as informações obtidas serão utilizadas apenas para fins científicos vinculados à pesquisa;

- Que, se existirem gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa.

Este documento deverá ser assinado em duas vias, sendo que uma delas será retida pelo sujeito da pesquisa e a outra pelo pesquisador. O responsável pela pesquisa é o aluno de doutorado Fabrício Herpich, seu e-mail é fabricio.herpich@gmail.com.

Pelo presente termo de Consentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a participação de meu responsabilizado nesta pesquisa, pois fui devidamente informado, de forma clara e detalhada, livre de qualquer constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos instrumentos de coletas de informação que serão utilizados, dos riscos e benefícios, conforme já citados neste termo.

<data>

Nome do aluno:

Nome do responsável:

Data de Nascimento:

E-mail:

Assinatura do responsável:

Pesquisador: Fabrício Herpich

Assinatura: