EUNICE PEREIRA DOS SANTOS NUNES

**Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais
de Aprendizagem Tridimensionais Interativos**

São Paulo

2014

EUNICE PEREIRA DOS SANTOS NUNES

**Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais
de Aprendizagem Tridimensionais Interativos**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dra. Fátima de
Lourdes dos Santos Nunes

São Paulo

2014

EUNICE PEREIRA DOS SANTOS NUNES

**Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais
de Aprendizagem Tridimensionais Interativos**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Sistemas Digitais

Orientadora: Prof^ª. Dra. Fátima de
Lourdes dos Santos Nunes

São Paulo

2014

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do orientador.

São Paulo, 13 de Maio de 2014.

Assinatura do autor –

Assinatura do Orientador –

CATALOGAÇÃO-NA-FONTE

Nunes, Eunice Pereira dos Santos

Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em ambientes virtuais de aprendizagem tridimensionais interativos / E.P.S. Nunes. – versão corr. – São Paulo, 2014. 259 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Realidade virtual 2.Aquisição de conhecimento 3.Avaliação da aprendizagem I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

*Dedico este trabalho aos meus filhos
Caio Victor e Gabriel Henrique
e aos meus pais*

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial à minha orientadora Prof^a. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes. Apesar da semelhança no sobrenome, não temos parentesco, mas tivemos muita cumplicidade durante a trajetória do Doutorado, que foi além do âmbito da pesquisa científica. Agradeço pela confiança depositada ao assumir a orientação e por toda contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Romero Tori pelo acolhimento na Poli e por ter acompanhado a orientação juntamente com a Prof^a. Fátima, sempre contribuindo com sua vasta experiência.

Ao Prof. Licínio Gomes Roque por ter me recebido no "Grupo de Sistemas de Informação" da Universidade de Coimbra, pelo apoio, pela atenção e toda a colaboração que se iniciou desde o primeiro contato para a realização do Doutorado Sandúche.

Ao Prof. Flavio Tampelini da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/Cuiabá, ao Prof. Willian de Souza Pereira do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT/Cuiabá, ao Prof. Filipe Xavier da Escola Martim de Freitas – Coimbra/Portugal e ao Filipe Penicheiro (doutorando da Universidade de Coimbra) por toda a colaboração na realização do estudo de campo, em sala de aula, que resultou em valiosa contribuição para os resultados desta pesquisa científica.

Ao Rafael Testa, bolsista do Programa de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBIT/CNPq/USP) pela contribuição neste trabalho.

Aos coordenadores do Doutorado InterInstitucional (DINTER) que promoveram a cooperação entre UFMT e Poli-USP. Aos professores da USP que se deslocaram até Cuiabá para ministrar as disciplinas e aos professores do Instituto de Computação da UFMT pelo apoio.

Aos membros da banca examinadora pela disposição e por toda a contribuição que certamente deixarão para a continuidade da pesquisa.

Muitos familiares e amigos também estiveram presentes durante a trajetória do Doutorado, de perto ou de longe. Cada um à sua maneira acompanhou momentos de euforia, alegria, angústia, reflexão, desânimo, tensão, desespero e

conquistas. Para agradecer aqui nomeadamente cada um, precisaria usar mais do que duas páginas (que é o recomendável) para citar todos, mas expresso a minha gratidão e sinceros agradecimentos aos meus Pais, à minha irmã Eliane, aos meus familiares, aos amigos de longa data e aos amigos que se revelaram durante o percurso do Doutorado, tornando-se pessoas especiais e que hoje fazem parte da minha vida. Tenham certeza de que todos contribuíram para o meu crescimento profissional, como também pessoal e emocional, já que algumas pessoas muitas vezes exercitaram o dom da paciência apenas me ouvindo.

Às amigas Ana Claudia e Katia, um agradecimento especial pelos vários momentos de descontração, desabafo, reflexão e por terem me acolhido em suas casas com muito carinho sempre que precisei de estadia em São Paulo.

Aos amigos do Interlab/USP, em especial Cleber, Makoto, Mariza, Obana e Silvio por toda a colaboração no decorrer do Doutorado. Aos amigos do Dinter EPUSP-UFMT, especialmente Alexandre, Evandro, Ivairton, Juliana, João Paulo, Luciana, Raul, Soraia e Wannessa. Aos amigos do LApIS/USP, especialmente a Leila. Aos amigos do "Grupo de Sistemas de Informação" da Universidade de Coimbra, em especial Amanda, André, Durval e ao Rui pelas "aulas" de Estatística.

Aos meus queridos filhos Caio e Gabriel, meu agradecimento mais do que especial pela compreensão, pelo amor, pelo carinho e pela paciência durante todos esses anos. Ao meu esposo Clodoaldo, especialmente por todo o apoio, amor, carinho e cuidado com nossos filhos durante a minha ausência.

A Silbene por ajudar a cuidar dos meus filhos com muito carinho durante todo o percurso do Doutorado, especialmente quando morei em Portugal.

Ao CNPq - Processo 559931/2010-7, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), à Fapesp - Processo 2010/15691-0, ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBIT/CNPq/USP pelo apoio financeiro. A CAPES e Fapemat por apoiarem financeiramente a oferta do DINTER em Cuiabá. Ao Programa Ciência sem Fronteiras do Governo Federal, que por meio do INCT-MACC, concedeu apoio financeiro para a realização do Doutorado Sanduíche na Universidade de Coimbra em Portugal.

A Deus, que me permitiu essa oportunidade e também a convivência com pessoas admiráveis.

RESUMO

Com a popularização de ferramentas computacionais aplicadas ao ensino e o advento da *Web 2.0*, os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) evoluíram com os recursos proporcionados pelas tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA), surgindo os AVAs tridimensionais (3D), amplamente adotados em diversos domínios de conhecimento. Aliado a este avanço, o processo de aquisição de conhecimento em AVAs 3D tem sido alvo de pesquisas a fim de que tal aspecto seja considerado na concepção dos ambientes virtuais. Uma discussão que é delineada neste contexto se refere à contribuição que os AVAs 3D efetivamente oferecem para a aquisição de conhecimento do aprendiz e como é possível avaliar tal aprendizado. Estudos têm demonstrado que os métodos amplamente aplicados para avaliação da cognição nos AVAs 3D têm feito uso intensivo de preenchimento de questionários, aplicados fora dos AVAs. É possível perceber ainda que os instrumentos de avaliação aplicados nos AVAs 3D não incorporam no processo de avaliação as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente. Sendo assim, o propósito inicial desta pesquisa é identificar o processo de aquisição de conhecimento nos AVAs 3D, como também os métodos existentes para avaliar se ocorre de fato a aquisição de conhecimento e em que grau ela ocorre. A partir deste estudo, o objetivo deste trabalho é definir uma metodologia para avaliar a aquisição de conhecimento, usando as próprias tecnologias interativas disponíveis nos AVAs 3D, de forma inovadora, em complementação aos questionários amplamente empregados como instrumentos de avaliação. Além da proposição do método conceitual, foi definida uma arquitetura e implementado um sistema computacional capaz de registrar as interações dos usuários em AVAs 3D, de forma não intrusiva à aplicação. Também foi sugerido um modelo matemático que propõe a avaliação da aprendizagem sem a necessidade de execução de provas de conhecimento. Experimentos foram conduzidos para avaliar cada uma das fases do modelo. Os resultados dos experimentos mostraram que é factível avaliar a aquisição de conhecimento dentro de contextos pré-determinados e que há indícios de que alguns tipos de interações do usuário com os AVAs mantêm correlação com o nível de aprendizado do usuário.

Palavras-Chave: Realidade Virtual. Realidade Aumentada. Aquisição de Conhecimento. Avaliação da Aprendizagem. Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

ABSTRACT

The popularization of computational tools applied to teaching and the advent of Web 2.0 have led to the advancement of Virtual Learning Environments (VLE) through resources rendered by Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies, leading to the emergence of Tridimensional VLEs (3D), which are widely employed in diverse fields of knowledge. In alliance with this advancement, the 3D VLE knowledge acquisition process has been the object of research studies which consider the conception of virtual environments. One of the discussions outlined in this context refers to the contribution that 3D VLEs effectively offer for knowledge acquisition and how it is possible to evaluate this learning process. Studies have demonstrated that methods widely employed for assessing cognition in 3D VLEs have made intense use of questionnaire application outside VLEs. It is possible to perceive that, in the evaluation process, the assessment tools applied in 3D VLEs do not incorporate the same interactive technologies available in the environment. Thus, the initial aim of this research is to identify the knowledge acquisition process in 3D VLEs, as well as existing methods for assessing if knowledge acquisition actually occurs and to which degree it occurs. From this study, the aim of the research is to define a method for assessing knowledge acquisition employing the same interactive technologies available in 3D VLEs, in an innovative manner, complementing widely used questionnaires as assessment tools. In addition to the suggestion of the conceptual method, an architecture was defined and a computational system capable of registering user interactions in 3D VLEs was implemented, in a non intrusive form of application. A mathematical model that offers learning assessment without the need of knowledge tests was also suggested. Experiments were conducted to evaluate each phase of the model. The results of the experiments show that it is feasible to evaluate knowledge acquisition within predetermined contexts and that there is evidence that some types of user interactions with VLEs are correlated with the user's learning level.

Keywords: Virtual Reality. Augmented Reality. Knowledge Acquisition. Learning Assessment. Learning Virtual Environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - <i>Continuum</i> realidade-virtualidade	30
Figura 2 - Uma experiência de Realidade Virtual ou Aumentada	31
Figura 3 - Categorias do domínio cognitivo considerando a Taxonomia de Bloom original	43
Figura 4 - Os três componentes da memória humana proposto por Atkinson e Shiffrin (1968).....	53
Figura 5 - Tipos e subtipos da Memória de Longo Prazo	56
Figura 6 - Modelo cognitivo de Atkinson e Shiffrin (1968)	59
Figura 7 - Modelo cognitivo de processamento da informação humana	61
Figura 8 - Cronologia das principais arquiteturas cognitivas	63
Figura 9 - Arquitetura ACT-R	65
Figura 10 - Arquitetura Soar.....	68
Figura 11 - Arquitetura EPIC - o ambiente simulado ou dispositivo está à esquerda e o humano simulado à direita	70
Figura 12 - Arquitetura geral MIDAS.....	72
Figura 13 - Diagrama de fases da metodologia adotada	96
Figura 14 - Pelve Feminina – imagem 2D	98
Figura 15 - Pelve Feminina sem as legendas – parte óssea (imagem 3D – “VIDA”)	99
Figura 16 - Pelve Feminina com parte das legendas (imagem 3D – “VIDA”).....	99
Figura 17 - Pelve Feminina mostrando todas as legendas (imagem 3D – “VIDA”) ...	99
Figura 18 - Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento	101
Figura 19 - Arquitetura do Sistema de Avaliação da Aprendizagem (SAAp).....	104
Figura 20 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema de Avaliação da Aprendizagem	107
Figura 21 - Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários.....	110
Figura 22 - Interface de autenticação	112
Figura 23 - Interface (perfil Avaliador)	112
Figura 24 - Exemplo de relatório gerado pelo SAAp.....	114
Figura 25 - Interface de autenticação (participante completa cadastro).....	114
Figura 26 - Interface (perfil participante) - Treinamento	115
Figura 27 - Interface (perfil participante) - Avaliação	116
Figura 28 - Registro da interação realizada no “VIDA” agregado ao SAAp (movimento do feto)	117
Figura 29 - Registro da interação realizada no “CONSTRUFIG3D” ao selecionar um botão na interface	118
Figura 30 - Diagrama de fases de definição do Modelo Matemático	124
Figura 31 - Pélvis feminina com indicação para as legendas	137
Figura 32 - Pelve Feminina com parte das legendas.....	138
Figura 33 - <i>Screenshots</i> do jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”	146
Figura 34 - Sessão de exploração no AVA 3D “Portugal 1111 – A Conquista de Soure” no laboratório de informática da Escola Martim de Freitas	149
Figura 35 - Distribuição das interações por categoria	154
Figura 36 - Distribuição das interações por tipo	154
Figura 37 - “CONSTRUFIG3D” - exemplo de uma tarefa realizada	164
Figura 38 - Gráfico <i>boxplot</i> representando a distribuição das notas nas fases de Pré-Teste e Pós-Teste.....	178
Figura 39 - Histograma “interação geral”	1808
Figura 40 - Histograma interação “seleção”	179

Figura 41 - Histograma interação “manipulação”	180
Figura 42 - Histograma interação “navegação”	180
Figura 43 - Histograma interação “controle”	180
Figura 44 - Histograma “tempo de exploração”	180
Figura 45 - Histograma “nota pré-teste”	180
Figura 46 - Histograma “nota pós-teste”	180
Figura 47 - Histograma “evolução das notas” (pré-teste - pós-teste).....	181
Figura 48 - Gráfico de dispersão “seleção” <i>versus</i> “notas pós-teste” (experimentos “Portugal 1111” e “CONSTRUFIG3D”).....	184
Figura 49 - Gráfico de dispersão “seleção” <i>versus</i> “evolução das notas” (experimentos “Portugal 1111” e “CONSTRUFIG3D”)	184
Figura 50 - Gráfico de dispersão “manipulação” <i>versus</i> “notas pós-teste”	185
Figura 51 - Gráfico de dispersão “manipulação” <i>versus</i> “evolução das notas”	185
Figura 52 - Gráfico de dispersão “navegação” <i>versus</i> “notas pós-teste”	186
Figura 53 - Gráfico de dispersão “navegação” <i>versus</i> “evolução das notas”	187
Figura 54 - Gráfico de dispersão “tempo de exploração” <i>versus</i> “notas do pós-teste”	189
Figura 55 - Representação dos resíduos da Equação (4) - Tabela 44	194
Figura 56 - Gráfico de dispersão dos resíduos da Equação (4) – Tabela 44	194
Figura 57 - Representação dos resíduos da Equação (5) – Tabela 45	195
Figura 58 - Gráfico de dispersão dos resíduos da Equação (5) – Tabela 45	195
Figura 59 - Representação dos resíduos - com a variável “nota do pré-teste”	198
Figura 60 - Gráfico de dispersão dos resíduos - com a variável “nota do pré-teste”	198
Figura 61 - Representação dos resíduos - sem a variável “nota do pré-teste”	199
Figura 62 - Gráfico de dispersão dos resíduos - sem a variável “nota do pré-teste”	199
Figura 63 - Representação dos resíduos do experimento “VIDA” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (7)	203
Figura 64 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “VIDA” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (7)	203
Figura 65 - Representação dos resíduos do experimento “VIDA” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (6)	204
Figura 66 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “VIDA” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (6)	204
Figura 67 - Representação dos resíduos do experimento “Portugal 1111” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (9)	205
Figura 68 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “Portugal 1111” com a “variável nota do pré-teste” – Equação (9)	205
Figura 69 - Representação dos resíduos do experimento “Portugal 1111” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (8)	206
Figura 70 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “Portugal 1111” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (8)	206
Figura 71 - Representação dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (11)	207
Figura 72 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (11)	207
Figura 73 - Representação dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (10)	208

Figura 74 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (10)	208
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – As principais divisões da Teoria da Aprendizagem	38
Tabela 2 – Principais instrumentos de avaliação tradicionais <i>versus</i> instrumentos de avaliação <i>on-line</i>	47
Tabela 3 – Três Níveis de Memória	55
Tabela 4 – Principais Modelos Cognitivos	58
Tabela 5 – Arquiteturas Cognitivas – quadro comparativo	75
Tabela 6 – Resumo dos artigos incluídos na fase de RS	75
Tabela 7 – Resultado de condução da Revisão Sistemática (questão de pesquisa 2 – artigos incluídos)	79
Tabela 8 - Parâmetros selecionados para avaliar o conhecimento adquirido	94
Tabela 9 - Parâmetros de avaliação considerados nos experimentos	122
Tabela 10 - Informações dos experimentos realizados	122
Tabela 11 - Avaliação geral do questionário	132
Tabela 12 - Resumo dos resultados do questionário de caracterização do perfil (“VIDA”).....	135
Tabela 13 - Resumo dos resultados a partir das avaliações diagnósticas – experimento com o ambiente “VIDA”	139
Tabela 14 - Classificação das interações registradas no ambiente “VIDA”	139
Tabela 15 - Resumo dos resultados do nível de interações por tipo	140
Tabela 16 - Resultado dos testes da Correlação de <i>Pearson</i> entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações ($N = 44$)	141
Tabela 17 - Resultado dos testes da Correlação de <i>Pearson</i> entre as variáveis de interação e o tempo de exploração no ambiente “VIDA”	142
Tabela 18 - Resumo dos resultados do Questionário de <i>Feedback</i> (“VIDA”).....	143
Tabela 19 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (fluência tecnológica) - “Portugal 1111”	147
Tabela 20 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (nível de conhecimento sobre o domínio) – “Portugal 1111”	148
Tabela 21 - Exemplo de registro das interações a partir da análise de um vídeo – “Portugal 1111”	151
Tabela 22 - Resumo dos Resultados a partir das Avaliações Diagnósticas – experimento com o jogo “Portugal 1111”	152
Tabela 23 - Resumo dos resultados do nível de interações por categorias e por tipo	155
Tabela 24 - Resultado dos testes da Correlação de <i>Pearson</i> entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações ($N = 31$)	156
Tabela 25 - Resultados dos testes de Correlação de <i>Pearson</i> entre as categorias do jogo e os tipos de interações ($N = 31$).....	157
Tabela 26 - Resumo dos resultados do Questionário de <i>Feedback</i> – “Portugal 1111”	160
Tabela 27 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (fluência tecnológica) – “CONSTRUFIG3D”	161
Tabela 28 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (nível de conhecimento sobre o domínio) – “CONSTRUFIG3D”	162
Tabela 29 - Resumo dos resultados a partir das avaliações diagnósticas - experimento com o ambiente “CONSTRUFIG3D”	164
Tabela 30 - Classificação das interações registradas no “CONSTRUFIG3D”	166
Tabela 31 - Resumo dos resultados do nível de interações classificadas por tipo .	166

Tabela 32 - Resultado dos testes da Correlação de <i>Pearson</i> entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações ($N = 51$)	168
Tabela 33 - Resultado dos testes da Correlação de <i>Pearson</i> entre as variáveis de interação e o tempo de exploração no “CONSTRUFIG3D”	168
Tabela 34 - Resumo dos resultados do Questionário de <i>Feedback</i> – “CONSTRUFIG3D”	169
Tabela 35 - Correlações encontradas entre as variáveis dos experimentos <i>versus</i> variável “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste”	173
Tabela 36 - Correlações encontradas entre variáveis dos experimentos <i>versus</i> variável “evolução das notas” entre as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste	175
Tabela 37 - Análise descritiva dos resultados a partir das avaliações diagnósticas	176
Tabela 38 - Comparação do perfil dos participantes em cada experimento	176
Tabela 39 - Análise descritiva dos dados considerando os três experimentos	179
Tabela 40 - Correlação de <i>Pearson</i> entre variáveis considerando os três experimentos	182
Tabela 41 - Comparação das correlações de <i>Pearson</i> considerando o tipo de interação “seleção”	183
Tabela 42 - Comparação das Correlações de <i>Pearson</i> considerando a interação “navegação”	188
Tabela 43 - Resultado da análise descritiva do tempo de exploração (segundos) nos três experimentos	188
Tabela 44 - Coeficientes da equação geral	191
Tabela 45 - Coeficientes da equação geral incluindo a “nota do pré-teste” como variável independente	192
Tabela 46 - Coeficientes da equação geral (após transformação dos dados)	196
Tabela 47 - Coeficientes da equação geral incluindo a “nota do pré-teste” como variável independente (após transformação dos dados)	197
Tabela 48 - Coeficientes da equação gerados por experimento	200
Tabela 49 - Equações geradas por experimento	202

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
3D-HC	3D <i>Human Anatomy Learning System</i> 3D-Health Care
ACT	<i>Adaptive Control of Thought</i>
ACT-R	<i>Adaptive Control of Thought-Rational</i>
APIs	<i>Application Programming Interface</i> (neste contexto, é uma biblioteca da linguagem Java)
AV	Ambiente Virtual
AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
AVA 3D	Ambiente Virtual de Aprendizagem 3D
CAVE	<i>Automatic Virtual Environment</i>
CMS	<i>Course Management System or Content Management System</i>
DER	Diagrama Entidade-Relacionamento
EaD	Educação a Distância
EPIC	<i>Executive Process-Interactive Control</i>
GOMS	<i>Goals, Operators, Methods and Selection Rules</i>
HCII	<i>Human Computer Intelligent Interaction</i>
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
IHC	Interação Inteligente Humano-Computador
IMS	<i>Instructional Management Systems</i>
LCMS	<i>Learning Content and Management System</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
MCP	Memória de Curto Prazo
MIDAS	<i>Man-machine Integration Design and Analysis System</i>
MLP	Memória de Longo Prazo
POA	Programação Orientada a Aspectos
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada
RS	Revisão Sistemática
RV	Realidade Virtual
SAAp	Sistema de Avaliação da Aprendizagem
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados

Soar	<i>State, Operator and Result</i>
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TiE	<i>Travel in Europe</i>
VA	Virtualidade Aumentada
VIDA	<i>Virtual and Interactive Distance-learning on Anatomy</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
MOTIVAÇÃO.....	21
HIPÓTESE.....	24
OBJETIVOS DO TRABALHO.....	24
ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	26
1. ASPECTOS CONCEITUAIS.....	28
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
1.2. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA	29
1.2.1. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO.....	32
1.3. AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM	35
1.4. TEORIAS DE APRENDIZAGEM	37
1.4.1. BEHAVIORISMO.....	39
1.4.2. TEORIAS COGNITIVAS.....	41
1.5. TIPOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	43
1.6. AVALIAÇÃO NA APRENDIZAGEM	45
1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	48
2. MODELOS COGNITIVOS	50
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	50
2.2. PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA	51
2.3. MODELOS COGNITIVOS	52
2.3.1. ESTUDOS DA MEMÓRIA.....	53
2.3.2. MODELO COGNITIVO DE ATKINSON E SHIFFRIN (1968).....	59
2.3.3. MODELO COGNITIVO DE WICKENS <i>ET AL.</i> (2004).....	60
2.4. ARQUITETURAS COGNITIVAS.....	62
2.4.1. ACT-R – ADAPTIVE CONTROL OF THOUGHT-RATIONAL.....	64
2.4.2. SOAR - <i>STATE, OPERATOR AND RESULT</i>	66
2.4.3. EPIC – <i>EXECUTIVE PROCESS-INTERACTIVE CONTROL</i>	68
2.4.4. MIDAS - <i>MAN-MACHINE INTEGRATION DESIGN AND ANALYSIS SYSTEM</i>	71
2.4.5. MIACE.....	73
2.4.6. COMPARAÇÃO DAS ARQUITETURAS COGNITIVAS.....	74
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	76
3. AVALIAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO EM AVAS 3D	78
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	78
3.2. PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA	78
3.2.1. AVAs 3D com uso de jogos	81
3.2.2. AVAs 3D com abordagens diversas	85
3.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	92
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	94
4. MATERIAIS E MÉTODOS	96
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	96
4.2. ESTUDO EXPERIMENTAL EXPLORATÓRIO	97
4.3. MODELO TEÓRICO PARA AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	100
4.4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO.....	103
4.5. IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAP).....	106
4.5.1. TECNOLOGIAS UTILIZADAS.....	108
4.5.2. MÓDULO DE MONITORAMENTO DAS INTERAÇÕES DOS USUÁRIOS.....	110

4.6.	SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAP).....	111
4.6.1.	ESTUDO DE CASO COM O PROJETO “VIDA”	116
4.6.2.	ESTUDO DE CASO COM “CONSTRUFIG3D”	117
4.7.	CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	119
4.8.	DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO	122
4.9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	128
5.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	130
5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	130
5.2.	ESTUDO EXPERIMENTAL EXPLORATÓRIO	130
5.3.	VALIDAÇÃO DO MODELO TEÓRICO DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	134
5.3.1.	ESTUDO EXPERIMENTAL – VIDA (<i>VIRTUAL AND INTERACTIVE DISTANCE-LEARNING ON ANATOMY</i>) 134	
5.3.1.1.	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	135
5.3.1.2.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO EXPERIMENTO.....	138
5.3.2.	ESTUDO EXPERIMENTAL – JOGO “PORTUGAL 1111 – A CONQUISTA DE SOURE”.....	143
5.3.2.1.	O CONTEXTO ESCOLAR E O JOGO “PORTUGAL 1111 – A CONQUISTA DE SOURE”.....	144
5.3.2.2.	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	146
5.3.2.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO EXPERIMENTO.....	152
5.4.	VALIDAÇÃO DA ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAP).....	160
5.4.1.	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	161
5.4.2.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO EXPERIMENTO	164
5.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	170
6.	DISCUSSÃO E INFERÊNCIA DE UM MODELO MATEMÁTICO	172
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	172
6.2	COMPARAÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS.....	172
6.3	ANÁLISE DESCRITIVA INCLUINDO OS TRÊS EXPERIMENTOS	178
6.4	CORRELAÇÃO DE PEARSON INCLUINDO OS TRÊS EXPERIMENTOS	181
6.5	INFERÊNCIA DO MODELO MATEMÁTICO.....	190
6.5.1	EQUACIONAMENTO GERAL – DADOS BRUTOS	191
6.5.2	EQUACIONAMENTO GERAL – DADOS TRANSFORMADOS	195
6.5.3	EQUACIONAMENTO ESPECÍFICO POR EXPERIMENTO.....	200
6.6	TRABALHOS FUTUROS	209
6.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	212
7.	CONCLUSÕES	213
7.1	ARTIGOS PUBLICADOS	215
7.2	ARTIGO SUBMETIDO	216
	REFERÊNCIAS.....	217
	APÊNDICE A - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA	228
	APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A ASPECTOS.....	231
	APÊNDICE C – DIAGRAMA ENTIDADE-RELACIONAMENTO (DER).....	234
	APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	235
	APÊNDICE E – QUESTIONARIO DE PERFIL (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “VIDA”)	238

APÊNDICE F – QUESTIONARIO DE <i>FEEDBACK</i> (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “VIDA”)	240
APÊNDICE G – QUESTIONARIO DE PERFIL (EXPERIMENTO COM JOGO “PORTUGAL 1111 – A CONQUISTA DE SOURE”)	242
APÊNDICE H – QUESTIONARIO DE <i>FEEDBACK</i> (EXPERIMENTO COM JOGO “PORTUGAL 1111 – A CONQUISTA DE SOURE”)	244
APÊNDICE I – QUESTIONARIO DE PERFIL (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “CONSTRUFIG3D”)	246
APÊNDICE J – QUESTIONARIO DE <i>FEEDBACK</i> (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “CONSTRUFIG3D”)	248
ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA.....	250
ANEXO B – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “VIDA”)	252
ANEXO C – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE (EXPERIMENTO COM JOGO “PORTUGAL 1111 – A CONQUISTA DE SOURE”)	253
ANEXO D – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “CONSTRUFIG3D”)	254
ANEXO E – ATIVIDADES APLICADAS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM (EXPERIMENTO COM AMBIENTE “CONSTRUFIG3D”)	257

INTRODUÇÃO

As tecnologias de computação e comunicação que dão suporte às áreas de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas. Com isso, os recursos computacionais proporcionados pela RV e RA têm despertado grande interesse de pesquisadores em diversos campos de conhecimento, especialmente no campo de ensino e treinamento virtual, pois favorecem o desenvolvimento de sistemas educacionais mais envolventes, interativos e imersivos.

Durante muitos anos o principal foco dos sistemas educacionais era oferecer aprendizagem assistida por computador, ou seja, utilizar as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) como meio de ensino. Com o passar do tempo, a preocupação passou a ser a aprendizagem baseada na *web* ou baseada no computador. Isso porque a *web* é o meio central para cursos *on-line*, incluindo um amplo leque de ferramentas educacionais, conhecidas como Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) (ANNETTA; FOLTA e KLESATH, 2010).

De acordo com Annetta, Folta e Klesath (2010) os AVAs podem ser simples programas com propósito educacional ou sistemas mais complexos projetados para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem ou até mesmo salas de aulas projetadas em um mundo virtual tridimensional (3D) como, por exemplo, no *Second Life*¹. Alguns dos AVAs mais comumente usados são os Sistemas de Gerenciamento de Aprendizagem (*Learning Management System - LMS*) ou Sistemas de Gerenciamento de Cursos (*Course Management System - CMS*), como *Blackboard*² e *Moodle*³, que incluem uma coleção de ferramentas para o professor e/ou aluno utilizarem. Annetta, Folta e Klesath (2010) salientam ainda que um mundo virtual tridimensional ou um jogo, com propósito educacional nos quais os alunos comparecem às aulas ou fazem seus trabalhos, também são considerados AVAs 3D, isto é, um AVA que faz uso dos recursos proporcionados pela RV ou RA.

A exploração de AVAs 3D com propósito de ensino-aprendizagem, a partir de simulações de situações reais, vem sendo uma prática cada vez mais comum em

¹ <http://secondlife.com/>

² <http://www.blackboard.com/>

³ <http://www.moodle.org.br/>

diversos campos de conhecimento, como instrumento de apoio pedagógico, tanto no ensino presencial quanto a distância.

Uma das características fundamentais dos AVAs que fazem uso dos recursos de RV ou RA é o fato de se caracterizarem como ambientes virtuais dinâmicos, ou seja, o ambiente modifica-se em tempo real à medida que os usuários interagem com ele, sendo que a interação pode ocorrer em menor ou maior grau, dependendo da interface adotada (SCHLEMMER e BACKES, 2008).

Atualmente existem muitas pesquisas relacionadas à temática de AVAs 3D, mas ainda incipientes do ponto de vista de avaliação da aquisição de conhecimento do aprendiz.

Sendo assim, este trabalho de pesquisa tem como foco principal oferecer uma forma de verificar se, de fato, os AVAs 3D colaboram com o processo de obtenção de conhecimento. Para isso, propõe-se um método para avaliar o nível de aquisição de conhecimento do aprendiz, sob a ótica das teorias cognitivas, de forma inovadora considerando as próprias tecnologias interativas disponíveis nos ambientes virtuais, além dos questionários amplamente empregados como instrumentos de avaliação.

Motivação

Os sistemas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada têm despertado grande interesse no campo de ensino e treinamento virtual, pois ampliam as possibilidades de estudo e prática de conceitos e técnicas, além de oferecer ao aprendiz a possibilidade de manipular e analisar diretamente o alvo de estudo.

Aliados a esta consideração, encontram-se na literatura especializada estudos que buscam a concepção de mundos virtuais 3D preocupados com os aspectos cognitivos de seus usuários, favorecendo o desenvolvimento de ambientes virtuais cada vez mais próximos da realidade dos usuários, como mostra o trabalho de Geller, Tarouco e Franco (2004), que desenvolveram um *framework* utilizando técnicas de hipermídia adaptativa visando a adaptar um Ambiente Virtual de Aprendizagem de apoio a Educação a Distância (EaD), considerando os estilos cognitivos predominantes dos alunos. Ainda nesse contexto, o trabalho de (DUNWELL *et al.*, 2012) apresenta um *framework* de *feedback* e avaliação que tem como propósito oferecer aprendizagem guiada por meio das ações realizadas pelo

jogador em um ambiente virtual baseado em jogos. O *framework* prevê que o educador alimente as regras e os objetivos da aprendizagem, que são considerados pelo módulo de avaliação. O módulo de avaliação, por sua vez, verifica se o aprendiz está se comportando no jogo conforme as regras estabelecidas e retorna ao aprendiz o *feedback* das suas ações. As tecnologias disponíveis no *framework* possibilitam adaptar o conteúdo e o cenário do jogo, de forma dinâmica, conforme as ações executadas pelo jogador.

Na literatura também são encontrados trabalhos que se preocupam em desenvolver aspectos cognitivos do usuário. Um ambiente virtual 3D com propósito de oferecer uma ferramenta de reabilitação cognitiva de pacientes com diagnóstico de Parkinson, Alzheimer e lesões cerebrais foi proposto por Wallet *et al.* (2008) e implementado com base na teoria de cognição espacial, que se refere à capacidade cognitiva de mover-se em um ambiente virtual sem se perder. Alguns artigos que abordam a importância da visão cognitiva também são encontrados na literatura, como em Siegl *et al.* (2007), que apresentam o Projeto Europeu de Visão Cognitiva (*European Cognitive Vision Project*) o qual utiliza tecnologia de RA para selecionar objetos em uma sala, posicionados fora do alcance do braço, concebido seguindo a teoria de visão cognitiva proposta por Christensen e Nagel (2003).

Em relação à concepção de AVAs 3D, encontram-se na literatura diversas iniciativas de pesquisa que serão apresentadas com mais detalhes no capítulo 3, sendo que poucos trabalhos selecionados apresentam instrumentos de avaliação da aquisição de conhecimento, como o trabalho de Chen e Wechsler (2007), que aborda Cognição Aumentada e Computação Afetiva para personalizar o ambiente conforme as preferências dos usuários e o trabalho de Gutierrez *et al.* (2007), que investiga o efeito do grau de imersão sobre o desempenho da aprendizagem dos estudantes de Medicina em uma simulação de RV de um cenário clínico de um acidente automobilístico.

Incluem-se ainda na concepção de AVAs 3D o sistema “*Virtual Patients*” proposto por Toro-Troconis *et al.* (2010), que apresenta uma simulação de cenários clínicos da vida real com atividades de aprendizagem baseada em jogos. Um AVA 3D com a finalidade de ensinar Anatomia Humana é proposto por Huang, Chen e Chen (2010). Morganti, Carassa e Geminiani (2007) abordam avaliação da habilidade espacial por meio de tarefas que envolvem reconhecimento espacial e

Sánchez e Salinas (2008) fazem uso de *videogames* móveis para guiar a visita de um grupo de alunos em um museu, como também o estudo da evolução de espécies biológicas.

Do mesmo modo, encontra-se o trabalho de Leftheris *et al.* (2012) que faz uso de um jogo colaborativo 3D como AVA, com propósito de responder às questões de pesquisa sobre a aquisição de conhecimento em tais ambientes; o estudo de Hafner *et al.* (2013) que investiga o efeito de diferentes tipos de movimento e níveis de imersão no desempenho da memorização em ambiente virtuais 3D e o trabalho de Lin *et al.* (2013) que investiga se um AVA 3D com uso de RA afeta mais ou menos a construção do conhecimento dos alunos e o desempenho da aprendizagem.

Os instrumentos de avaliação da aquisição de conhecimento identificados nos trabalhos que concebem AVAs 3D, mencionados anteriormente, são específicos para cada aplicação. Em geral, os instrumentos de avaliação da aprendizagem encontrados nesses trabalhos são baseados em questionários, elaborados com propósito de oferecer provas objetivas aplicadas durante a fase de pré e/ou pós-treinamento, provas objetivas personalizadas e teste de resolução de problemas pós-treinamento.

Porém, encontram-se também estudos que apenas propõem AVAs 3D, mas não apresentam métodos e nem instrumentos de avaliação da aquisição de conhecimento, como o trabalho de Francesco *et al.* (2008) que explora mecanismos de jogos para melhorar a aquisição de conhecimento por meio de mundos virtuais 3D; de Greitzer, Kuchar e Huston (2007) que descrevem como princípios cognitivos podem ser aplicados em jogos sérios; de Watanuki e Kojima (2007) que apresentam um AVA 3D para treinamento profissional de projetos de fundição de metais; de Yap (2011) que faz uso do *Second Life* como AVA 3D para ensinar tópicos relacionados ao cibercrime durante uma semana de *e-learning* promovida pela Universidade Nacional de Cingapura e o trabalho de Lambropoulos e Mystakidis (2012) que faz uso do *Second Life* com propósito de aprendizagem colaborativa, com vistas a acelerar a aprendizagem.

Deste modo, observa-se que apesar da comunidade científica mostrar interesse em desenvolver AVAs 3D com uso de tecnologias interativas, poucos estudos têm medido os reais efeitos na aprendizagem, o que foi verificado por meio

de uma Revisão Sistemática (RS) aprofundada na literatura. Os trabalhos que apresentam instrumentos de avaliação da cognição em AVAs 3D são geralmente aplicados fora dos ambientes virtuais e após o treinamento virtual. Além disso, não estão alinhados a um método de avaliação da aquisição de conhecimento sistematizado e automático.

Pela revisão de literatura realizada, ainda é possível perceber que os instrumentos de avaliação aplicados nos AVAs 3D não incorporam no processo de avaliação da aprendizagem as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente. Deste modo, não é possível verificar o quanto os AVAs 3D colaboram para a aprendizagem, ou seja, o quanto as interações proporcionadas pelo ambiente virtual influenciam na aquisição de conhecimento do aprendiz.

Sendo assim, uma discussão que é delineada neste contexto se refere à contribuição que os AVAs 3D efetivamente oferecem para a aquisição de conhecimento do aprendiz e como é possível avaliar tal aprendizado.

Hipótese

A partir do exposto, verifica-se que há uma lacuna a ser preenchida, ao se estudar a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, a fim de estabelecer um método para avaliar, de forma automática, a aquisição de conhecimento do aprendiz em AVAs 3D, considerando inclusive as interações proporcionadas pelo ambiente virtual.

Logo, a hipótese levantada nesta pesquisa encontra-se a seguir:

▪ **É possível estabelecer um método automático, a partir das interações do usuário no ambiente, para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma a verificar o quanto o aluno aprendeu com o uso do ambiente virtual.**

Objetivos do Trabalho

Diante da motivação e da hipótese levantada, o objetivo principal deste trabalho é definir, implementar e validar um método para avaliar, de forma automática, a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D.

O método proposto visa a complementar os questionários amplamente empregados como instrumentos de avaliação, considerando a captura dos dados de interação durante as sessões de treinamento virtual em AVAs 3D.

Para validar o método proposto, foram realizados experimentos a partir de projetos desenvolvidos pelo Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab⁴) da Escola Politécnica da USP e do Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS⁵) da Escola de Artes Ciências e Humanidades da USP, como também considerou-se outros ambientes virtuais encontrados na literatura.

Para alcançar o objetivo geral proposto nesta pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- 1) definir o modelo cognitivo mais adequado à proposta da pesquisa;
- 2) especificar os parâmetros a serem considerados no método de avaliação da aquisição de conhecimento proposto nesta pesquisa;
- 3) especificar o modelo de avaliação, levando em consideração o modelo cognitivo definido anteriormente e os parâmetros de avaliação selecionados;
- 4) definir a arquitetura do sistema com base no modelo de avaliação proposto;
- 5) implementar a arquitetura do sistema, visando a obter um Sistema de Avaliação da Aprendizagem a ser aplicado em AVAs 3D;
- 6) validar experimentalmente o modelo de avaliação proposto, como também o Sistema de Avaliação da Aprendizagem, como forma de coletar os dados de aprendizagem;
- 7) conduzir uma análise estatística dos resultados obtidos a partir dos experimentos realizados, como forma de inferir um modelo matemático adequado ao objetivo principal proposto nesta pesquisa.

Dessa forma, o método proposto poderá ser aplicado por profissionais da área de computação que desenvolvem Ambientes Virtuais Tridimensionais (AVs 3D) com propósito educacional, como uma forma de verificar a aquisição de

⁴ <http://www.interlab.pcs.poli.usp.br/>

⁵ <http://www.each.usp.br/lapis/>

conhecimento dos usuários em tais ambientes e assim validar sua concepção. Além disso, poderá ser útil para profissionais de outras áreas que fazem uso de AVAs 3D como meio de aprendizagem em diversos domínios de conhecimento, possibilitando aos mesmos medir o nível de aquisição de conhecimento, de forma automática, por meio das interações registradas no ambiente virtual.

Organização do trabalho

Esta tese possui além desta Introdução, sete capítulos, a saber:

Capítulo 1 – Aspectos Conceituais: apresenta os principais conceitos relacionados aos sistemas de RV e RA e sua aplicação na área educacional. Apresenta também algumas definições sobre AVAs e AVAs 3D, além dos conceitos fundamentais sobre as Teorias de Aprendizagem, Tipos de Aquisição de Conhecimento e de Avaliação na Aprendizagem, para melhor compreender o processo de avaliação de aquisição de conhecimento.

Capítulo 2 – Modelos Cognitivos: apresenta o planejamento e a condução de uma Revisão Sistemática aplicada neste trabalho de pesquisa, a fim de conhecer os conceitos relacionados aos modelos cognitivos clássicos e estudos da memória. Também são apresentados os resultados da RS da literatura sobre os principais modelos cognitivos que descrevem o processo de aquisição de conhecimento, os quais resultaram em arquiteturas cognitivas.

Capítulo 3 – Avaliação de Aquisição de Conhecimento em AVAs 3D: apresenta o estado da arte sobre os métodos de avaliação de aquisição de conhecimento em AVAs 3D, buscando identificar se as pesquisas encontradas se preocupam com a avaliação da aquisição de conhecimento e quais métodos têm sido aplicados. Os resultados foram obtidos por meio do planejamento e condução de uma RS da literatura.

Capítulo 4 – Materiais e Métodos: neste capítulo é apresentada a metodologia adotada em todos os passos da pesquisa, bem como os instrumentos e procedimentos utilizados para se estabelecer um método que avalie, de forma automática, a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, que é o foco principal desta pesquisa.

Capítulo 5 – Resultados Experimentais: apresenta os experimentos realizados durante o processo de elaboração do método proposto, como também os resultados obtidos, acompanhados de uma análise estatística.

Capítulo 6 – Discussão e Inferência de um Modelo Matemático: expõe uma consideração geral dos resultados apresentados no capítulo anterior e é apresentada a consolidação do método proposto nesta pesquisa, por meio da inferência do modelo matemático, como também conduz às principais conclusões. Algumas propostas de trabalhos futuros também são relacionadas.

Capítulo 7 – Conclusões: apresenta as conclusões do trabalho a partir das respostas às questões de pesquisa, sendo destacadas as contribuições da tese.

Por fim, têm-se as Referências que subsidiaram o embasamento teórico desta pesquisa, além dos Apêndices e Anexos que fazem parte do trabalho.

1. ASPECTOS CONCEITUAIS

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O uso do computador na área educacional oferece uma gama multidisciplinar de campos de pesquisa, considerando-se desde os aspectos tecnológicos, ligados a atividades como apoio, gerenciamento, avaliação, produção e distribuição de conteúdos até os aspectos humanísticos, como a pedagogia e a eficácia do processo de ensino-aprendizagem auxiliado por computador (FERRAZ, 2007).

Essa demanda computacional na área educacional produziu a necessidade de se criar redes de suporte constantemente acessíveis, capazes de disponibilizar de forma dinâmica e permanente os materiais produzidos para as aulas, permitir interação entre os diversos participantes do processo, assegurar a partilha de informações e documentos e também de oferecer ferramentas para a construção autônoma e colaborativa do conhecimento (GELLER; TAROUÇO e FRANCO, 2004).

Nesse cenário surgiram os Ambientes Virtuais de Aprendizagem, que estão sendo aplicados em diversas áreas do conhecimento, tanto para promover a aprendizagem *on-line* por meio da Educação a Distância (EaD), quanto como apoio à educação presencial, permitindo expandir as interações da aula para além do espaço presencial face a face, bem como suporte às atividades de formação semipresencial.

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais aspectos conceituais sobre os sistemas de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) e seu papel na área educacional, principalmente em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D. Também busca apresentar algumas definições sobre AVAs e AVAs 3D que são o foco deste trabalho de pesquisa, além dos conceitos fundamentais sobre aprendizagem, tipos de aquisição de conhecimento e avaliação na aprendizagem, para melhor compreender o processo de avaliação de aquisição de conhecimento.

1.2. REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA

Existem na literatura muitas definições para Realidade Virtual. Em termos simples ou ainda de forma simplista, RV pode ser definida como um ambiente sintético ou virtual, que dá à pessoa um senso de realidade, ou seja, uma sensação de “estar presente”.

Uma definição adotada por Tori, Kirner e Siscoutto (2006, p. 7) é apresentada a seguir:

Realidade Virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação (navegação) e interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multisensoriais, para atuação ou *feedback* (TORI; KIRNER e SISCOOTTO, 2006, p.7).

Contudo, o conceito de interface avançada não é uma característica exclusiva dos sistemas de RV, uma vez que outras áreas que não envolvem RV desenvolvem interfaces avançadas usando interfaces gestuais, *touchscreen* e reconhecimento de voz.

Algumas aplicações de RV são desenhadas para combinar representações virtuais com percepções do mundo físico. As representações virtuais fornecem ao usuário informação adicional sobre o mundo físico que não são percebidas sem a ajuda dos sentidos humanos. Este tipo de aplicação é denominado de Realidade Aumentada (SHERMAN e CRAIG, 2003).

A RA é definida por Azuma, Baillot e Behringer (2001, p. 34) como “[...] um sistema de RA complementa o mundo real com objetos virtuais, gerados computacionalmente, de tal forma que aparentem coexistir no mesmo espaço do mundo real”.

Sherman e Craig (2003) consideram a Realidade Aumentada como sendo um tipo de Realidade Virtual, pois possibilita aumentar a quantidade de informação disponível ao usuário em comparação com a sua percepção normal.

Para Tori, Kirner e Siscoutto (2006) a RA está inserida em um contexto mais amplo, denominado Realidade Misturada (RM). No entanto, são termos comumente usados de forma similar, predominando muitas vezes o uso do termo Realidade Aumentada.

A Realidade Misturada abrange a Realidade Aumentada, Realidade Virtual e também a Virtualidade Aumentada (VA), sendo esta última uma especificidade da RM, ou seja, quando o ambiente principal é o virtual e este é

enriquecido com elementos reais pré-capturados ou capturados em tempo real (MILGRAM *et al.*, 1994).

Portanto, a RM refere-se à fusão dos mundos real e virtual para a produção de novos ambientes e visualizações, na qual os objetos físicos e virtuais coexistem e interagem em tempo real (MILGRAM *et al.*, 1994).

Simões (2010) apresenta uma analogia com o mundo do cinema:

O filme *Who Framed Roger Rabbit* é um exemplo de RA: neste filme, personagens que são desenhos animados interagem com atores reais em ambientes reais. O mais recente *Avatar* (e não por acaso) é muito baseado em técnicas de Virtualidade Aumentada, ao inserir atores reais em ambientes gerados por computador e interagindo com personagens virtuais (SIMÕES, 2010).

No entanto, pelo fato do filme *Who Framed Roger Rabbit* não ser interativo, possivelmente não seja o exemplo mais adequado para RA. Assim, a analogia apresentada por Simões (2010) se adequa melhor com o conceito de RM.

Uma maneira de compreender a relação entre os ambientes reais e virtuais, considerando os conceitos de RA e RV, associados aos conceitos de Realidade Misturada e Virtualidade Aumentada, é considerar o diagrama “*reality-virtuality continuum*”, desenvolvido por Milgram *et al.* (1994) e ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - *Continuum* realidade-virtualidade

Fonte: Milgram *et al.* (1994)

Este diagrama sugere uma situação que se dá em diferentes níveis e graus, passando dos ambientes reais até os virtuais. A extremidade à esquerda é constituída exclusivamente de objetos reais, incluindo tudo o que pode ser observado na visualização de uma cena do mundo real, quer seja pessoalmente ou por meio de algum vídeo. A extremidade à direita define ambientes constituídos apenas por objetos virtuais, podendo ser imersivos ou não imersivos (MILGRAM *et al.*, 1994).

Quando se caminha da extremidade esquerda para a direita, passa-se pela Realidade Aumentada e, depois, pela Virtualidade Aumentada para chegar aos

ambientes totalmente virtuais. No sentido contrário chega-se aos ambientes totalmente reais. Segundo Milgram *et al.* (1994, p. 283):

[...] dentro desta estrutura, é fácil definir um ambiente genérico de Realidade Misturada, como aquele no qual objetos são apresentados juntos, no mundo real e no mundo virtual, dentro de uma única tela, ou seja, em qualquer lugar entre as extremidades do *continuum* realidade-virtualidade [...] (MILGRAM *et al.*, 1994, p. 283).

Para verificar se um ambiente virtual é considerado um sistema de RV ou RA, Sherman e Craig (2003) afirmam que é preciso considerar os vários níveis do sistema, como o nível físico (*hardware*), o nível lógico (*software*) e a forma como o mundo virtual é apresentado ao usuário (*design* da interface). Esta estrutura é ilustrada na Figura 2, adaptada de Sherman e Craig (2003).

Figura 2 - Uma experiência de Realidade Virtual ou Aumentada

Fonte: adaptada de Sherman e Craig (2003)

O nível físico inclui os dispositivos de entrada e saída, já o nível lógico engloba os componentes de *software* e retrata a forma como o mundo virtual é apresentado ao usuário (*design* da interface), além de definir como é realizada a interação do usuário com o mundo virtual.

Nota-se na estrutura da Figura 2 que alinhados aos níveis físico e lógico, têm-se os componentes do mundo virtual e a experiência de vida do usuário, que também deve ser considerada em uma experiência com sistemas de RV e RA.

Salienta-se que a experiência de vida do participante é bastante relevante para uma experiência de RV e RA, tendo em vista que as pessoas elaboram e trabalham sobre a realidade por meio de modelos mentais ou representações que criam a partir de percepções provenientes dessa realidade (NUNES *et al.*, 2010).

Porém, os modelos mentais relativos a um sistema interativo podem variar de indivíduo para indivíduo, em função de suas experiências passadas, estado emocional, e evoluem no mesmo indivíduo, em função de sua aprendizagem (NUNES *et al.*, 2010).

Deste modo, uma experiência de RV ou RA é a junção de vários fatores, incluindo a interface do usuário, os componentes do ambiente virtual (mundo virtual) e a experiência de vida do participante (SHERMAN e CRAIG, 2003). Além disso, nos sistemas de RA, a representação do mundo virtual é misturada com uma visão do mundo real.

1.2.1. Realidade Virtual e Realidade Aumentada na Educação

Muitos pesquisadores têm defendido que sistemas de RV e RA são tendências na área educacional. Isso porque os sistemas de RV e RA oferecem oportunidades para experiências imersivas e não imersivas, contextos e atividades realistas para o aprendizado experimental, simulações de treinamento, modelagem de cenários complexos, e a colaboração de múltiplos usuários interagindo entre si dentro do mesmo mundo virtual (SHERMAN e CRAIG, 2003; VALENTE e MATTAR, 2007).

Tori (2010) afirma que há uma série de vantagens cognitivas em se utilizar interfaces tridimensionais como meio de navegação em aplicações educacionais. Entre os vários fatores positivos, destacam-se:

- **menor sobrecarga cognitiva** – de acordo com Tori (2010, p.199) “[...] graças à naturalidade da interação com ambientes 3D, mais capacidade cognitiva fica à disposição do usuário se este navega por interfaces que simulam ambientes reais [...]”;
- **orientação** – maior facilidade do usuário em se orientar numa navegação baseada em interface tridimensional do que em uma interface baseada apenas em ícones e/ou menus;
- **modelos mentais** – o cérebro costuma processar modelos tridimensionais para interpretar o meio ambiente e, mesmo que a complexidade visual e o volume de dados sejam maiores, na maioria das vezes as estruturas espaciais são mais facilmente interpretadas e organizadas mentalmente pelas pessoas, auxiliando na recuperação posterior da informação;
- **interação direta** – possibilita aos usuários interagirem diretamente com os objetos do mundo virtual, tornando a interface mais intuitiva, permitindo ao aluno experimentar certos eventos, ambientes e fazer escolhas dentro desse ambiente. Dependendo da tecnologia envolvida, pode explorar inclusive os movimentos do corpo;
- **imersão** – segundo Tori (2010, p. 200) “[...] ambientes 3D facilitam a sensação de imersão e, consequentemente, aumentam as percepções de presença e proximidade [...]”, estimulando a participação ativa do estudante.

Aliada a esses fatores, tem-se uma questão importante a salientar: o fato da forma de aprendizagem (aquisição de conhecimento) depender de cada pessoa, já que algumas aprendem visualmente, outras verbalmente, algumas pessoas preferem explorar e outras deduzir. Entretanto, para cada estilo cognitivo pode-se explorar RV e RA de uma forma diferente.

Os sistemas de RV e RA também permitem extrapolar os limites espaço-temporais, possibilitando, por exemplo, a visitação “virtual” a lugares que são muito pequenos para se explorar na vida real (como expedições arqueológicas em cavernas repletas de labirintos e túneis estreitos), ou lugares de extensão muito grande para que sejam visualizados como um todo (por exemplo, percorrer toda a Muralha da China) (VENDRUSCOLO *et al.*, 2005).

Aplicações de RV e RA são encontradas em larga escala em sistemas de treinamento virtual 3D nos mais diversos campos de conhecimento como Medicina, Engenharias, Indústria, Ciências e Matemática, entre outras.

Na área de Medicina, alguns exemplos de aplicações de sistemas de RV e RA envolvendo treinamento médico são o sistema “*Virtual Patients*” de Toro-Troconis *et al.* (2010), que apresenta uma simulação em 3D de cenários clínicos da vida real; o trabalho de Gutierrez *et al.* (2007), que investiga o efeito do grau de imersão sobre o desempenho dos estudantes de Medicina em uma simulação de RV de um cenário de acidente automobilístico, tendo como objeto de estudo um paciente virtual e o trabalho de Soler *et al.* (2008), que apresenta um conjunto de ferramentas para melhorar o procedimento de laparoscopia, utilizadas como planejamento cirúrgico (pré-operatório) e também como simuladores cirúrgicos. Essas aplicações serão apresentadas com mais detalhes no capítulo 3.

Nas áreas da Indústria e da Engenharia encontram-se diversos sistemas de RV e RA voltados para treinamento virtual, como mostra o trabalho de Watanuki e Kojima (2007), que apresentam um sistema de RV voltado para treinamento profissional de projeto de fundição de metais; o estudo de Angelov e Styczynski (2007), que apresentam o desenvolvimento de um sistema de RV na área de treinamento educacional de sistemas de energia para estudantes do curso de Engenharia Elétrica e o trabalho de Wenju e Guangyae (2010), que desenvolveram um simulador de treinamento virtual de subestação de energia elétrica.

Atividades de aprendizagem baseadas em jogos também têm sido alvo de pesquisas, principalmente com a conexão dos “jogos sérios” às tecnologias de RV e RA. Esta categoria de jogos, que extrapola a ideia de ser apenas entretenimento, visa a simular situações práticas do dia-a-dia e tem como alvo a “geração jogador”. Essa geração tem um estilo cognitivo caracterizado pela multitarefa enquanto aprendem, apresenta curto período de atenção durante a aprendizagem e uma abordagem exploratória e de descoberta (YUCHUL *et al.*, 2007).

Muitas pesquisas têm ratificado a importância de explorar jogos sérios como forma de auxiliar nas relações ensino/aprendizado, como mostram os trabalhos de Toro-Troconis *et al.* (2010) e Rodrigues, Machado e Valença (2009).

Rodrigues, Machado e Valença (2009, p.2) descrevem que:

[...] os jogos sérios também podem ser aplicados para simular situações críticas que envolvam algum tipo de risco, tomada de decisões ou ainda, desenvolver habilidades específicas dos usuários [...] (RODRIGUES; MACHADO e VALENÇA, 2009, p. 2).

Considerando este cenário, pode-se afirmar que os sistemas de RV e RA são recursos bastante viáveis de serem aplicados em diferentes contextos educacionais.

1.3. AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM

Os Ambientes Virtuais de Aprendizagem permitiram a continuidade do processo de aprendizagem além da sala de aula presencial. Os AVAs aliados à constante evolução da Internet favoreceram a disseminação do conhecimento a qualquer hora e em qualquer lugar, além de promover a interação entre os participantes do ambiente em diversas modalidades, como de um para um, de um para muitos, de muitos para um e de muitos para muitos (PEREIRA; SCHMITT e DIAS, 2007).

Existem diversas definições conceituais para AVAs. Na década de 90 Milligan (1999) descreveu o termo AVA como sendo um *software* armazenado em um servidor, projetado para gerenciar e administrar os variados aspectos da aprendizagem, como disponibilizar conteúdos, acompanhar e avaliar a evolução do estudante.

Para Mckimm, Jollie e Cantillon (2003), AVA consiste em um conjunto de ferramentas eletrônicas voltadas ao processo de ensino-aprendizagem, as quais incluem sistemas que combinam comunicação eletrônica, como fóruns de discussão e salas de *chat*, avaliação *on-line*, acompanhamento das atividades dos estudantes na *web* e suporte *on-line*.

Pereira, Schmitt e Dias (2007) afirmam que “[...] os AVAs consistem em mídias que utilizam o ciberespaço para veicular conteúdo e proporcionar interação entre os envolvidos no processo educativo [...]”.

De acordo com Tori (2010) a denominação AVA é dada aos sistemas de gerenciamento de conteúdo e aprendizagem e apresenta também outras denominações, tais como LMS (*Learning Management System*), CMS (*Course Management System ou Content Management System*), LCMS (*Learning Content and Management System*) ou IMS (*Instructional Management Systems*). Tori (2010,

p. 127) afirma ainda que “[...] qualquer que seja a denominação empregada trata-se de ambientes, em geral baseados na *Web*, que se destinam ao gerenciamento eletrônico de cursos e atividades de aprendizagem virtuais [...]”.

Diante de tantas definições encontradas na literatura, a definição de AVA é ampla e não se pode considerar um AVA como sendo somente um pacote de *software* pronto, mas também como qualquer tentativa de se criar ambientes virtuais de aprendizagem baseados em diversos recursos tecnológicos (PEREIRA; SCHMITT e DIAS, 2007).

Sendo assim, no contexto deste trabalho AVA é um *software* baseado em recursos tecnológicos diversos com propósito de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem.

Com o advento da *Web 2.0*, os AVAs evoluíram com os recursos proporcionados pelas tecnologias de RV e RA, surgindo os AVAs 3D.

Um exemplo de ambiente virtual 3D que tem sido empregado como AVA é o *Second Life*, que apesar de ter sido desenvolvido para relacionar as diversas pessoas do mundo por meio de uma interface de fácil utilização e semelhante ao *The Sims*⁶ (uma série de jogos eletrônicos de simulação de vida), evoluiu e passou a ser amplamente adotado no meio acadêmico, profissional e social (VALENTE e MATTAR, 2007).

Muitas instituições educacionais, como a *Harvard University*, começaram a explorar o *Second Life* como AVA, principalmente como apoio na modalidade de EaD, pelo fato do ambiente ser multiusuário e permitir aos estudantes interagirem uns com os outros por meio de avatares, proporcionando-lhes a percepção de pertencerem à comunidade de aprendizagem (LUCIA *et al.*, 2009).

Considerando este cenário, ambientes virtuais de treinamento 3D, desenvolvidos combinando técnicas de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada com métodos tradicionais de aprendizagem, têm sido aplicados em diversos domínios de conhecimento, seja na área educacional ou corporativa. Isso se deve ao fato de este tipo de ambiente permitir o treinamento efetivo e a familiarização rápida, proporcionados pela interatividade de alta qualidade e por permitir recriar cenários diferentes para cada situação.

⁶ <http://www.thesims.com/pt-br>

À medida que os recursos tecnológicos se aprimoraram e tiveram seu uso ampliado nos AVAs, passou-se a considerar cada vez mais os aspectos particulares de cada indivíduo, já que cada pessoa tem o seu tempo para a aprendizagem, é dotada de identidade própria e possui visões de mundo e padrões culturais próprios. Portanto, por meio dos AVAs 3D, o processo de ensino-aprendizagem tem potencial para tornar-se mais ativo, dinâmico e personalizado.

Porém, uma discussão que é delineada neste contexto se refere à contribuição que os AVAs 3D efetivamente oferecem para a aquisição de conhecimento do aprendiz e como é possível avaliar tal aprendizado.

Esta discussão será abordada no capítulo 3 deste trabalho, quando será apresentada uma revisão sistemática da literatura sobre métodos de avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, buscando mostrar a ausência de instrumentos de avaliação da aprendizagem integrados aos ambientes virtuais.

As seções 1.4 e 1.5 apresentam as teorias de aprendizagem e os tipos de aquisição de conhecimento que podem ser explorados nos AVAs 3D. Na seção 1.6 encontram-se conceitos relacionados à avaliação na aprendizagem, visando a oferecer uma melhor compreensão do processo de avaliação da aquisição de conhecimento.

1.4. TEORIAS DE APRENDIZAGEM

O termo aprendizagem é mais complexo do que uma simples definição ao ato de se adquirir conhecimento. A psicologia cognitiva buscou evidências da aprendizagem nas alterações que ocorrem no comportamento das pessoas, como resultado da experiência vivenciada pelo aprendiz (LEFRANÇOIS, 2008).

De acordo com Lefrançois (2008, p. 6):

Aprendizagem é definida como uma mudança relativamente permanente no potencial de comportamento, que resulta da experiência. No sentido estrito, claro, a aprendizagem não é definida pelas mudanças reais ou potenciais no comportamento. Em vez disso, a aprendizagem é o que acontece ao organismo (humano ou não humano) como resultado da experiência. As mudanças comportamentais são simplesmente evidências de que a aprendizagem ocorreu (LEFRANÇOIS, 2008, p. 6).

Para tentar compreender como os indivíduos adquirem conhecimento (cognição) encontram-se na literatura as teorias de aprendizagem que reúnem e organizam fatos importantes (observações) do comportamento (humano ou não humano) e de mudanças comportamentais (LEFRANÇOIS, 2008).

As teorias de aprendizagem são resultados das tentativas feitas pela psicologia em organizar observações, hipóteses, leis, palpites e princípios acerca do comportamento e que visam a explicar o processo de aprendizagem dos indivíduos, ou seja, o modo como os seres adquirem novos conhecimentos, desenvolvem competências e mudam o comportamento (LEFRANÇOIS, 2008). A Tabela 1 apresenta as principais divisões das teorias de aprendizagem na visão de Lefrançois (2008).

Tabela 1 – As principais divisões da Teoria da Aprendizagem

	Variáveis de interesse	Teóricos e Teorias Representativas
Behaviorismo (comportamentalista)	Estímulos	Thorndike
	Respostas	Pavlov
	Reforço	Guthrie
	Punição	Watson
		Skinner
		Hull
A transição: o início do cognitismo moderno	Psicologia evolucionista	Rescorla-Wagner
	Estímulos	Wilson
	Respostas	Hebb
	Reforço	Tolman
	Mediação	Koffka
	Propósito	Kohler
	Objetivos	Wertheimer
	Expectativa	
Teorias Cognitivas	Representação	
	Autoconsciência	Bruner
	Processamento da Informação	Piaget
	Percepção, Organização	Vygotsky
	Tomada de decisão	Modelos de Computador
	Resolução de problemas	Processamento da Informação
	Atenção, Memória	Modelos de memória e motivação
	Cultura, Linguagem	

Fonte: adaptada de Lefrançois (2008, p. 24)

Observa-se que entre as principais teorias de aprendizagem, encontram-se as teorias comportamentalistas (*Behaviorismo*), que focaram na relação estímulo-

resposta, procurando compreender quais as leis que estabeleciam esta relação, enquanto que as teorias cognitivas deram atenção aos processos mentais superiores, isto é, buscaram compreender o que se passa na mente do indivíduo entre a recepção de um estímulo e a execução de uma resposta (LEFRANÇOIS, 2008).

1.4.1. Behaviorismo

Os primórdios do *Behaviorismo* foram marcados pelos teóricos Pavlov, Watson e Guthrie, que se preocuparam explicitamente com o comportamento. O *Behaviorismo* enfatiza os estímulos ambientais que determinam o comportamento, com ênfase no comportamento observável, o que levou os pesquisadores a rejeitarem termos referentes a eventos mentais, como imagem, ideia e pensamento, focando principalmente no estudo científico do comportamento humano (LEFRANÇOIS, 2008).

Buscando compreender as teorias de aprendizagem comportamentalista, que foi a base para as teorias cognitivas, esta subseção apresenta, de forma breve, alguns experimentos conduzidos pelo cientista Pavlov que, na tentativa de encontrar explicação científica para a salivação de seus cães antes de serem alimentados, desenvolveu vários experimentos sobre **condicionamento clássico**, que é uma das formas mais simples de aprendizado.

Lefrançois (2008) declara que nesses experimentos, o cientista demonstrou que a salivação nos cães não era provocada apenas pela visão do alimento, mas por qualquer outro estímulo diferente associado à comida.

Pavlov se refere à comida dos cães como **estímulo incondicional**, sendo o estímulo um evento ambiental que afeta o organismo e é qualificado de incondicional porque provoca uma **resposta** (reação muscular ou glandular), a qual não envolve aprendizagem. A salivação em resposta ao alimento é chamada de **resposta incondicional** por estar associada a um estímulo incondicional. Sendo assim, uma resposta incondicional ocorre sem aprendizagem (LEFRANÇOIS, 2008).

Porém, Pavlov demonstrou que se um estímulo incondicional for associado a outro estímulo condicional com certa frequência, esse segundo estímulo pode provocar resposta similar ao estímulo incondicional. Por exemplo, se uma campainha soar a cada vez que a comida for apresentada ao cachorro, essa

campanha – chamada **estímulo condicional** – evocará a resposta da salivação – agora chamada de **resposta condicional**, ocorrendo de fato uma forma de aprendizado (LEFRANÇOIS, 2008).

Sendo assim, Lefrançois (2008) afirma que o condicionamento clássico também é chamado de aprendizagem por substituição de estímulo, isso porque o estímulo condicional após ser associado a um estímulo incondicional com determinada frequência, pode então substituí-lo.

Além das variáveis estímulos-respostas, outras variáveis também presentes na teoria comportamentalista são reforço (positivo ou negativo) e punição, como mostra a Tabela 1. Segundo Lefrançois (2008) reforço é um conceito mais complexo e está relacionado com os efeitos de um estímulo.

Um tipo de reforço, por exemplo, é o positivo, no qual um efeito (como a saciedade da fome dos cães mostrada na experiência de Pavlov), leva à aprendizagem. Em resumo, esse tipo de reforço é semelhante à recompensa. Já o reforço negativo envolve uma resposta que resulta na eliminação ou prevenção daquilo que o cientista Thorndike chamou de resultado “desagradável”. Por exemplo, se uma criança for deixada sozinha no quarto durante uma crise de choro e só lhe for permitido sair quando parar de chorar, isso ilustra um reforço negativo, pois este evento pode aumentar a probabilidade da criança parar de chorar quando estiver novamente nesta situação. Em resumo, o reforço negativo é parecido com alívio. Logo a probabilidade de uma resposta ocorrer aumenta como função de algo que foi retirado de uma situação (LEFRANÇOIS, 2008).

Quanto à variável punição, esta pode modificar uma situação de estímulo-resposta e serve para “desviar” um hábito. Salienta-se que na teoria comportamentalista, a aprendizagem depende da contiguidade (ocorrência simultânea ou quase simultânea de eventos de estímulo-resposta) para ser eficaz. Por isso a punição deve ocorrer durante a resposta ou logo depois (LEFRANÇOIS, 2008).

Em síntese, os experimentos de Pavlov e também de outros cientistas que seguiram a teoria comportamentalista, como Watson, Guthrie, Thorndike, Skinner e Hull buscaram explicar, prever e controlar o comportamento, com ênfase principalmente na pesquisa com animais.

Considerando esse cenário, pode-se afirmar que as correntes comportamentalistas fazem um contraponto direto com as teorias cognitivas, pois para os cognitivistas a tônica está naquilo que os comportamentalistas ignoram – a cognição, o ato de conhecer, como o indivíduo conhece o mundo (COUTINHO, 2008).

1.4.2. Teorias Cognitivas

De acordo com Lefrançois (2008) a psicologia cognitiva difere do *behaviorismo* em quatro pontos importantes: i) o principal interesse da psicologia cognitiva está nos processos mentais superiores, ii) o cognitivismo mudou a ênfase na pesquisa com animais para uma revigorada ênfase na pesquisa com humanos, iii) o principal objetivo das teorias cognitivas é fazer inferências plausíveis e úteis sobre os processos mentais superiores e iv) as teorias cognitivas tendem a ser menos ambiciosas em amplitude do que as teorias *behavioristas*.

Buscando explicar o que são processos mentais superiores, Preece (2005) e Ferraz (2007) os definem como os processos de pensamentos que envolvem várias funções, como percepção e reconhecimento, resolução de problemas, planejamento e raciocínio, memória, aprendizado, compreensão, leitura, fala e audição, processamento de informações, tomada de decisões, entre outras funções.

Em outras palavras, Lefrançois (2008, p. 181) declara que “[...] os processos mentais superiores são atividades que medeiam; são processos mediadores, que ligam estímulos e respostas, algumas vezes, no decorrer de longos períodos de tempo [...]”.

Neste sentido Winn e Snyder (1996) *apud* Coutinho (2008, p. 103) afirmam que:

Os defensores das Teorias Cognitivas acreditavam que, pela observação das respostas a diferentes estímulos, poderiam inferir a natureza dos processos mentais que, operando sobre os estímulos, contribuíam para que uma resposta fosse (ou não) “dada”, “quando é dada” e “como é dada” pelo sujeito que aprende (WINN e SNYDER, 1996 *apud* COUTINHO, 2008, p.103).

Salienta-se que o termo cognitivismo é também conhecido na literatura como construtivismo e se justifica pelo fato do cognitivismo se ocupar em entender como o indivíduo conhece (cognição), como se constrói sua estrutura cognitiva (metacognitiva) e como os eventos e objetos do universo são interpretados pelo

aprendiz, atribuindo significados, armazenando, modificando e compreendendo a informação e admitindo que o conhecimento se dá por construção (MOREIRA, 1999).

O construtivismo encara o aprendiz como um construtor do conhecimento, e considera que é por meio das interações com o mundo que o aprendiz descobre como dar significado à experiência, além de encorajar a aprendizagem por descoberta, o aprendizado colaborativo e a participação ativa do aluno no processo de ensino-aprendizagem (LEFRANÇOIS, 2008).

Dessa forma, as teorias cognitivas buscam evidência da aprendizagem nas alterações que ocorrem no comportamento dos indivíduos e defendem a ideia de que para entender como o indivíduo adquire conhecimento é preciso antes compreender como funciona o seu processo cognitivo (LEFRANÇOIS, 2008; BOFF, 2000).

Para melhor compreender o que são os processos cognitivos, apresenta-se aqui uma definição dada por Boff (2000, p. 39-40):

Processos cognitivos são considerados mediadores entre os estímulos recebidos do ambiente e as respostas geradas. Em outras palavras, um indivíduo recebe informações e incorpora essas informações aos seus modelos mentais (confirmando-os ou modificando-os), permitindo que a situação captada seja representada e, conseqüentemente, sejam produzidos resultados (solução de problemas, tomadas de decisões, geração de ideias). Esse processo pode ser medido através da aprendizagem (conhecimento) e do desempenho (produtividade) de cada indivíduo (BOFF, 2000, p. 39-40).

Em virtude dessa definição, Lefrançois (2008) declara que processos cognitivos e processos mentais superiores são termos similares, ou seja, são processos mediadores que ligam estímulos e respostas. Em outras palavras, são eventos mentais que transformam continuamente os estímulos externos em códigos abstratos (BOFF, 2000).

Considerando este cenário, o capítulo 2 irá apresentar e discutir os principais modelos cognitivos e arquiteturas cognitivas encontrados na literatura, com objetivo de buscar identificar se há na literatura um modelo cognitivo de avaliação que se adeque ao propósito desta pesquisa.

1.5. TIPOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Os AVAs, especialmente os AVAs 3D podem estimular os diferentes tipos de aquisição de conhecimento, uma vez que as estratégias utilizadas nos ambientes virtuais podem favorecer o desenvolvimento cognitivo em diferentes níveis de aprendizagem.

O presente estudo está apoiado na Taxonomia de Bloom para identificar os tipos de aquisição de conhecimento que podem ser explorados pelos AVAs 3D.

De acordo com Ferraz e Belhot (2010), a Taxonomia de Bloom foi criada para apoiar a classificação dos objetivos educacionais e facilitar o processo de ensino-aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo, tendo sido amplamente utilizada na área educacional por ser adaptável a todos os domínios de conhecimento.

Bloom *et al.* (1956) estruturou a aquisição de conhecimento em seis níveis de complexidades crescentes, criando uma hierarquia de competências cognitivas e relacionando a aquisição de conhecimento à mudança de comportamento do aprendiz (BRUYN; MOSTERT e SCHOOR, 2011). A Figura 3 apresenta os níveis de aquisição de conhecimento considerando a Taxonomia de Bloom original, concebida de forma hierárquica, dependente e cumulativa (BLOOM *et al.*, 1956):

Figura 3 - Categorias do domínio cognitivo considerando a Taxonomia de Bloom original

Fonte: Rodrigues Jr. (2007)

Para cada nível ou categoria do domínio cognitivo existem ações relacionadas, que estão descritas a seguir:

- 1. Conhecimento** – recordar ou reconhecer itens específicos;
- 2. Compreensão** – compreender/dar significado ao conteúdo;

3. Aplicação – usar informações, técnicas e conteúdos aprendidos em novas situações concretas;

4. Análise – subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura global;

5. Síntese – agregar e juntar partes com a finalidade de criar um resumo sobre o conteúdo;

6. Avaliação – julgar a importância do conteúdo abordado para uma finalidade específica.

Porém, na Taxonomia de Bloom “atualizada” as competências cognitivas sofreram algumas modificações, separando-se os verbos e substantivos na formulação dos objetivos da aprendizagem, de forma a colocá-los em dimensões separadas. Na nova versão, o substantivo se torna a base para a dimensão conhecimento (o quê) e o verbo é a dimensão relacionada aos aspectos cognitivos (como), dando um caráter bidimensional, o que originou um novo modelo denominado de Tabela Bidimensional da Taxonomia de Bloom (ANDERSON *et al.*, 2001; FERRAZ e BELHOT, 2010).

Na Tabela Bidimensional da Taxonomia de Bloom “atualizada” as seguintes terminologias são utilizadas para os níveis de aquisição de conhecimento (ANDERSON *et al.*, 2001):

1. Lembrar – recuperar conhecimento relevante a partir da memória de longo prazo (recordar, reconhecer);

2. Entender – determinar os significados de mensagens instrucionais, incluindo comunicação oral, escrita ou gráfica (interpretar, exemplificar, classificar, sumarizar, inferir, comparar ou explicar);

3. Aplicar – realizar procedimentos ou usar informações, técnicas e conteúdos em novas situações concretas (executar, implementar);

4. Analisar – subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de relacionar as partes e entender a estrutura global (diferenciar, organizar, atribuir);

5. Avaliar – fazer julgamentos baseado em critérios e padrões (checar, criticar);

6. Criar – colocar os elementos em conjunto para formar o todo (gerar, planejar, produzir).

Embora a Taxonomia de Bloom “atualizada” tenha mantido a hierarquia, ela se tornou mais flexível, pois passou a considerar a possibilidade de intercalar as categorias (níveis) do processo cognitivo, quando necessário. Por exemplo, para entender determinado conteúdo pode ser mais fácil, primeiramente, aplicá-lo e só então ser capaz de explicá-lo (FERRAZ e BELHOT, 2010).

Deste modo, o novo olhar da Taxonomia de Bloom pode ser mais adequado aos AVAs 3D, devido à flexibilidade que os ambientes virtuais 3D proporcionam aos usuários por meio dos recursos de interação.

1.6. AVALIAÇÃO NA APRENDIZAGEM

São encontradas na literatura diversas definições para avaliação, que admitem vários significados como medir, verificar, diagnosticar, investigar e aferir, os quais podem ser confundidos entre si.

No contexto educacional, Pimentel (2006, p. 73) define avaliação como “[...] um processo contínuo de coleta de dados sobre o desempenho do estudante e a interpretação destes dados (análise) [...]”.

Para Filatro (2008) a avaliação é usada para fazer julgamentos sobre a validade ou o sucesso de pessoas ou coisas. O autor declara que a avaliação na aprendizagem significa verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos, durante ou após o processo de ensino-aprendizagem.

Luckesi (2011) declara que avaliar é diagnosticar, ou seja, é o processo de qualificar a realidade por meio de sua descrição, com base em dados relevantes. O autor complementa que, na sequência compara-se a realidade descrita com um critério, que é assumido como uma qualidade desejada.

Winn e Snyder (1996) *apud* Coutinho (2008) declaram que avaliar a aprendizagem na ótica das Teorias Cognitivas equivale a focalizar a atenção no processo de como a informação é recebida (*input*), organizada (*processing*), retida (*storage*) e usada (*retrieval*) pelo cérebro do aprendiz.

A avaliação na aprendizagem pode ser classificada em função da sua finalidade, como diagnóstica, formativa ou somativa (MADAUS e BLOOM, 1983):

- **Avaliação diagnóstica** – o principal objetivo é mensurar o quanto o estudante sabe sobre o que será abordado do início ao final do curso e possibilita

detectar a existência ou não de pré-requisitos. É considerada importante para conhecer o grau cognitivo do aluno;

- **Avaliação formativa** - visa a oferecer aos alunos um *feedback* sobre o seu progresso e desenvolvimento, já que tem como característica o fato de fornecer informações ao professor e ao estudante no decorrer do processo, facilitando o entendimento e a correção dos próprios erros;

- **Avaliação somativa** – o objetivo principal da avaliação é no que diz respeito à atribuição de notas ou conceitos, fornece uma medida de sucesso ou fracasso em relação ao desempenho do aluno aos resultados esperados da aprendizagem.

Contudo, independente da finalidade (diagnóstica, formativa e somativa), o ato de avaliar tem o papel de diagnosticar, porém em momentos diferentes. De acordo com Luckesi (2011, p. 278):

Do ponto de vista etimológico, a palavra diagnosticar tem sua origem em dois termos gregos: *gnosís* (conhecer) + *día* (através de). “Conhecer através de” significa coletar dados da realidade e interpretá-los com o intuito de compreender seu modo de ser e, no caso da avaliação, sua qualidade (LUCKESI, 2011, p. 278).

Dessa forma, no contexto da presente tese, a avaliação é considerada como sendo diagnóstica, porém, aplicada com finalidades diferentes conforme o momento que se deseja avaliar.

Convém ressaltar ainda que a avaliação na aprendizagem tem tido dois enfoques – “avaliação da aprendizagem” e “avaliação para aprendizagem”. Sendo que a “avaliação da aprendizagem” é caracterizada pela avaliação no final do processo de ensino, apresentando apenas a finalidade somativa. Já a “avaliação para aprendizagem” é descrita como avaliação formativa, pois é caracterizada pela avaliação que ocorre durante o processo de ensino em direção à “nota final” (PIMENTEL, 2006).

Porém, independentemente da finalidade da avaliação na aprendizagem, se faz necessário responder, primeiramente, algumas questões, tais como (HUMMEL e HUITT, 1994):

- Qual o momento da avaliação? (quando avaliar)
- Qual será o foco da avaliação? (o que avaliar)
- Quais os objetivos e quais as funções da avaliação? (para que avaliar)

- Que metodologia de avaliação será usada? (como avaliar)
- Para quem serão fornecidos os resultados? (para quem avaliar)
- Como os resultados serão fornecidos?

Como a avaliação é um processo em função da aprendizagem, diversos instrumentos de avaliação podem ser utilizados para avaliar se, de fato, o estudante adquiriu o conhecimento esperado na proposta de ensino.

No sistema de avaliação tradicional, os instrumentos mais comumente empregados são: prova discursiva ou dissertativa; seminário; ensaio (experimento); portfólio; prova oral ou entrevista; prova objetiva incluindo questões de múltipla escolha, lacuna e/ou verdadeiro-falso (MASETTO, 2003).

No aprendizado eletrônico, pode-se considerar que os instrumentos de avaliação tradicionais continuam a ser empregados, mudando-se apenas o meio, já que tais instrumentos passaram a ser aplicados de forma *on-line*. A Tabela 2 apresenta uma relação entre os instrumentos de avaliação tradicionais e os instrumentos de avaliação *on-line* mais praticados nos AVAs.

Tabela 2 – Principais instrumentos de avaliação tradicionais *versus* instrumentos de avaliação *on-line*

Instrumentos de avaliação tradicionais	Instrumentos de avaliação no aprendizado eletrônico (<i>on-line</i>)
Prova discursiva ou dissertativa	Questões discursivas ou dissertativas, fóruns, listas de discussão, questões de resolução de problemas, tarefas
Portfólio	Portfólio virtual
Prova oral ou entrevista	<i>Chat</i> , <i>webconferência</i> ou videoconferência
Seminário	Seminário virtual por meio de videoconferência ou <i>webconferência</i>
Prova objetiva	Questões objetivas, enquetes
Trabalhos em grupos	Ferramentas colaborativas como <i>Wikis</i>

Fonte: Autor

Apesar dos instrumentos de avaliação tradicionais praticados nos AVAs serem aplicados de forma *on-line*, em alguns momentos com finalidade formativa e em outros com finalidade somativa, é notável na literatura que os AVAs têm feito uso mais intensivo de provas objetivas e discursivas, por meio de questionários que são geralmente aplicados após as sessões de treinamento virtual. Vale ressaltar que os AVAs praticados na *web* ampliam as possibilidades de “avaliação contínua”, mas

acarretam um maior volume de dados. Para que isso seja viável são necessárias ferramentas que permitam avaliações de forma automatizada.

Como o foco desta pesquisa são os AVAs 3D, os quais tem potencial para serem totalmente interativos, a avaliação na aprendizagem, exclusivamente por meio de provas, pode apresentar um resultado que não condiz com a realidade vivenciada pelo aprendiz durante o processo de aprendizagem no ambiente virtual, além de geralmente incluir fatores de subjetividade nas respostas das questões dissertativas/discursivas.

Dessa forma, uma discussão que é delineada neste contexto se refere à contribuição que tais ambientes efetivamente oferecem para a aquisição de conhecimento do aprendiz e como é possível avaliar tal aprendizado, buscando identificar o nível de interação e envolvimento em uma determinada tarefa.

1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O presente capítulo apresentou os principais aspectos conceituais envolvidos na pesquisa em questão.

Diante do levantamento bibliográfico apresentado, pode-se afirmar que os AVAs apresentam um importante papel como ferramenta de apoio ao ensino. Nesse cenário, as tecnologias de RV e RA têm sido amplamente empregadas no desenvolvimento de AVAs 3D, tornando-se uma alternativa cada vez mais comum em diversos domínios, principalmente no campo educacional.

Em geral, a concepção de AVAs e AVAs 3D segue uma ou mais teorias de aprendizagem. Como esses ambientes procuram dar ênfase na aprendizagem ativa centrada no estudante e em vista da abordagem cognitiva buscar verificar como os processos de raciocínio estão sendo desenvolvidos, verifica-se que a maior parte das pesquisas nesta área tem aplicado conceitos de construtivismo no desenvolvimento de AVAs e, consequentemente, dos AVAs 3D.

Dessa forma, em função deste trabalho seguir a abordagem das teorias cognitivas, o capítulo 2 apresenta e discute os principais modelos cognitivos encontrados na literatura, com objetivo de identificar um modelo cognitivo que mais se adeque ao propósito desta pesquisa.

Por fim, considerando o avanço no desenvolvimento de AVAs, o surgimento das ferramentas da *Web 2.0* e o desenvolvimento de sistemas de

avaliação auxiliados por computador, sofisticados, mas muitas vezes dissociados do ambiente de aprendizagem, surge uma lacuna para pesquisas na área de avaliação na aprendizagem em AVAs 3D.

Tais ambientes, apesar de explorarem tecnologias emergentes para envolver e motivar os alunos no processo de ensino, ainda não apresentam um método consolidado para avaliação do aprendizado, de forma que avalie a aquisição de conhecimento do aluno por meio das próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente, o que poderá ser confirmado no capítulo 3 deste trabalho.

2. MODELOS COGNITIVOS

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivo apresentar o processo de Revisão Sistemática da literatura aplicado nesta pesquisa, como também os principais conceitos relacionados aos estudos da memória, que embasam o processo de aquisição de conhecimento por meio de modelos cognitivos.

Diferentemente de revisões bibliográficas exploratórias, uma Revisão Sistemática é um método de pesquisa explícito e rigoroso que procura identificar, avaliar e interpretar toda pesquisa disponível e relevante sobre um tema, área ou fenômeno de interesse, visando principalmente à documentação dessa revisão, o que fornece condições de levar a resultados mais confiáveis e consistentes (KITCHENHAM, 2004).

Sampaio e Mancini (2007) definem RS como um método de pesquisa científica que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos sistematizados de busca, análise crítica e síntese da informação selecionada.

Uma RS é dividida em três fases (Planejamento, Condução e Análise/Interpretação de Resultados) que, depois de englobadas em um processo de empacotamento, geram os resultados esperados pelo pesquisador (MAFRA e TRAVASSOS, 2006).

Uma síntese geral sobre o processo de RS da literatura é dada por Sampaio e Mancini (2007), que apontam as seguintes etapas:

- a) definir as questões de pesquisa, especificando intervenção de interesse e resultados esperados;
- b) identificar as bases de dados a serem consultadas, definir palavras-chave, idioma e estratégias de busca;
- c) estabelecer critérios de inclusão e exclusão para selecionar artigos;
- d) conduzir a busca nas bases de dados seguindo a(s) estratégia(s) definida(s);
- e) aplicar os critérios de inclusão e exclusão de artigos e registrar no formulário de condução da revisão;

- f) analisar e avaliar todos os estudos incluídos, registrando no formulário de extração de dados;
- g) preparar um resumo crítico, sintetizando as informações disponibilizadas pelos artigos que foram incluídos na revisão;
- h) apresentar uma conclusão, informando a evidência sobre os efeitos da intervenção.

O planejamento e a condução da RS aplicada nesta pesquisa são apresentados na seção 2.2 e os resultados apresentados e discutidos neste capítulo se referem à primeira questão de pesquisa que tem como objetivo principal identificar estudos relacionados aos principais modelos cognitivos já estabelecidos na literatura e que estão sendo empregados atualmente.

2.2. PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Para conduzir esta revisão de literatura, primeiramente foi estabelecido o protocolo de Revisão Sistemática elaborado durante a fase de planejamento (Apêndice A), com base nos modelos propostos por Biolchini *et al.* (2005), Kitchenham (2004) e Mafra e Travassos (2006).

No protocolo de RS foram definidas as questões de pesquisa que são apresentadas a seguir. Também foram definidas as fontes de busca, as palavras-chave, as *strings* de busca, os critérios de inclusão e exclusão de artigos e outros tópicos pertinentes à pesquisa que estão disponíveis no Apêndice A.

Questões de Pesquisa - como qualquer pesquisa científica, uma RS requer a formulação de perguntas, as quais se espera que sejam esclarecidas e respondidas. Nesta investigação foram elaboradas duas perguntas:

1. Quais são os principais modelos cognitivos que descrevem o processo de aquisição de conhecimento?
2. Quais são os métodos existentes para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs desenvolvidos com técnicas de RV e RA?

Seguindo o protocolo, iniciou-se a RS pela primeira questão e os resultados encontrados foram registrados no formulário de condução da RS.

Para a primeira questão de pesquisa as *strings* de busca foram:

1. “*cognitive models*” and “*assessment*”
2. “*cognitive models*” and “*evaluation*”

3. “*cognitive models*” and “*learning*”

Na sequência, substituiu-se nas três *strings* de busca a palavra-chave “*cognitive models*” por “*cognitive architectures*” e repetiu-se a busca nas bases citadas. Também foram utilizadas outras *strings*, com as quais não se obteve resultados ou quando retornava algum resultado eram trabalhos já repetidos nas *strings* 1, 2 e 3.

Durante o processo de seleção dos artigos foram definidos os trabalhos incluídos e excluídos da RS, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo de RS e documentados nos formulários de condução da RS. Deste modo foram pré-selecionados 28 trabalhos, sendo apenas 12 trabalhos incluídos na revisão e que fazem parte da síntese da primeira questão de pesquisa.

Os formulários de condução da RS encontram-se disponíveis em <http://www.interlab.pcs.poli.usp.br/formulario_conducao_rs_eunice_nunes.zip>.

2.3. MODELOS COGNITIVOS

Mayrhauser e Vans (1995) definem modelos cognitivos como uma forma de descrever os processos de aquisição de conhecimento envolvidos em uma determinada tarefa, possibilitando a extração de informação e representação do conhecimento em diferentes níveis de abstração.

Para descrever o processo de aquisição de conhecimento por meio de modelos cognitivos é necessário compreender como ocorre o processo de aprendizagem na memória. De acordo com Lefrançois (2008) a aprendizagem é evidenciada pelas alterações que ocorrem no comportamento, resultado da experiência vivenciada pelo aprendiz.

Lefrançois (2008, p. 303) afirma ainda que “[...] não haverá evidência de aprendizagem sem que algo tenha acontecido na memória, do mesmo modo, o que fica na memória implica aprendizagem [...]”. Logo, estudar a memória é uma forma de estudar a aprendizagem, além de dar subsídio para compreender como avaliar o conhecimento adquirido (aprendizagem) pelo aprendiz.

Dessa forma, a subseção 2.3.1 discorre sobre os estudos da memória, seus principais componentes e suas funcionalidades, contextualizando como se realiza o processamento da informação humana.

2.3.1. Estudos da Memória

A memória humana é algo muito rico e complexo e é definida por Lefrançois (2008, p. 304) da seguinte forma: “No linguajar cotidiano, memória significa disponibilidade da informação e implica a capacidade de recuperar habilidades ou informações previamente adquiridas. Pressupõe aprendizagem, ou seja, envolve mudança [...]”.

Uma contribuição importante dos primeiros estudos deste objeto são os vários modelos de memória. O mais conhecido deles foi proposto por Atkison e Shiffrin (1968) na década de 60, que traz uma distinção importante entre Memória de Curto Prazo (MCP) e Memória de Longo Prazo (MLP), bem como um terceiro componente chamado de Memória Sensorial. Este modelo se encontra resumido na Figura 4 (BADDELEY, 2004; LEFRANÇOIS, 2008).

Convém ressaltar que o modelo proposto por Atkison e Shiffrin (1968) representa o meio que os psicólogos escolheram para investigar a memória humana, ou seja, é um modelo simbólico.

Figura 4 - Os três componentes da memória humana proposto por Atkinson e Shiffrin (1968)

Fonte: Atkison e Shiffrin (1968)

A memória sensorial, também conhecida por registro sensorial, é o termo usado para nomear os efeitos imediatos e inconscientes dos estímulos do ambiente, ou seja, a memória sensorial armazena brevemente as informações sensoriais como som, luz, efeito 3D e odor, muitas vezes de forma inconsciente (LEFRANÇOIS, 2008). Após passar pelo processamento sensorial, a informação é processada pela MCP, e parte da MCP é codificada para armazenamento em longo prazo, ficando disponível na MLP para recuperação, quando necessário.

Uma definição de Memória Sensorial é dada por Lefrançois (2008, p.310):

[...] precede a atenção – o que, em outras palavras, diz respeito a algo que ocorre sem que o indivíduo esteja consciente do que está ocorrendo. Quando o indivíduo presta atenção (torna-se consciente) a um estímulo, este passa para a Memória de Curto Prazo (MCP) (LEFRANÇOIS, 2008, p. 310).

A Memória de Curto Prazo, conhecida também por Memória de Trabalho, tem capacidade limitada, atribui significados às informações, coordena a execução da tarefa para resolução de problemas e pode perder em alguns segundos a informação armazenada se, logo após a atividade de memorização, a pessoa for levada a realizar outra atividade ou tratar uma informação que a distraia (LEFRANÇOIS, 2008).

Especificamente, a MCP se refere à consciência e à lembrança de itens que não mais ficarão disponíveis na memória assim que o indivíduo cessar de resgatá-los, portanto é considerada uma memória temporária. Uma característica da MCP é, por exemplo, possibilitar a um indivíduo buscar um número de telefone em uma lista telefônica, olhá-lo e discá-lo sem precisar voltar para olhar o segundo dígito após discar o primeiro e, ao finalizar a discagem do número completo, este irá se apagar da sua memória, sendo que geralmente, no caso de precisar discá-lo novamente, precisará consultar novamente a lista telefônica (LEFRANÇOIS, 2008).

Já a Memória de Longo Prazo, é definida por Lefrançois (2008, p. 315) da seguinte forma:

Tudo o que uma pessoa consegue lembrar e que não acabou de ocorrer constitui a memória de longo prazo. Portanto, tudo o que é retido das experiências educacionais, um conhecimento completo da linguagem e toda informação estável sobre o mundo estão na memória de longo prazo (LEFRANÇOIS, 2008, p. 315).

Portanto, a MLP é altamente estável, pois muito do que as pessoas se lembram, agora, hoje e amanhã, irão se lembrar na próxima semana e talvez até nos próximos anos.

A MLP é também uma memória geradora, porque conhecimentos preconcebidos e crenças sobre o que combina com o quê, denominadas esquemas ou *scripts*, podem influenciar profundamente a memória, levando as pessoas a lembrarem coisas que nunca aconteceram, ou seja, as pessoas passam a gerar informações, em vez de reproduzi-las (SCHACTER; NORMAN e KOUTSTAAL, 1998).

Outra característica da MLP está relacionada à lembrança, sendo melhor para imagens do que para palavras e melhor para palavras visualizadas do que para aquelas que não o são, já que as informações que as pessoas lembram é geralmente um significado.

Um estudo comparativo entre os três níveis de memória é apresentado por Lefrançois (2008) e se encontra ilustrado na Tabela 3. Com esta comparação é possível verificar que a MCP é uma memória ativa, que inclui o que está sendo pensado no presente, equivalente à amplitude de atenção e tem duração de segundos ou fração de segundos, enquanto a MLP tem duração de minutos ou anos.

Porém, salienta-se que as pessoas têm o hábito de manter constantemente as informações na MCP (memória de trabalho) para a sua utilização imediata, mas também é necessário um mecanismo para armazenar as informações por um maior período de tempo com objetivo de recuperá-las mais tarde, o que é realizado pela MLP, que representa o conhecimento adquirido. Cabe ressaltar que esta necessidade é confirmada por Wickens *et al.* (2004), quando afirma que o aprendizado é o armazenamento das informações na Memória de Longo Prazo.

Tabela 3 – Três Níveis de Memória

	Sensorial	Curto Prazo	Longo Prazo
Denominações alternativas	Ecóica, icônica, háptica	Primária ou funcional	Secundária
Duração	Menos de um segundo	Temporária, menos de 20 segundos	Permanente, indefinida
Estabilidade	Transitória	Facilmente desintegrável	Não facilmente desintegrável
Capacidade	Limitada	Limitada (7 ± 2 itens)	Ilimitada
Características Gerais	Impressão momentânea, não consciente; uma sensação ou associação por repetição	Refere-se ao que estamos prestando atenção; consciência imediata; ativa; mantida por repetição	Todo nosso conhecimento; passiva; resultado da codificação, armazenamento e recuperação da informação

Fonte: Lefrançois (2008, p. 318) *apud* Lefrançois (2000, p. 175)

Contudo, os estudos da memória vão mais além, sendo que pesquisadores e teóricos da área propuseram que a memória consiste em componentes diversos. Entre os estudos mais amplamente investigados estão aqueles que dividem a Memória de Longo Prazo em memória implícita e memória explícita e seus subtipos (BADDELEY, 2004; SQUIRE, 1989).

As memórias explícitas são memórias declarativas que podem ser expressas por palavras, ou seja, podem ser declaradas. Incluem, por exemplo, as

memórias relacionadas a nomes de pessoas, seus números de telefone, conceitos, leis ou o que aconteceu no Natal passado (LEFRANÇOIS, 2008).

A Figura 5 apresenta as subdivisões da MLP, de acordo com as teorias defendidas por Squire (1989).

Figura 5 - Tipos e subtipos da Memória de Longo Prazo

Fonte: adaptada de Squire (1989)

Como mostra a Figura 5, a memória declarativa ainda apresenta pelo menos dois tipos distintos: a memória episódica e a memória semântica. A memória episódica se refere a um conjunto de conhecimentos que diz respeito à memória pessoal, a qual engloba os episódios vividos pelo indivíduo; são memórias autobiográficas que sempre envolvem a pessoa num certo tempo e espaço, pois quando lembram episódios da sua vida estão também se lembrando de um tempo em algum lugar específico (WICKENS *et al.*, 2004).

Por outro lado, Lefrançois (2008, p. 320) declara que a memória semântica “[...] armazena o conhecimento estável sobre o mundo, como o conhecimento abstrato, aquele necessário para compreender e utilizar a linguagem, o conhecimento dos princípios, leis e fatos, das estratégias e da heurística”.

Tulving (1989) declara que a memória episódica depende da memória semântica. Por exemplo, se a pessoa se lembra da experiência de ter almoçado ontem (memória episódica), ela provavelmente se lembrará de uma variedade de aspectos abstratos relacionados a comer, valores nutricionais, almoço ou restaurantes (memória semântica), que abrange a memória do significado das palavras.

Ao contrário, a memória semântica parece ser capaz de agir independentemente ou mesmo sem a memória episódica, o que foi comprovado por pesquisadores teóricos da área, a partir de experimentos com pessoas normais e pessoas que tiveram danos cerebrais. Os resultados mostraram que é possível que

um indivíduo saiba de algo sem lembrar-se de tê-lo aprendido no passado, como por exemplo, ter conhecimento de como se joga xadrez, mesmo sem a lembrança de ter jogado uma única partida (LEFRANÇOIS, 2008).

Quanto às memórias implícitas, conhecidas também por não-declarativas, estas se diferem da declarativa (explícita) por não precisar ser verbalizada (declarada). É a memória para procedimentos e habilidades. Por exemplo, a habilidade para andar de bicicleta, jogar tênis ou dar um nó no cordão do sapato. Este tipo de memória pode ser de quatro tipos: i) memória adquirida e evocada por meio de "dicas" (*priming*); ii) memória de procedimentos; iii) memória associativa e; iv) memória não-associativa (CARDOSO, 2011; SQUIRE, 1989).

A memória adquirida e evocada por meio de "dicas" (*priming*) corresponde à imagem de um evento, preliminar à compreensão do que ele significa. Um objeto, por exemplo, pode ser retido nesse tipo de memória implícita antes de saber o que é e qual o seu significado. Portanto, considera-se que a memória pode ser evocada por meio de "dicas" (fragmentos de uma imagem, a primeira palavra de uma poesia, certos gestos, odores ou sons) (CARDOSO, 2011; SQUIRE, 1989).

A memória de procedimento refere-se às habilidades e aos hábitos. Por exemplo, podem-se conhecer os movimentos necessários para dar um nó em uma gravata, nadar, andar de bicicleta, sem precisar descrevê-lo verbalmente (CARDOSO, 2011; SQUIRE, 1989).

A memória associativa é utilizada quando, ao recuperar uma informação na MLP, esta utiliza o recurso de vincular ou associar a informação desejada a outros itens. Por exemplo, o som de uma palavra estrangeira pode ser associado a um significado ou ao seu som na língua materna. Por outro lado, usa-se a memória não associativa quando, sem perceber, aprende-se que um estímulo repetitivo, por exemplo, o latido de um cão não traz riscos, o que faz a pessoa relaxar e ignorá-lo (CARDOSO, 2011; SQUIRE, 1989).

Em síntese, a memória declarativa pode ser recordada, tornando-se memórias explícitas. Já as memórias implícitas (não-declarativas), apesar de envolverem o aprendizado que a pessoa já adquiriu, não costumam ser verbalizadas, isto é, não são explicitadas.

A partir dos estudos da memória, pesquisadores das áreas de Psicologia e Interação Humano-Computador propuseram modelos cognitivos com o objetivo

principal de descrever o processamento da informação humana em sistemas computacionais.

Os principais modelos cognitivos encontrados na literatura especializada sobre estudos da memória são apresentados na Tabela 4, a fim de buscar embasamento teórico para propor um modelo cognitivo de avaliação da aquisição de conhecimento do aprendiz por meio de AVAs 3D.

Tabela 4 – Principais Modelos Cognitivos

Autores	Abordagem	Foco
Atkinson e Shiffrin (1968)	Modelo clássico	Estudos da memória
Wickens <i>et al.</i> (2004)	Apresenta os principais estágios do processamento da informação humana	Fatores Humanos
Rasmussen (1983)	Modelo SRK (<i>Skills, Rules, Knowledge</i>) – descreve três níveis de controle cognitivo que pode ser usado durante a execução de uma tarefa	Fatores Humanos, Erro Humano
Chapanis (1999)	Apresenta os principais estágios do processamento da informação humana	Fatores Humanos, Erro humano, <i>Design</i> Industrial
Norman (1988)	Modelo da ação humana baseado na Teoria da Ação ⁷ , que objetiva orientar o <i>designer</i> a entender o processo pelo qual o usuário interage com a interface do sistema	<i>Design</i> de interação

Fonte: Autor

Em geral, todos esses modelos cognitivos procuram expressar como os processos cognitivos humanos atuam na interação com o sistema para produzir conhecimento a partir dos estímulos de entrada. Com tais modelos, é possível realizar experimentos e fazer previsões sobre o grau de dificuldade dos usuários em aprenderem a usar os sistemas e reterem este conhecimento durante o tempo necessário, objetivando principalmente diminuir erros em uso de sistemas computacionais (PREECE, 2005).

No entanto, não foi encontrado nenhum modelo cognitivo para avaliação da aquisição de conhecimento. Deste modo, este capítulo apresenta, de forma mais detalhada, apenas o modelo cognitivo clássico proposto por Atkinson e Shiffrin

⁷ A Teoria da Ação determina que a interação usuário-sistema deve ser feita através de um ciclo de ações. Esse ciclo se divide em dois Golfos, o Golfo de Execução (Formulação da Intenção, Especificação da Sequência das Ações, Execução) e o Golfo de Avaliação (Percepção, Interpretação, Avaliação) (NORMAN, 1988).

(1968) e o modelo cognitivo defendido por Wickens *et al.* (2004), pelo fato desses dois modelos mais se aproximarem do foco deste trabalho de pesquisa.

2.3.2. Modelo cognitivo de Atkinson e Shiffrin (1968)

Atkinson e Shiffrin (1968) desenvolveram um modelo cognitivo clássico, baseado nos estudos da memória. Este modelo cognitivo se encontra ilustrado na Figura 6 e envolve uma sequência de três estágios: registro sensorial (Memória Sensorial), memória de curto termo (Memória de Curto Prazo) e memória de longo termo (Memória de Longo Prazo). A informação flui a partir dos estímulos do ambiente, consideradas como parte do sistema de percepção, que tem uma capacidade limitada para armazenar em curto prazo. Os pesquisadores propuseram que quanto mais uma informação reside na Memória de Curto Prazo, maior a probabilidade de sua transferência para a MLP (BADDELEY, 2004).

Figura 6 - Modelo cognitivo de Atkinson e Shiffrin (1968)

Fonte: adaptado de Baddeley (2004)

No entanto, até o início dos anos 1970 o modelo tinha se deparado com dois questionamentos. Um deles tratava da hipótese da aprendizagem, pois evidências mostraram que apenas armazenar a informação por mais tempo na MCP não garantiria a aprendizagem. E que muito mais importante seria a transformação pela qual a informação passa dentro da memória, isto é, uma palavra ou uma experiência processada de forma mais profunda, elaborada com o conhecimento prévio, é susceptível a ser muito melhor conservada na MLP do que aquela informação que recebe apenas uma análise superficial (BADDELEY, 2004).

O segundo questionamento foi em relação à necessidade ou não da MCP. Embora os resultados dos experimentos realizados com pacientes que apresentavam algum dano cerebral levassem a uma dissociação entre a MCP e MLP, o modelo cognitivo defendido por Atkinson e Shiffrin (1968) assumiu que esta memória era necessária, de fato, crucial, para a aprendizagem de longo prazo, e certamente para muitas outras atividades cognitivas (BADDELEY, 2004).

Buscando comprovar tal necessidade, foi realizada uma série de experimentos que tentou bloquear a MCP em indivíduos normais, obrigando-os a memorizar uma sequência de dígitos, já em outras tarefas que envolviam aprendizagem, raciocínio ou compreensão, assumiu-se a dependência da MCP. No entanto, mesmo em uma simples tarefa de memorização, os dados dos experimentos mostraram a necessidade da MCP, pois conforme se aumentava o número de dígitos da sequência, a memorização se tornava mais dispendiosa, sugerindo que a MCP e MLP deveriam interagir entre si (BADDELEY, 2004).

Dessa forma, o conceito de uma MCP simples e unitária foi substituído por um sistema mais complexo, denominado “memória de trabalho” de modo a enfatizar a sua importância funcional no processamento cognitivo, compreendendo um controlador de atenção, codificação das informações, estratégias de recuperação, autorrepetição, tomada de decisão, entre outros recursos de controle cognitivo (BADDELEY, 2004).

2.3.3. Modelo cognitivo de Wickens *et al.* (2004)

Wickens *et al.* (2004) apresentaram um modelo cognitivo que descreve os principais estágios do processamento da informação humana e se encontra ilustrado na Figura 7.

Pressupõe-se que em cada etapa do processamento, a informação é modificada pelos seguintes processos cognitivos envolvidos: memória sensorial, percepção, atenção, memória de trabalho (MCP), memória de longo termo (MLP) e tomada de decisão. Dessa forma, entre os estímulos recebidos do ambiente e as respostas geradas, esses processos cognitivos são os mediadores.

Cada componente do modelo representa um estágio do processamento da informação. Wickens *et al.* (2004) explicam que os componentes denominados memória sensorial e percepção representam a codificação perceptual dos estímulos

recebidos do ambiente. Enquanto a memória sensorial recebe, transforma e transmite informações do mundo externo, o módulo de percepção dá sentido à informação sensorial. O processo de percepção transfere o estímulo do mundo externo em representações que podem ser operadas por processos cognitivos, sendo a consequência mais direta dos recursos de atenção.

Figura 7 - Modelo cognitivo de processamento da informação humana

Fonte: adaptado de Wickens *et al.* (2004)

Os sentidos da visão, audição e tato são os principais meios do processamento sensorial e qualquer interferência ou limitação em um desses sistemas sensoriais influencia na qualidade e na quantidade da informação. O resultado dos estímulos dos receptores sensoriais nos olhos, ouvidos, na pele (tátil) etc, gera uma sensação que é registrada na memória sensorial. Já a percepção envolve o processamento desta sensação e a tradução dela em uma experiência organizada, mas são processos muito ligados. Por exemplo, uma luz pode ser um estímulo do mundo externo, cujo meio de processamento sensorial é a visão; o receptor deste estímulo são os olhos e a percepção do estímulo registrado na memória sensorial poderia ser a intensidade da luz, o que leva a identificação da fonte, resultando em uma resposta (WICKENS *et al.*, 2004).

Assim que o estímulo for percebido e categorizado, o módulo de percepção pode receber uma informação advinda diretamente da Memória de Longo Prazo ou passar diretamente ao módulo de decisão e seleção de resposta e, em

seguida, executar a resposta selecionada ou ainda necessitar de um processamento mais apurado.

Ainda de acordo com Wickens *et al.* (2004) o processamento envolve os módulos de recursos de atenção do indivíduo, o processo de tomada de decisão e a seleção da resposta adequada. O módulo de decisão e seleção de resposta interage diretamente com a memória de trabalho, cuja função é armazenar as informações temporariamente para os processos mentais superiores efetuarem transformações e armazenarem na MLP, que representa o conhecimento adquirido. Esta interação ocorre até que uma resposta seja selecionada e executada, retornando um *feedback* aos estímulos recebidos do ambiente.

2.4. ARQUITETURAS COGNITIVAS

Modelos cognitivos podem ser construídos usando arquiteturas cognitivas. Uma arquitetura cognitiva possui dois significados: i) especificação dos principais módulos e mecanismos inerentes à cognição humana; ii) implementação de programas computacionais dessas especificações. São significados separados, mas sem distinção (BEGOSSO, 2005).

Portanto, as arquiteturas oferecem uma plataforma para implementar modelos cognitivos e manter uma coerência entre eles, mas também são consideradas modelos cognitivos, o que justifica o fato da Revisão Sistemática conduzida ter obtido como resultado da pesquisa as arquiteturas cognitivas.

A implementação computacional de modelos de cognição humana tem sido uma abordagem cada vez mais popular nas áreas de Interação Humano-Computador, Automação, Sistemas Inteligentes e Processos Industriais, devido ao poder computacional em simular o processamento da informação humana. As finalidades dessas implementações são compreender como as pessoas interagem com tecnologias avançadas, identificar e prever execução de riscos e erros, compreender como e porque os erros ocorrem, avaliar a carga cognitiva individual, determinar quais modelos e papéis são apropriados a cada estilo cognitivo, entre outras (CARRUTH *et al.*, 2006; TRAN *et al.*, 2007).

Considerando os estudos selecionados na condução da RS da literatura, as arquiteturas cognitivas encontradas são ACT-R (*Atomic Components of Thought-Rational*), Soar (*State, Operator and Result*), MIDAS (*Man-machine Integration*

Design and Analysis System), EPIC (*Executive Processes Interactive Control*) e Miace (CARRUTH *et al.*, 2006; PEW, 2007; TRAN *et al.*, 2007). Um resumo da cronologia das arquiteturas cognitivas que se destacam na literatura é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Cronologia das principais arquiteturas cognitivas

Fonte: adaptada de Pew (2007)

Este resumo cronológico apresenta também as principais teorias que serviram de base para a construção das arquiteturas cognitivas, como as teorias de Percepção e Comunicação, Resolução de Problemas, Psicologia Cognitiva e GOMS (*Goals, Operators, Methods, and Selection Rules*). Esta última é um tipo de modelo de processador da informação humana para observação da Interação Humano-Computador. O modelo GOMS foi proposto em 1983 por Card, Moran e Newell (1983). Outras arquiteturas seguindo o modelo GOMS evoluíram e são muito utilizadas na comunidade de IHC na área de Engenharia de Usabilidade, como por exemplo, a arquitetura cognitiva EPIC.

Dada a importância das arquiteturas cognitivas nesta pesquisa, as próximas subseções apresentam as arquiteturas que representam o estado da arte atual nesta área, evidenciando que tais arquiteturas focam no aprendizado do usuário em relação à interação humano-computador.

2.4.1. ACT-R – Adaptive Control of Thought-Rational

A arquitetura cognitiva *Adaptive Control of Thought-Rational* (ACT-R)⁸ surgiu dos trabalhos do grupo de pesquisa de John R. Anderson⁹ em estudos de simulações de memória e tem sido amplamente usada para modelar os diferentes aspectos do comportamento cognitivo humano, mais notadamente em memória associativa humana. Desde então, o autor tem dedicado suas pesquisas a buscar uma teoria de cognição humana com ênfase na aquisição de conhecimento, que seja capaz de ser representada em uma simulação computacional (PEW, 2007).

A arquitetura ACT-R é a sucessora da arquitetura ACT (*Adaptive Control of Thought*) que começou a ser desenvolvida em 1976 (ANDERSON, 1976). A primeira versão da ACT, divulgada em 1983, contou com os créditos de Alan Newell e Herbert Simon, que foram os precursores da Teoria de Resolução de Problemas e estimularam o interesse de Anderson em implementar regras de produção para representar o conhecimento na forma computacional (ANDERSON, 1983; NEWELL, 1990).

A arquitetura ACT-R 6.0 se encontra atualmente na versão 1.5 e de acordo com Budiu (2011), suas aplicações são direcionadas principalmente a:

- Interação Humano-Computador - para produzir modelos de usuários que possam avaliar diferentes interfaces de computador;
- Educação (sistemas tutores cognitivos) - para “adivinhar” as dificuldades que os alunos possam ter e oferecer ajuda personalizada;
- Forças geradas por computador - para fornecer aos agentes cognitivos que habitam ambientes de treinamento;
- Neuropsicologia - para interpretar dados de fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*).

A arquitetura ACT-R apresenta como principais componentes: i) módulos visual, motor e memórias; ii) *buffers* (memória de trabalho); iii) componente central do sistema de produção (relação padrão e execução), os quais estão representados graficamente na Figura 9.

Os módulos **visual** e **motor** recebem os dados do **ambiente**, atuando como uma interface com o mundo real. A Memória de Longo Prazo se divide em dois

⁸ <http://act-r.psy.cmu.edu/>

⁹ <http://rumelhartprize.org/john.htm>

módulos, **memória declarativa** e **memória procedural**. A memória declarativa consiste de fatos, os quais são codificados em *chunks*¹⁰ de memória, enquanto que a procedural diz respeito a como usar o conhecimento adquirido, codificado em regras de produção, que representam o conhecimento necessário para resolver um problema (BUDIU, 2011).

Figura 9 - Arquitetura ACT-R

Fonte: adaptada de Budiu (2011)

A arquitetura ACT-R usa uma estrutura de **buffers (memória de trabalho)** para fazer a interface entre os módulos e seu conteúdo. Em um dado momento representa o estado atual da ACT-R (BUDIU, 2011).

O componente “**relação padrão**” faz uma busca a uma regra de produção no módulo **execução**, correspondente ao estado atual dos **buffers**. Apenas uma regra de produção pode ser executada em um determinado momento. Esta produção, quando executada, pode modificar os **buffers** e, então, mudar o estado do sistema. Assim, o conhecimento se desenrola como uma sucessão de disparos de regras de produção (BUDIU, 2011).

Em síntese, o objetivo principal da arquitetura ACT-R é descrever como as pessoas adquirem e organizam o conhecimento para produzir um bom desempenho, a partir de um amplo leque de tarefas cognitivas de complexidade baixa a elevada (ANDERSON, 1990).

¹⁰ “*Chunks* são elementos básicos de memória declarativa e são definidos por duas características: **tipo ou categoria** (por exemplo, carro) e **slot ou atributo** da categoria (por exemplo, cor, modelo, ano do carro). Eles representam o conhecimento que um indivíduo possui para a resolução de um problema” (Begosso, 2005).

O modelo de aprendizagem é escrito como um sistema de regras de produção "se-então", que são capazes de gerar múltiplas soluções e detectar erros. Um exemplo simples é apresentado como uma parte de um sistema de produção ACT-R para solução de uma equação algébrica (PELLEGRINO; CHUDOWSKY e GLASER, 2001).

Regra: Se o objetivo é solucionar a equação $a(bx + c) = d$
Então reescreva desta forma: $bx + c = d/a$

Regra: Se o objetivo é solucionar a equação $a(bx + c) = d$
Então reescreva desta forma: $abx + ac = d$

Bug da regra: Se o objetivo é solucionar a equação $a(bx + c) = d$
Então reescreva desta forma: $abx + c = d$

Este exemplo mostra que o modelo cognitivo consiste de várias regras, sendo algumas verdadeiras e outras falsas e suas inclusões são baseadas em estudos empíricos sobre o desempenho do estudante na resolução de uma determinada tarefa.

2.4.2. Soar - State, Operator and Result

Soar¹¹ é uma arquitetura cognitiva genérica que tem como objetivo principal produzir sistemas inteligentes expressos na forma de sistemas de produção. Esta arquitetura cognitiva vem sendo utilizada desde 1983, evoluiu em muitas versões diferentes, estando atualmente na versão 9.3.2.

A teoria Soar originou-se, inicialmente, nos trabalhos de pesquisa de Alan Newell e Herbert Simon, os precursores da Teoria de Resolução de Problemas, com a contribuição dos pesquisadores John Laird e Paul Rosenbloom, sendo estabelecida na comunidade científica em 1983 (PEW, 2007). Vem sendo usada por pesquisadores das áreas de Inteligência Artificial, Ciência Cognitiva e outras áreas correlatas para modelar diferentes aspectos do comportamento humano, produzindo pesquisas destinadas à implementação de sistemas inteligentes que interagem de forma autônoma em ambientes virtuais complexos (LAIRD; CONGDON e COULTER, 1998).

As principais metas da arquitetura cognitiva Soar são apresentadas por Laird, Congdon e Coulter (1998):

¹¹ <http://sitemaker.umich.edu/soar/home>

- funcionar em toda a gama de tarefas esperadas por um agente inteligente;
- representar e usar formas adequadas de conhecimento, tais como procedural, declarativo, episódico e eventualmente icônico;
- empregar toda a gama de métodos de resolução de problemas;
- interagir com o mundo exterior;
- aprender sobre todos os aspectos das tarefas e seu desempenho nas tarefas.

A estrutura de memória da arquitetura Soar apresenta princípios semelhantes à da arquitetura ACT-R, como a divisão da memória em dois tipos: a **memória de longo prazo** e a **memória de trabalho**. Na Soar, a Memória de Longo Prazo armazena o conhecimento procedimental, semântico e episódico e a memória de trabalho corresponde ao módulo *buffer* da arquitetura ACT-R (COELHO, 2008).

Um estudo apresentado por Faria (2006) afirma que a arquitetura Soar busca esforços em aproximá-la de um comportamento racional. Para tal, a base do projeto consiste de:

Uma estrutura simples para todas as tarefas e subtarefas (espaço de problemas), uma representação simples do conhecimento permanente (regras de produção), uma representação simples para o conhecimento temporário (objetos com atributos e valores), um mecanismo simples para gerar metas (subprojetos automáticos) e um mecanismo simples de aprendizagem (*chunkins*) (FARIA, 2006).

Para interagir com um ambiente externo, a arquitetura faz uso de mecanismos que lhe permitem receber informações de entrada a partir do ambiente e efetuar as mudanças esperadas. Os mecanismos previstos na Soar são chamados de funções de entrada (adiciona e exclui elementos da memória de trabalho em resposta às mudanças no ambiente externo) e funções de saída (esforço para efetuar mudanças no ambiente externo) (LAIRD; CONGDON e COULTER, 1998). Um esquema do funcionamento da arquitetura Soar está representado na Figura 10.

De acordo com Begosso (2005, p. 29), o resultado final da execução de um modelo cognitivo implementado na arquitetura Soar pode ser obtido de duas formas:

[...] o usuário codifica o estado final desejado e aguarda o final da execução de modo a verificar a solução encontrada pelo sistema; ou o modelo é executado durante um período de tempo e o modelador interrompe-o objetivando avaliar a saída proporcionada pelo Soar (BEGOSSO, 2005, p. 29).

Figura 10 - Arquitetura Soar

Fonte: adaptada de Laird, Congdon e Coulter (1998)

Esses modelos implementados com a arquitetura cognitiva Soar podem, por exemplo, controlar um robô para receber estímulos sensoriais e enviar comandos de saída, como pode também interagir com ambientes simulados, como em um simulador de voo (LAIRD; CONGDON e COULTER, 1998).

2.4.3. EPIC – *Executive Process-Interactive Control*

A arquitetura cognitiva EPIC (*Executive Process-Interactive Control*)¹² foi proposta por Kieras e Meyer (1997) com o objetivo principal de construir modelos de comportamento humano. A EPIC foi introduzida por Card, Moran e Newell (1983) com o propósito de analisar o desempenho de usuários em sistemas computacionais, aplicado principalmente em contextos de domínio dos usuários (PEW, 2007).

A EPIC funciona de forma similar ao modelo de processador humano GOMS (*Goal, Operators, Methods and Selection Rules*). O GOMS é utilizado para descrever como uma tarefa deve ser realizada em termos de objetivos, operadores,

¹² <http://www.umich.edu/~bcalab/epic.html>

métodos e regras de seleção, levando em consideração o conhecimento do usuário. Os **objetivos** (*goals*) representam a tarefa a ser realizada pelo usuário, os **operadores** (*operators*) são primitivas internas (cognitivas) ou externas (ações concretas que a ferramenta permite que os usuários façam), os **métodos** (*methods*) são as sequências conhecidas para se alcançar o objetivo principal da tarefa e as **regras de seleção** (*selection rules*) são necessárias quando há mais de um método para atingir um mesmo objetivo e representam a tomada de decisão do usuário sobre qual método utilizar num determinado contexto (KIERAS, 2003).

A arquitetura EPIC apresenta um processador cognitivo que consiste de: i) um intérprete de regras de produção que recebe os conteúdos armazenados na memória de produção e memória de longo prazo e ii) memória de trabalho que envia e recebe informações do intérprete de regras de produção, para então escolher qual regra de produção será disparada. As ações da regra de produção disparada modificam o conteúdo da memória de trabalho ou instruem os processadores motores a realizarem movimentos, como ilustra a Figura 11 (KIERAS, 2007).

A arquitetura EPIC também apresenta o módulo Ambiente de Tarefa, que representa o ambiente externo, podendo este ser um ambiente simulado ou um dispositivo. À direita na Figura 11 encontra-se o humano simulado, além de um conjunto de processadores interligados que operam simultaneamente e em paralelo (KIERAS, 2007).

Os processadores auditivos, visuais e táteis enviam para a memória de trabalho as informações da situação perceptual corrente, os processadores motores executam as respostas das atividades motoras previamente estabelecidas pelo processador cognitivo, com a finalidade de controlar as mãos, o mecanismo da fala e movimentos dos olhos e também enviam as informações do estado atual dos processadores à memória de trabalho (KIERAS, 2007).

Os processadores são executados em paralelo uns com os outros, inclusive o módulo Ambiente de Tarefa, que apesar de ser um módulo separado, também é executado em paralelo (KIERAS, 2007).

Figura 11 - Arquitetura EPIC - o ambiente simulado ou dispositivo está à esquerda e o humano simulado à direita

Fonte: adaptada de Kieras (2007)

Kieras e Meyer (1997) salientam que o foco da arquitetura EPIC está nos estudos da limitação da capacidade perceptiva e motora do indivíduo, buscando fornecer uma previsão estatística do desempenho humano na realização de uma tarefa, como também o tempo necessário para concretizá-la e a sequência de ações a ser executada. Para atingir este foco, um modelo cognitivo deve ser descrito, e para implementação desse modelo na arquitetura EPIC, é necessário fornecer ao sistema: i) um conjunto de regras de produção para representar a tarefa a ser simulada; ii) as características físicas dos objetos do ambiente e iii) um conjunto de propriedades que instanciam a tarefa.

Ainda de acordo com Kieras e Meyer (1997), a arquitetura cognitiva EPIC não modela processos cognitivos de aprendizagem. Mas Leiden *et al.* (2011) afirmam que a EPIC mantém a sua relevância entre as arquiteturas cognitivas encontradas na literatura, principalmente na área de prevenção de erro humano, por permitir explorar as limitações do indivíduo no modo pelo qual ele utiliza os sistemas

perceptivo e motor e como faz uso desses sistemas para sustentar atividades de pensamento e tomada de decisão.

2.4.4. MIDAS - *Man-machine Integration Design and Analysis System*

O desenvolvimento da arquitetura cognitiva MIDAS (*Man-Machine Integration Design and Analysis System*)¹³ teve início em 1985, por interesse do Exército dos EUA e da NASA durante a articulação do Programa de Integração Exército-NASA Aircrew¹⁴/Aircraft, tendo como objetivo principal explorar as representações computacionais de desempenho humano-computador para auxiliar *designers* de sistemas de navegação aérea (LEIDEN *et al.*, 2001; NASA-AMES, 2011 e PEW, 2007).

MIDAS é uma ferramenta projetada para avaliar a interação humano-computador em equipamentos ou sistemas complexos e dinâmicos, desde o início do ciclo de vida do projeto, buscando minimizar custo e tempo de treinamento e procurando expor o potencial de dificuldades da tripulação durante a interação com os sistemas de navegação, que é o foco principal da arquitetura MIDAS (NASA-AMES, 2011).

A arquitetura geral da MIDAS está ilustrada na Figura 12, na qual é apresentado um conjunto de módulos de *software*, editores e ferramentas de análise, todos integrados, com uma arquitetura baseada na teoria de agentes-atores (NASA-AMES, 2011).

O comportamento dos operadores dentro de uma simulação MIDAS é impulsionado por um conjunto de entradas do usuário, especificando objetivos do operador, procedimentos para atingir esses objetivos e conhecimento declarativo apropriado para uma dada simulação. Essas estruturas de conhecimento interagem e são moderadas pelos modelos incorporados de percepção para extrair informações a partir do mundo modelado e modelos incorporados de cognição para a gestão dos recursos, memória e ações (NASA-AMES, 2011).

¹³ <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/midas/>

¹⁴ Aircrew - pessoal que opera uma aeronave durante o voo (<http://en.wikipedia.org/wiki/Aircrew>).

Figura 12 - Arquitetura geral MIDAS

Fonte: adaptada de Nasa-Ames (2011)

Embora a arquitetura MIDAS simule o comportamento humano, a estrutura não se destina a ser uma "teoria unificada da cognição", como nas arquiteturas Soar e ACT-R (LEIDEN *et al.*, 2001).

Como um programa de desenvolvimento exploratório, a arquitetura progrediu caracterizando cinco fases de desenvolvimento, cada qual culminando em versões diferentes e separadas. Todas as versões da arquitetura contêm representações do cognitivo humano, operações perceptuais e motoras a fim de simular o comportamento humano. Esses modelos descrevem (dentro de seus limites de exatidão) as respostas que podem ser esperadas de um operador humano interagindo com sistemas dinâmicos (NASA-AMES, 2011).

O componente cognitivo é composto de um mecanismo de percepção (visual e auditiva), memória, tomada de decisão e uma arquitetura de seleção de resposta. A complexa interação entre os processos permitem o surgimento de imprevistos, mas não comportamentos programados (NASA-AMES, 2011).

Embora MIDAS fundamentalmente continue a ser uma arquitetura de pesquisa que busca contribuir para o avanço de modelagem do desempenho humano, a ênfase desta arquitetura está em implementar modelos de controle de processo de tráfego aéreo (NASA-AMES, 2011).

2.4.5. Miace

Miace é uma arquitetura cognitiva que permite descrever por meio de modelos cognitivos como um estudante adquire, codifica e usa o conhecimento. O nome Miace é um acrônimo francês para modelo computadorizado de aquisição de conhecimento do estudante (MAYERS; BERNARD e FRASSON, 2001).

Um protótipo da arquitetura Miace foi implementado e divulgado na comunidade científica por Mayers, Bernard e Frasson (2001), desenvolvido dentro do paradigma psicológico de processamento da informação, o qual apresenta o cérebro como um processador da informação.

A arquitetura Miace segue a abordagem da aprendizagem cognitiva, com o objetivo de modelar a aprendizagem do estudante por meio de um ambiente computacional. A modelagem da aprendizagem é realizada por meio de uma estrutura de memória similar às arquiteturas ACT-R e Soar, pois apresenta princípios semelhantes, como a divisão da memória em memória de longo prazo e memória de trabalho e as atividades cognitivas distinguem-se entre as memórias declarativa, procedural e episódica (MAYERS; BERNARD e FRASSON, 2001).

Do ponto de vista da aprendizagem, a arquitetura Miace revelou-se interessante porque os conhecimentos declarativo e procedural apresentam um padrão que pode ser verificável, bem como as atividades realizadas durante o aprendizado (MAYERS; BERNARD e FRASSON, 2001).

Um professor pode, por exemplo, usar Miace para compreender as múltiplas interações cognitivas necessárias para a realização de uma tarefa. Em um contexto de Sistema Tutor Inteligente (STI), a arquitetura Miace pode ser usada para explicar as transformações do conhecimento do aluno. Um dos desafios da arquitetura foi construir um agente capaz de aprender uma disciplina como um ser humano, buscando simular a inteligência humana com a ajuda de um computador (MAYERS; BERNARD e FRASSON, 2001).

Embora a arquitetura Miace tenha contribuído no campo de pesquisa das arquiteturas cognitivas, observa-se na literatura que esta arquitetura não se consolidou cientificamente, visto que se estagnou. Mayers¹⁵ e seus colegas afirmam que, apesar de continuarem a desenvolver pesquisas no campo da ciência cognitiva, os modelos cognitivos têm sido implementados na arquitetura cognitiva ACT-R, que

¹⁵ <http://www.usherbrooke.ca/sciences/personnel/informatique/professeurs/professeurs/andre-mayers/>

foi a inspiradora dos estudos da arquitetura Miace (MAYERS; BERNARD e FRASSON, 2001).

2.4.6. Comparação das Arquiteturas Cognitivas

O estado da arte em modelagem cognitiva força pesquisadores a escolher entre arquiteturas cognitivas que competem entre si e a aceitar os pontos fortes e fracos associados a cada arquitetura.

Tran *et al.* (2007) afirmam que não existe um modelo cognitivo perfeito que possa estimar a cognição humana por meio de um amplo leque de comportamentos humanos. Por exemplo, ACT-R e Soar são uma forte abordagem de modelagem cognitiva para compreender e prever erros de memória (por exemplo, deslizos, lapsos e erros), mas são limitadas para compreender a interação humano-computador em alto nível. A utilidade delas está no poder explicativo bem desenvolvido no que diz respeito ao comportamento cognitivo de baixo nível.

As arquiteturas cognitivas MIDAS e EPIC têm demonstrado serem abordagens eficazes em modelar a interação humano-computador e o comportamento humano, mas falta uma postura teórica forte para compreender como tais comportamentos emergem a partir de processos cognitivos de baixo nível para influenciar o comportamento (TRAN *et al.*, 2007).

Uma importante característica da ACT-R que a distingue de outras teorias no campo é que ela permite que os pesquisadores colem medidas quantitativas que podem ser diretamente comparadas com as medidas quantitativas obtidas dos participantes humanos (BUDI, 2011).

Considerando os estudos selecionados na condução da RS da literatura, a Tabela 5 apresenta um quadro comparativo entre as arquiteturas estudadas, proporcionando uma visão geral das principais características de cada arquitetura cognitiva.

Para sintetizar as principais abordagens que exploram modelos e arquiteturas cognitivas foi elaborado um resumo a partir dos estudos selecionados, como mostra a Tabela 6.

Tabela 5 – Arquiteturas Cognitivas – quadro comparativo

Arquiteturas		Processos		Estudos da Memória	Abordagem principal
ACT-R	cognitivo	perceptivo	motor	Wickens <i>et al.</i> (2004)	Aprendizagem cognitiva
EPIC	cognitivo	perceptivo	motor	Wickens <i>et al.</i> (2004)	Prototipação - modela a interação humano-computador e avalia o desempenho humano por meio de simulação
Miace	cognitivo			Wickens <i>et al.</i> (2004)	Aprendizagem cognitiva
MIDAS	cognitivo	perceptivo	motor		Prototipação - modela a interação humano-computador e avalia o desempenho humano por meio de simulação
Soar	cognitivo	perceptivo	motor	Wickens <i>et al.</i> (2004)	Aprendizagem cognitiva

Fonte: Autor

Tabela 6 – Resumo dos artigos incluídos na fase de RS

Referências	Aspectos Considerados
Fournier-Viger, Nkambou e Mayers (2008)	Faz referência às arquiteturas cognitivas ACT-R e Miace.
Juarez-Espinosa (2003)	Faz referência às arquiteturas cognitivas ACT-R e Soar.
Carruth <i>et al.</i> (2006); Cocea, HersHKovitz e Baker (2009); Gonzales, Lerch e Lebiere (2003); Juarez-Espinosa e Gonzales (2004); Juarez-Espinosa (2003); Taatgen <i>et al.</i> (2008); Thomas <i>et al.</i> (2007)	Apresentam implementação de modelos cognitivos para modelar a cognição humana em diferentes domínios e para tal utiliza a arquitetura cognitiva ACT-R, buscando integrá-la a ambientes virtuais dinâmicos.
Tran <i>et al.</i> (2007)	Apresenta um estudo comparativo entre as arquiteturas cognitivas ACT-R, MIDAS, Soar e EPIC.
Carruth <i>et al.</i> (2006); Cocea, HersHKovitz e Baker (2009); Fournier-Viger, Nkambou e Mayers (2008); Goebel e Vincze (2007); Juarez-Espinosa e Gonzales (2004); Juarez-Espinosa (2003); Kotranza <i>et al.</i> (2009); Tran <i>et al.</i> (2007); Thomas <i>et al.</i> (2007); Wang (2006)	Abordam combinação de modelos cognitivos e ambientes virtuais dinâmicos em diversos campos de conhecimento.

Fonte: Autor

Quantitativamente, observou-se que 58% dos trabalhos selecionados apresentam implementação de modelos cognitivos para compreender a cognição humana e para tal utilizam a arquitetura cognitiva ACT-R, envolvendo inclusive extensões e/ou adaptações dos módulos da ACT-R e integrando, principalmente, a implementação de modelos cognitivos a ambientes virtuais dinâmicos (CARRUTH *et al.*, 2006; COCEA, HERSHKOVITZ e BAKER, 2009; GONZALEZ, LERCH e LEBIERE, 2003; JUAREZ-ESPINOSA, 2003; JUAREZ-ESPINOSA e GONZALEZ, 2004; TAATGEN *et al.*, 2008; THOMAS *et al.*, 2007).

Salienta-se que dos trabalhos selecionados, 83% buscam integrar modelos cognitivos em ambientes virtuais 3D dinâmicos, tais como sistemas de controle de tráfego aéreo, interação humano-computador, ambiente de ensino-aprendizagem, voo baseado em instrumento, automação, entre outros (CARRUTH *et al.*, 2006; COCEA, HERSHKOVITZ e BAKER, 2009; FOURNIER-VIGER *et al.*, 2008; GOEBEL e VINCZE, 2007; JUAREZ-ESPINOSA, 2003; JUAREZ-ESPINOSA e GONZALEZ, 2004; KOTRANZA *et al.*, 2009; THOMAS *et al.*, 2007; TAATGEN *et al.*, 2008; TRAN *et al.*, 2007; WANG, 2006; WANG e ZHANG, 2009).

Considerando os resultados apresentados, não foi encontrada na literatura uma arquitetura cognitiva que seja adequada para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, uma vez que tais arquiteturas estão focadas no aprendizado do usuário em relação à interface do sistema, por meio da interação humano-computador.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados aos modelos cognitivos e estudos da memória, buscando subsidiar a construção do modelo de avaliação a ser empregado em AVAs 3D.

Com isto, foi possível identificar que os modelos cognitivos estabelecidos na literatura são geralmente construídos a partir do modelo clássico de memória proposto por Atkinson e Shiffrin (1968), que divide a memória em curto prazo e longo prazo. Sendo assim, os modelos cognitivos propostos por Chapanis (1999), Norman (1988), Rasmussen (1983), Wickens *et al.* (2004) e constituem a continuidade dos estudos da memória, porém com foco na representação do conhecimento na forma

computacional, com propósito de avaliar o desempenho humano durante a interação com sistemas computacionais.

Os resultados da RS apresentaram as arquiteturas cognitivas ACT-R, Soar, Miace, EPIC e MIDAS, idealizadas a partir de teorias cognitivas, como os estudos de Percepção e Comunicação, Teoria Geral de Resolução de Problemas, Psicologia Cognitiva e modelo GOMS. Porém, as arquiteturas têm como propósito implementar modelos cognitivos diversos que buscam avaliar o desempenho humano em tempo real, prever erros humanos em sistemas computacionais, obter estimativa de tempo na realização de uma tarefa, entre outras tarefas baseadas em modelagem cognitiva.

Observou-se também que as arquiteturas mais proeminentes são ACT-R e Soar, pois buscam modelar a cognição humana para identificar erros de memória na resolução de um problema, produzindo sistemas inteligentes. A ACT-R, por exemplo, tem sido amplamente usada para modelar tarefas cognitivas e destaca-se pela capacidade de aprendizagem e memória.

Salienta-se que as arquiteturas cognitivas ACT-R, Soar e EPIC estão embasadas em um conceito importante da área de Inteligência Artificial, os Sistemas de Produção, que são compostos por um conjunto de dados, um conjunto de regras de produção e um sistema de controle. Essas regras têm sido uma das maneiras mais utilizadas para representar o conhecimento computacionalmente.

Já a arquitetura MIDAS, apesar de ser uma arquitetura sofisticada na questão de prototipação rápida com objetivo principal de simular um sistema ou equipamento antes de sua implementação, tem como foco principal os sistemas de navegação aérea, por ser uma ferramenta de pesquisa de interesse da NASA.

Sendo assim, este capítulo reuniu conceitos relevantes da cognição humana, modelos e arquiteturas cognitivas, com intuito de buscar embasamento teórico para propor um modelo de avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, para posteriormente definir a arquitetura do sistema e implementá-la, como forma de coletar os dados necessários à avaliação da aprendizagem em AVAs 3D.

O próximo capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da Revisão Sistemática realizada com base na segunda questão de pesquisa, a qual tem como propósito investigar na literatura quais são os métodos existentes para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs desenvolvidos com técnicas de RV e RA.

3. AVALIAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO EM AVAS 3D

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como propósito apresentar o estado da arte sobre os métodos de avaliação de aquisição de conhecimento em AVAs 3D, buscando identificar se os trabalhos desenvolvidos com a finalidade de ensinar ou ação similar se preocupam em avaliar a aquisição de conhecimento e quais os métodos que têm sido aplicados.

Para cumprir tal proposta foi realizada uma Revisão Sistemática que buscou identificar se os AVAs desenvolvidos a partir de técnicas de RV e RA estão incorporando métodos de avaliação do conhecimento, buscando verificar se, de fato, esses ambientes colaboram com a aprendizagem.

A revisão do estado da arte procurou também verificar na literatura se existe algum método que avalie, de forma automática, o nível de aquisição de conhecimento do aprendiz em AVAs 3D, visando subsidiar o desenvolvimento do método de avaliação proposto neste trabalho.

3.2. PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Esta seção apresenta os resultados da RS referentes à segunda questão de pesquisa – Quais são os métodos existentes para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs desenvolvidos com técnicas de RV e RA? A primeira questão de pesquisa já foi abordada no capítulo 2.

Para responder a esta questão empregou-se as seguintes *strings*, variando-se as bases de dados IEEE, ACM e *ISI Web of Knowledge*:

- i) *“virtual reality” and “knowledge acquisition”*;
- ii) *“virtual environment” and “knowledge evaluation” and “knowledge acquisition”*;
- iii) *“augmented reality” and “cognitive models”*;
- iv) *(“augmented reality” or “virtual reality”) and “cognitive models”*;
- v) *(“virtual reality” or “augmented reality”) and “knowledge acquisition” and “assessment”*;
- vi) *(“virtual reality” or “augmented reality”) and “knowledge acquisition” and “assessment” and “cognitive theories”*;

vii) *"virtual reality" and "assessment" and "knowledge acquisition" and "cognitive theories"*;

viii) *"virtual reality" and "interactive learning environments"*;

ix) *"virtual environment" and "user performance" and "knowledge assessment"*;

x) *"virtual environment" and "knowledge structure" and "learning styles"*.

Durante o processo de seleção preliminar foram definidos os trabalhos incluídos e excluídos da RS, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo (Apêndice A), e documentados nos formulários de condução da RS. Deste modo foram pré-selecionados 47 trabalhos, sendo 17 trabalhos incluídos na RS e sumarizados na Tabela 7.

Os formulários de condução da RS estão disponíveis em http://www.interlab.pcs.poli.usp.br/formulario_conducao_rs_eunice_nunes.zip.

Tabela 7 – Resultado de condução da Revisão Sistemática (questão de pesquisa 2 – artigos incluídos)

Id	Fonte	Tipo de Ambiente	Abordagem	Método de Avaliação da Aprendizagem
1	Chen e Wechsler (2007)	AVA 3D que explora Interação Inteligente Humano Computador (IIHC)	Cognição Aumentada e Computação Afetiva para personalizar o ambiente conforme as preferências dos usuários.	Provas objetivas com dificuldades graduais definidas em função do número de acertos dos alunos
2	Greitzer; Kuchar e Huston (2007)	Jogos Sérios	Descrevem princípios cognitivos e como podem ser aplicados em jogos sérios. Como exemplo, CyberCIEGE, que fornece treinamento <i>on-line</i> sobre segurança de redes de computadores, com base em jogos.	--
3	Gutierrez <i>et al.</i> (2007)	AVA 3D - cenário clínico virtual de um acidente automobilístico	Diferença de aprendizado entre sistemas de RV imersivos e semi-imersivos	Questionários pré e pós-treinamento
4	Morganti; Carassa e Geminiani (2007)	AVA 3D	Avaliação da habilidade espacial em AVA 3D por meio de tarefas que envolvem reconhecimento espacial	Tarefas realizadas pós-teste
5	Stankiewicz e Kalia (2007)	AV 3D	Avalia como os usuários gravam as informações contidas em <i>landmarks</i> e como essas informações persistem na memória	--

6	Watanuki e Kojima (2007)	AVA 3D para treinamento profissional de projeto de fundição	Desenvolvimento baseado na aquisição de conhecimento e no sistema de treinamento profissional para projeto de fundição	---
7	Francesco <i>et al.</i> (2008)	Jogos	Mecanismos de jogos para melhorar a aquisição de conhecimento em mundos virtuais	--
8	Sánchez e Salinas (2008)	Videogame móvel	Uso de <i>videogames</i> móveis para guiar a visita de um grupo de alunos em um museu (jogo <i>Museum</i>) e estudo da evolução de espécies biológicas (jogo <i>Evolution</i>) – estudo comparativo	Teste de resolução de problemas pós-treinamento
9	Huang; Chen e Chen (2010)	AVA 3D para ensino e treinamento médico	AVA 3D com propósito de ensinar anatomia humana e como cuidar de um paciente	Questionário pós-treinamento
10	Toro-Troconis <i>et al.</i> (2010)	Jogos Sérios	Sistema “ <i>Virtual Patients</i> ” simula cenários clínicos da vida real em 3D com atividades de aprendizagem baseadas em jogos	Questões de múltipla escolha
11	Mikropoulos e Natsis (2011)	AVAs 3D aplicações educacionais	– Revisão crítica de dez anos (1999-2009) de pesquisa empírica sobre aplicações educacionais em ambientes de Realidade Virtual	--
12	Yap (2011)	AVA 3D aplicações educacionais	– <i>Second Life</i> foi usado como AVA 3D para ensinar tópicos relacionados ao cibercrime durante uma semana de <i>e-learning</i> promovida pela Universidade	--
13	Lambropoulos e Mystakidis (2012)	AVAs 3D aplicações educacionais colaborativas	– Uso do ambiente virtual <i>Second Life</i> de forma colaborativa, com propósito de acelerar a aprendizagem	--
14	Leftheris <i>et al.</i> (2012)	Jogos Sérios	Aplicação de um AVA 3D baseado em um jogo colaborativo, com propósito de responder às questões de pesquisa sobre o progresso da aprendizagem	Questões de múltipla escolha inseridas no próprio ambiente como parte do contexto do jogo
15	Hafner <i>et al.</i> (2013)	AV 3D	Com foco nas formas de interação, investiga o efeito de diferentes tipos de movimento e níveis de imersão no desempenho da memorização em ambientes virtuais 3D	Questionário pós-treinamento

16	Lin <i>et al.</i> (2013)	AVA 3D x AVA 2D – aplicações educacionais	Investiga se um AVA 3D com uso de RA, colaborativo e móvel, afeta mais ou menos a construção do conhecimento dos alunos e o desempenho da aprendizagem em relação a um AVA 2D	Questionários pré e pós-treinamento
17	Cheng (2014)	AVAs 3D – aplicações educacionais	Investiga os estilos de aprendizagem dos alunos acerca da aceitação e atitudes em relação ao uso do ambiente virtual <i>Second Life</i> como AVA 3D	--

Fonte: Autor

Considerando a síntese dos artigos incluídos durante o processo de RS, serão apresentadas nas próximas subseções as contribuições desses trabalhos, buscando destacar o objetivo principal, os resultados obtidos e se foi aplicado algum método de avaliação na aprendizagem. A apresentação dos trabalhos foi dividida em dois tipos de ambiente – AVAs 3D baseados em jogos e AVAs 3D com abordagens diversas.

3.2.1. AVAs 3D com uso de jogos

Os jogos com interfaces tridimensionais têm se destacado na área educacional. Como exemplo, tem-se o trabalho de Toro-Troconis *et al.* (2010) aplicado na área médica. Os autores desenvolveram atividades de aprendizagem baseadas em jogos, tendo como objeto de estudo pacientes virtuais no *Second Life*. O “*Virtual Patients*” é um dos modelos desenvolvidos para apoiar o fornecimento de ensino clínico, sendo uma simulação de computador interativa de cenários clínicos da vida real com propósito de treinamento médico, educação ou avaliação. Como método de avaliação das atividades de aprendizagem exploradas no ambiente, utilizaram questões de múltipla escolha dispostas em um quadro interativo.

Um estudo considerando a hipótese de que a combinação de *videogame* e mobilidade pode favorecer o desenvolvimento de habilidades na resolução de problemas é proposto por Sánchez e Salinas (2008). Para tal, uma metodologia pedagógica personalizada, baseada no uso de *videogames* móveis na aprendizagem de conteúdos da disciplina de Ciências em uma turma da oitava série foi projetada, implementada e avaliada.

A metodologia proposta por Sánchez e Salinas (2008) incluiu o projeto de dois ambientes para *videogames* móveis (“*Museum*” e “*Evolution*”), a serem utilizados em duas etapas. Na primeira etapa os alunos visitaram um museu, tendo em mãos um *videogame* móvel, no qual foi disponibilizado o jogo *Museum*. Esse jogo tinha como objetivo guiá-los durante a visita e apresentava enigmas a serem resolvidos durante a visita. O *Museum* tem três ambientes distintos: a) um ambiente para perguntas a serem respondidas durante a visita; b) informações multimídia complementares às que são obtidas a partir da observação direta no museu real e c) um mapa mostrando a localização dos ambientes do museu. O *software* organizou as perguntas de modo que os alunos tivessem que responder de forma aleatória, fazendo com que cada um deles fizesse um *tour* diferente pelos ambientes.

Na segunda etapa do estudo, os alunos usaram o *videogame* “*Evolution*”, desenvolvido para funcionar em tempo real. Nesse jogo, equipes de quatro alunos tinham de manter e desenvolver três espécies biológicas durante o jogo, cada uma incluindo quatro classes de animais e manipulação de variáveis-chave para a preservação, buscando o desenvolvimento e a evolução de cada espécie (SÁNCHEZ e SALINAS, 2008).

A metodologia de pesquisa do estudo de Sánchez e Salinas (2008) foi aplicada em dois grupos de alunos. Um grupo participou de todas as atividades projetadas para o estudo com uso de *videogames* (grupo experimental) e o outro grupo não fez uso dos *videogames*, mas realizou a visita tradicional ao museu e coletou os dados solicitados. Ao final dos estudos com os alunos, os dois grupos foram submetidos à resolução de um mesmo problema de Ciências e os resultados mostraram diferenças importantes na habilidade de resolver problemas. Nesse experimento o grupo experimental completou o ciclo de resolução de problemas com um nível de interação muito mais rica, dedicaram mais tempo para avaliar as estratégias e apresentaram uma maior participação em relação ao grupo de controle (SÁNCHEZ e SALINAS, 2008).

Outro exemplo de jogos como AVAs 3D são os jogos sérios. Greitzer, Kuchar e Huston (2007) apresentam estudos que descrevem princípios cognitivos para a eficácia da aprendizagem e como eles podem ser aplicados em jogos sérios. Para isso, os autores examinaram uma série de jogos sérios intitulados

“CyberCIEGE”, um laboratório virtual que fornece treinamento *on-line* sobre segurança de redes de computadores dentro de um ambiente baseado em jogos.

O CyberCIEGE foi desenvolvido pela Escola de Pós-graduação da Marinha dos Estados Unidos. Neste mundo virtual, os usuários gastam dinheiro virtual para operar e defender suas redes e veem as consequências de suas escolhas. Os conceitos ensinados no CyberCIEGE se referem à segurança englobando diferentes aspectos de uma rede de comunicação multicamada, desde segurança física até segurança de *software*. Os usuários compram e configuram estações de trabalho, servidores, sistemas operacionais e dispositivos de redes. Também podem fazer trocas enquanto lutam para manter o equilíbrio ideal entre orçamento, produtividade e segurança. O CyberCIEGE emprega desde cenários iniciais até cenários mais complexos, que são apresentados em uma série de etapas, as quais exigem do usuário ter que proteger cada vez mais o patrimônio corporativo de valor contra ataques intensos (GREITZER; KUCHAR e HUSTON, 2007).

Greitzer, Kuchar e Huston (2007) não avaliaram a aprendizagem dos usuários após explorarem os recursos dos jogos. Portanto, não se sabe se o CyberCIEGE contribuiu para aumentar o nível de aquisição de conhecimento dos usuários. Porém, foram realizadas avaliações quanto aos critérios de usabilidade dos jogos, anseios e satisfação dos usuários.

Ainda na área de jogos, o trabalho proposto por Francesco *et al.* (2008) investigou a exploração de inserções 2D em um mundo virtual 3D. A interação 2D-3D vem sendo introduzida em ambientes de Realidade Aumentada e tem sido desenvolvida para identificar as características dimensionais de uma tarefa. Com base nessa ideia, os autores desenvolveram o projeto “*Travel in Europe*” (TiE), que visa a implementar um ambiente inovador (2D-3D) para promover e divulgar o patrimônio cultural europeu. Um jogador de TiE geralmente se depara com uma missão (uma espécie de caça ao tesouro), ao visitar cada cidade. O jogador ganha pontuações para enfrentar alguns desafios, explorando aspectos educativos (como história e geografia), além de buscar também o entretenimento.

A primeira versão do ambiente TiE apresenta uma parte do centro histórico de Gênova na Itália, incluindo uma área que contém palácios construídos desde o Renascimento até a idade Barroca. No jogo o avatar que representa o

jogador pode explorar a rua principal e os becos típicos do centro da cidade de Gênova, no qual o usuário pode manipular as peças do patrimônio artístico e conhecer um pouco sobre a história da cidade. Nesse trabalho não foi aplicado nenhum método de avaliação e se encontra em andamento a implementação de outras cidades históricas (FRANCESCO *et al.*, 2008).

Por fim, ainda na área de jogos o trabalho de Leftheris *et al.* (2012) apresenta o projeto e avaliação de um jogo sério colaborativo 3D usando a plataforma de mundos virtuais *OpenSim*, buscando responder às seguintes questões de pesquisa: (1) Atividades virtuais baseadas em jogos melhoram a eficácia da aquisição de conhecimento? e (2) Os estudantes recomendam a existência sistemática de tais atividades em educação?

O jogo apresenta um cenário de caça ao tesouro com perguntas escondidas sobre o objeto de estudo. Foram recrutados 24 estudantes de graduação, divididos em duas equipes de 12 alunos. Em cada equipe, os alunos colaboram entre si a fim de encontrar e responder às perguntas escondidas e se comunicam por meio de mensagens instantâneas. O objetivo do jogo é ganhar pontos e prêmios. Os jogadores desenvolvem suas estratégias e interagem com os objetos do mundo virtual, a fim de encontrar as perguntas ocultas. Após uma pergunta ser respondida, a questão permanece disponível para os demais jogadores da outra equipe.

Para colaborar e responder às questões, cada jogador dispõe de três opções: (1) responder a questão escolhendo entre três alternativas, (2) escolher a opção “Ajuda” ou (3) evitar responder a questão. Ao iniciar o jogo, é atribuído ao jogador 1000 pontos, sendo que os pontos são diminuídos, conforme segue: (1) abriu uma questão (-20 pontos), (2) escolheu opção ajuda (-30 pontos), (3) resposta correta (150 pontos) e (4) resposta errada (0 pontos). O jogo encerra quando todas as equipes respondem todas as questões ou quando o tempo atribuído ao jogo termina. O prêmio “Homem Sábio” é dado à equipe com maior pontuação e o prêmio “Velocidade” à equipe que respondeu em primeiro lugar todas as perguntas (LEFOTHERIS *et al.*, 2012).

A partir dos resultados das pontuações, os autores concluíram que jogos sérios podem ajudar os estudantes a melhorar a aquisição de conhecimento e pode ser uma ferramenta poderosa para os professores superarem as dificuldades dos

alunos em conteúdos complexos de serem estudados apenas com as aulas tradicionais. Os voluntários foram convidados a responder um questionário de *feedback* do sistema, revelando que aproximadamente 90% dos alunos consideraram que as atividades baseadas em jogos melhoram efetivamente a aquisição de conhecimento (LEFOTHERIS *et al.*, 2012).

3.2.2. AVAs 3D com abordagens diversas

O trabalho de Mikropoulos e Natsis (2011) apresenta uma revisão crítica de dez anos (1999-2009) de pesquisa empírica sobre as aplicações educacionais de Realidade Virtual. A maioria dos 53 artigos revisados se referia às áreas de ciências, matemática e ciências sociais. De acordo com os autores, a pesquisa comprova que embora a RV suporte canais multissensoriais de interação e diversas formas de representação visual, poucos são os estudos que incorporam a interatividade intuitiva. Também é observado no estudo que o construtivismo parece ser o modelo teórico da maioria dos ambientes propostos. Os resultados mostraram ainda que a colaboração e a negociação social não são limitadas apenas para os participantes de um AVA, mas podem ocorrer entre os participantes humanos e avatares, oferecendo uma nova dimensão à aprendizagem assistida por computador.

Apesar de existirem diversos estudos propondo AVAs 3D, pouco pode ser concluído em relação à retenção dos conhecimentos adquiridos em tais ambientes virtuais. Estudos longitudinais são necessários e os autores acreditam que o principal resultado do trabalho é a perspectiva de futuras pesquisas na área (MIKROPOULOS e NATSIS, 2011).

Huang, Chen e Chen (2010) propõem um sistema de aprendizagem móvel, com propósito de ensinar anatomia humana por meio de um ambiente 3D, além de ensinar como cuidar de algumas doenças, tendo como objeto de estudo um paciente virtual. O sistema é denominado 3D-HC (*3D Human Anatomy Learning System 3D-Health Care*) e permite aos alunos estudarem a anatomia do corpo humano e cuidarem do paciente. O ambiente foi avaliado em relação à percepção do usuário. Para tal, realizaram-se testes com 28 estudantes da área de saúde, sendo aplicado um questionário pós-treinamento para análise dos resultados experimentais.

Os resultados mostraram que os alunos tiveram atitude positiva em relação ao 3D-HC. A maioria dos participantes percebeu que o estudo por meio do ambiente proposto aumentou o interesse e a motivação para a aprendizagem, favorecendo o conhecimento em qualquer lugar e a qualquer momento, além de não estar sujeito a quaisquer restrições, desde que estejam usando celulares *touchscreen* (HUANG; CHEN e CHEN, 2010).

Já o trabalho de Gutierrez *et al.* (2007) examina e compara a aquisição de conhecimento de dois grupos de alunos do primeiro ano do curso de Medicina da *New México University*, durante o ensino da disciplina de Neurociência. Um grupo usou um ambiente de RV totalmente imersivo (usando *Head-Mounted Display* - HMD), que é um dispositivo de exibição usado na cabeça na forma de um capacete, apresenta um pequeno visor óptico na frente dos olhos, podendo ser monocular ou binocular. O outro grupo usou um ambiente de RV parcialmente imersivo (com tela de computador). O objetivo principal do estudo foi identificar se houve diferenças significativas entre os dois grupos.

Inicialmente os participantes receberam instruções de uso do equipamento de RV. Em seguida, receberam instruções passo a passo do experimento. Antes de iniciarem o experimento os alunos receberam um teste de avaliação do conhecimento, por meio do qual foram avaliados a partir de um questionário elaborado por especialistas da área de Medicina sobre os conceitos relacionados ao experimento (GUTIERREZ *et al.*, 2007).

No ambiente imersivo os estudantes eram os primeiros a chegarem em um acidente automobilístico que envolvia trauma na cabeça. Depois de tomarem conhecimento do acidente, os alunos leram a orientação textual do cenário clínico e tiveram que completar uma lista de problemas. Então tiveram 30 minutos para navegar no AVA 3D e realizar o exame físico no paciente virtual. Os participantes completaram os exercícios de avaliação do conhecimento e foram avaliados antes e depois do treinamento por meio de questionário (GUTIERREZ *et al.*, 2007). Os resultados mostraram que ambos os grupos se beneficiaram dos AVAs 3D. No entanto, o grupo que utilizou o ambiente de RV totalmente imersivo mostrou ganho mais significativo.

O trabalho de Watanuki e Kojima (2007) propõe um ambiente de Realidade Virtual baseado na aquisição de conhecimento e no sistema de

treinamento profissional para projeto de fundição em indústria, composto de conhecimento explícito e tácito, utilizando tecnologia multimídia e um ambiente virtual portátil, no qual um estagiário pode aprender sobre a fabricação de fundição de metal por meio da tecnologia multimídia. Posteriormente, pode adquirir habilidade e conhecimento prático por meio da tecnologia de RV ao operar os equipamentos por meio do ambiente virtual imersivo, desde que o estagiário adquira conhecimento explícito e tácito por meio do sistema multimídia baseado em transferência de conhecimentos. O ambiente virtual imersivo catalisa a interiorização do conhecimento e permite que o estagiário possa adquirir conhecimento tácito antes de se submeter à formação profissional no local de operação real.

A partir dessas considerações, os pesquisadores apresentaram um protótipo de alto nível que transfere habilidade do sistema interativo, desenvolvido com tecnologia multimídia e RV. Especialistas no campo da tecnologia de fundição avaliaram a proposta do sistema interativo, como também a metodologia que combina o conhecimento explícito e tácito e concluíram que é possível aprender sobre a fabricação de fundição de metal por meio da tecnologia multimídia e, posteriormente, experimentar a habilidade por meio da tecnologia de Realidade Virtual (WATANUKI e KOJIMA, 2007).

Stankiewicz e Kalia (2007) apresentam um estudo experimental com participantes voluntários navegando em um ambiente de RV, buscando identificar como as pessoas armazenam na memória as informações contidas em pontos de referência (*landmarks*) e como essas informações persistem na memória. Os testes foram realizados em longo prazo, sendo que a segunda sessão foi conduzida após um ano da realização da primeira considerando-se os mesmos voluntários para comparação dos dados.

O objetivo do experimento foi compreender qual tipo de informação de ponto de referência é codificado pelo observador quando está aprendendo a navegar em um ambiente virtual pela primeira vez (STANKIEWICZ e KALIA, 2007).

Os experimentos indicaram a hipótese de que existem três fatores principais que influenciam no armazenamento de um ponto de referência na Memória de Longo Prazo: a persistência temporal, a desenvoltura perceptual e a quantidade de informação no ambiente.

Segundo os pesquisadores, ao aprender sobre um ambiente os participantes avaliam os pontos de referência com base nesses três fatores para decidir o que armazenar na memória. Pontos de referência considerados altamente informativos são logo armazenados na memória, enquanto aqueles que não são tão informativos não são armazenados. Além disso, pontos de referência que não são importantes ou não persistentes, também não são armazenados. Mas, é possível que ao longo do tempo, eles possam ser armazenados na Memória de Longo Prazo. Com isso, os autores obtiveram como hipótese - “Pontos de referência considerados relevantes, persistentes e informativos são armazenados na memória, ao contrário de pontos de referência que não atendem tais requisitos não são armazenados em longo prazo” (STANKIEWICZ e KALIA, 2007).

Outro trabalho referente ao conhecimento espacial é discutido por Morganti, Carassa e Gemiani (2007) que apresentam o aprendizado de desenho de mapas e o uso de ambientes virtuais 3D para avaliar o aprendizado de tarefas que envolvem reconhecimento espacial. Foram realizados testes com um grupo de usuários no ambiente virtual para avaliar se existe aprendizado com o planejamento de caminhos ótimos. A avaliação espacial teve como origem realizar tarefas em ambiente virtual simples, comparando-as com tarefas de medida de mapeamento em espaços clássicos reais.

As tarefas no ambiente virtual se referem à capacidade espacial de navegar dentro do ambiente sem se sentir perdido e esboçar um mapa do ambiente. Tais tarefas foram executadas após os usuários explorarem o ambiente virtual por alguns minutos para se familiarizarem. Os resultados mostraram que existe uma relação entre o planejamento de melhores caminhos e outras tarefas espaciais relacionadas com a representação de medidas de mapeamento. Tais resultados destacam como a capacidade de aprendizagem apoiada por navegação resulta em um fator predefinido para avaliação de habilidades espaciais dos indivíduos (MORGANTI; CARASSA e GEMIANI, 2007).

Um AVA 3D que aplica Interação Inteligente Humano-Computador (IIHC) ou, em inglês, *Human Computer Intelligent Interaction* (HCII), usando Cognição Aumentada e Inteligência Emocional é proposto por Chen e Wechsler (2007). Cognição Aumentada inclui a computação para explorar o conhecimento implícito ou explícito sobre um contexto, estado mental ou motivação do usuário, enquanto que

Computação Afetiva fornece significado para reconhecer a inteligência emocional que afeta interfaces e interações com pessoas que estão engajadas no ambiente. O trabalho de Chen e Wechsler (2007) faz uso do HCII para diagnosticar e prever se o usuário está fadigado, confuso, frustrado ou momentaneamente distraído ao longo da interação com o AVA 3D.

A arquitetura do sistema inclui entradas sensoriais (rastreamento dos olhos, reconhecimento de voz, rastreamento posição-orientação no AVA 3D e dispositivos táteis), interface virtual adaptativa e a reconfiguração inteligente da interação humano-computador dependendo das preferências do usuário (CHEN e WECHSLER, 2007).

O AVA 3D apresentado por Chen e Wechsler (2007) fornece um ambiente de aprendizagem de conteúdos de Matemática personalizado para cada aluno com *feedback* inteligente, personalizando as questões das provas de Matemática. Se o aluno responder corretamente, ele será desafiado com um conjunto de questões mais difíceis e, se responder incorretamente, um conjunto de questões mais fáceis será administrado e aplicado na próxima sessão.

O trabalho de Yap (2011) apresenta um estudo realizado por uma equipe de pesquisadores da Universidade Nacional de Cingapura, que lançou a semana de *e-learning* em todo o campus, exigindo que os alunos assistissem às aulas *on-line* por uma semana inteira. Dentre os diversos meios virtuais de comunicação, o *Second Life* foi usado como um AVA 3D para ensinar tópicos relacionados ao cibercrime. Após desenvolver as atividades propostas no ambiente virtual durante uma semana, os estudantes foram convidados a responder um questionário de *feedback* sobre o uso do ambiente virtual.

Os resultados mostraram que os alunos sentiram dificuldade na percepção do ambiente nos primeiros dias, porém no decorrer da semana, ao desenvolver as tarefas diárias os estudantes conseguiram se envolver e se sentiram engajados no ambiente virtual. Porém, não foi verificado se os alunos adquiriram conhecimento sobre o objeto de estudo com o uso do AVA 3D (YAP, 2011).

Lambropoulos e Mystakidis (2012) declaram que ambientes virtuais imersivos multiusuário como o *Second Life* permitem que os usuários interajam para diversas finalidades, uma delas é com propósito de aprendizagem, podendo ser aplicado como AVA 3D. Dessa forma, os autores realizaram um estudo aplicando o

ambiente *Second Life* com propósito de aprendizagem colaborativa com um pequeno grupo de estudantes, a fim de acelerar a aprendizagem sobre um determinado objeto de estudo. O curso proposto no ambiente virtual está embasado na Teoria de Vygotsky aliada às estratégias de Aprendizagem Colaborativa Apoiada por Computador (CSCL - *Computer Supported Collaborative Learning*). A partir das observações colhidas durante o experimento, os autores concluíram que de forma geral os mundos virtuais imersivos, como o *Second Life*, oferecem múltiplas opções para alavancar a aprendizagem, porém não apresentam instrumentos de avaliação da aquisição de conhecimento do aprendiz após o treinamento virtual.

Cheng (2014) também fez uso do *Second Life* como uma ferramenta de apoio ao ensino. Porém, com objetivo de investigar os estilos de aprendizagem dos alunos em relação à sua aceitação e às atitudes acerca do ambiente virtual. Um total de 32 alunos de graduação participou do estudo, por meio do curso "*Digital Imaging*". Os participantes foram convidados, primeiro a conceber os seus próprios gráficos usando uma variedade de técnicas de imagem digital. Na sequência, os estudantes foram convidados a partilhar a arte com seus pares no *Second Life* por meio de uma apresentação formal no papel de um profissional de *designer* e, então, foi aberta uma discussão. O Índice de Estilos de Aprendizagem (ILS), desenvolvido por Felder e Soloman (1994) e um questionário elaborado por Cheng (2014) foram utilizados, respectivamente, para medir os estilos de aprendizagem dos participantes, bem como a sua aceitação e atitudes em relação ao *Second Life* como ferramenta de apoio ao ensino.

Os resultados quantitativos obtidos a partir dos questionários foram validados por dados qualitativos coletados a partir de uma entrevista de acompanhamento (*follow-up*) com uma amostra dos participantes, em busca de uma opinião sobre o uso do ambiente virtual. As principais conclusões do estudo indicaram que aprendizes ativos valorizam a facilidade de uso e utilidade do ambiente virtual, enquanto estudantes verbais, em sua maioria, ficam satisfeitos com a comunicação e as características de identidade no *Second Life*. Além disso, o estudo também identificou alguns problemas práticos com o uso do ambiente virtual na educação, que inclui restrições aderentes ao próprio ambiente, curto tempo de aprendizagem, modo limitado de comunicação com o instrutor e equipamentos inadequados para a execução do ambiente virtual. O estudo não aplicou

instrumentos para avaliar a aprendizagem, tendo em vista que este não foi o propósito da pesquisa (CHENG, 2014).

Um sistema de simulação de Realidade Aumentada colaborativa móvel é apresentado por Lin *et al.* (2013), com objetivo de investigar se um AVA 3D baseado em RA afeta a construção do conhecimento dos alunos e o desempenho da aprendizagem.

No estudo, 40 estudantes de graduação foram recrutados e divididos em duplas para discutir uma determinada tarefa. Uma parte dos alunos realizou a tarefa com o auxílio de um sistema de RA colaborativo móvel e a outra parte usou um sistema de simulação 2D. O processo de construção do conhecimento seguiu três etapas: (1) Construção de espaço do problema (PS), quando o aluno seleciona, avalia e relaciona as informações sobre o caso para compreender o problema, (2) construção de espaço conceitual (CS), na qual o aluno constrói as relações entre conceitos teóricos ou princípios para promover a compreensão de uma teoria e (3) construção de relações entre espaço conceitual e problema (CPS), na qual os alunos aplicam os conceitos teóricos relevantes para resolver o problema ou gerar uma solução para a tarefa (LIN *et al.*, 2013).

Os autores avaliaram a aquisição de conhecimento dos estudantes sobre o objeto de estudo por meio de instrumentos de avaliação aplicados em duas fases (pré-teste e pós-teste), com propósito de comparar os resultados e verificar se houve evolução na aprendizagem. Os resultados obtidos indicaram que os alunos que realizaram a tarefa com o auxílio do sistema de RA apresentaram melhores resultados de aprendizagem em relação aos alunos que realizaram a tarefa com o sistema de simulação 2D. Além disso, foram identificados os padrões sequenciais de comportamento dos alunos, incluindo as três etapas (espaço problema, espaço conceitual e a relação entre espaço conceitual e problema). Os padrões de comportamentos revelados sugerem que o sistema de RA pode servir como uma ferramenta de apoio que permite aos alunos responder mais rapidamente às questões, além de apoiar o processo de construção do conhecimento produzindo um resultado positivo (LIN *et al.*, 2013).

No estudo de Hafner *et al.* (2013) os autores examinaram o efeito de diferentes tipos de movimento no desempenho da memorização em ambientes virtuais com diferentes níveis de imersão. Para tal, foi escolhida uma tarefa simples

de memorização, considerando a hipótese de que diferentes tipos de movimento e imersão influenciam no desempenho da memorização em ambientes virtuais. A tarefa de memorização foi realizada em dois ambientes virtuais com diferentes níveis de imersão, sendo um dos ambientes uma CAVE (*Automatic Virtual Environment*) com alto nível de imersão e um ambiente virtual *desktop* com baixo nível de imersão. Na CAVE o ambiente foi explorado caminhando-se fisicamente e no ambiente virtual *desktop* o movimento se deu por meio de *joystick*. Dois tipos de filmes foram explorados nos ambientes virtuais.

Foi aplicado um questionário pré-teste com objetivo de identificar o desempenho da memória visual do indivíduo. Para tal, foi realizado um teste simples de memorização. Após a experiência no ambiente virtual foi aplicado um questionário de pós-teste para identificar o ganho de memorização acerca dos objetos dispostos no ambiente. Os resultados indicaram que os tipos de movimento (caminhando na CAVE e por meio de *joystick* no *desktop*) e os diferentes níveis de imersão em ambientes virtuais não afetaram significativamente o desempenho de memorização (HAFNER *et al.*, 2013).

3.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Fazendo uma análise estatística dos trabalhos incluídos na RS conduzida neste capítulo observa-se que AVAs 3D voltados para as áreas de treinamento educacional têm sido alvo de pesquisas e representam 88% dos trabalhos incluídos na RS (CHEN e WECHSLER, 2007; FRANCESCO *et al.*, 2008; GREITZER, KUCHAR e HUSTON, 2007; GUTIERREZ *et al.*, 2007; HAFNER *et al.*, 2013; HUANG, CHEN e CHEN, 2010; LAMBROPOULOS e MYSTAKIDIS, 2012; LEFOTHERIS *et al.*, 2012; LIN *et al.*, 2013; MORGANTI, CARASSA e GEMINIANI, 2007; MIKROPOULOS e NATSIS, 2011; SÁNCHEZ e SALINAS, 2008; TORO-TROCONIS *et al.*, 2010; YAP, 2011; WATANUKI e KOJIMA, 2007).

Nota-se que 30% dos trabalhos incluídos na RS abordam o uso de jogos como recurso de aprendizado em AVAs 3D (GREITZER; KUCHAR e HUSTON, 2007; FRANCESCO *et al.*, 2008; LEFOTHERIS *et al.*, 2012; SÁNCHEZ e SALINAS, 2008; TORO-TROCONIS *et al.*, 2010). Isso porque muitas pesquisas têm buscado como alvo a “geração jogador” que tem um estilo cognitivo caracterizado pela multitarefa enquanto aprendem, apresentam curto período de atenção durante a

aprendizagem e uma abordagem exploratória e de descoberta. Em AVAs 3D baseados em jogos, os alunos primeiro jogam, depois procuram compreender os conceitos e, então, generalizam os conceitos para aplicar a aprendizagem adquirida em uma nova situação (JUNG *et al.*, 2007).

Por fim, 12% dos trabalhos incluídos apresentam outros propósitos. Como exemplos têm-se o trabalho de Stankiewicz e Kalia (2007) que busca avaliar como os usuários gravam as informações contidas em pontos de referência e como essas informações persistem na memória e o trabalho de Cheng (2014) que investiga os estilos de aprendizagem dos alunos sobre a aceitação e atitudes em relação ao uso do ambiente virtual *Second Life* como AVA 3D.

Analisando os resultados da RS, nota-se que vários estudos têm buscado utilizar cada vez mais os AVAs 3D para promover a aprendizagem. Porém, em relação à avaliação na aprendizagem, nem todos os trabalhos se preocupam em verificar se, de fato, o usuário adquiriu conhecimento com o ambiente virtual. Dos 17 trabalhos incluídos na RS, observa-se que 53% aplicam algum tipo de instrumento de avaliação. Em geral, para avaliar a aquisição de conhecimento do aluno nos AVAs 3D, os trabalhos propostos têm feito uso de questionários, desenvolvimento de tarefas, resolução de problemas e provas personalizadas, que são geralmente aplicados fora do ambiente virtual.

Sendo assim, pode-se afirmar que nenhum dos estudos selecionados na RS apresenta um método para avaliar de forma automática a aquisição de conhecimento em AVAs 3D.

Dessa forma, há uma lacuna a ser preenchida, ao se estudar a avaliação da aquisição de conhecimento do estudante em AVAs 3D usando as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente. Um fato a ser enfatizado é que para que o método de avaliação seja eficiente, sua aplicação precisa ser rápida, ou seja, oferecer resposta em tempo real, a fim de que não comprometa o desempenho da simulação e o nível de qualidade da avaliação. Salienta-se também que as respostas esperadas devem conter regras precisas para não comprometer o resultado da avaliação.

Aliado aos instrumentos de avaliação se faz necessário definir parâmetros, que irão nortear o avaliador a fazer julgamentos sobre a aprendizagem dos estudantes. Além disso, os parâmetros de avaliação devem ser agregados ao

método que se propõe, como forma de alcançar a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D interativos, de forma automática. A partir dos resultados obtidos com a RS, como também da revisão bibliográfica exploratória, foi possível selecionar os parâmetros apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros selecionados para avaliar o conhecimento adquirido

Parâmetros do usuário	Descrição	Referências
Tempo de exploração no AVA 3D	Tempo estimado para completar a tarefa durante a familiarização com o AVA e tempo estimado para completar a tarefa, após o aluno ficar um determinado período longe do AVA, sem usá-lo.	Toro-Troconis <i>et al.</i> (2010)
Tempo de realização das avaliações diagnósticas	Tempo estimado para realizar as avaliações diagnósticas	Leftheris <i>et al.</i> , (2012); Lin <i>et al.</i> (2013)
Erros	Quantidade de erros cometidos durante o treinamento virtual e tipo de erros por tarefa	Preece (2005); Leftheris <i>et al.</i> (2012)
Acertos	Nível de sucesso ou quantidade de acertos obtidos com os instrumentos de avaliação da aprendizagem	Preece (2005); Leftheris <i>et al.</i> (2012)
Ativo ou passivo (Interações)	Definição do comportamento do usuário a partir da quantidade de interações realizadas durante a exploração no ambiente virtual.	Ayala (2010); Toro-Troconis <i>et al.</i> (2010)
Ações	Captura a sequência de ações executadas na tarefa	Kieras e Meyer (1997); Lin <i>et al.</i> (2013)
Diferenças individuais	Devem ser identificadas para correlacionar as características e habilidades individuais com os resultados obtidos pelos instrumentos de avaliação da aprendizagem	Lee (2007)
Encerramento da tarefa	Razão da finalização da tarefa - com sucesso ou participante solicitou término de tarefa.	Preece (2005)

Fonte: Autor

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os resultados da RS conduzida com vistas a perceber o cenário de pesquisas científicas em AVAs 3D, especificamente, buscando identificar se esses ambientes estão incorporando métodos de avaliação cognitiva, para verificar se, de fato, estão colaborando para aquisição de conhecimento.

Apesar de a comunidade científica mostrar interesse em desenvolver AVAs com uso de tecnologias interativas, poucos estudos têm medido os reais

efeitos na aprendizagem. Dos trabalhos que apresentam método de avaliação na aprendizagem, nenhum dos estudos apresenta um método sistematizado para avaliar a aquisição de conhecimento, e com exceção do trabalho proposto por Leftheris *et al.* (2012), os demais não consideram as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente virtual no processo de avaliação da aprendizagem.

Em geral, para avaliar a aquisição de conhecimento do aluno nos AVAs 3D, os trabalhos propostos têm feito uso de preenchimento de questionários, provas objetivas personalizadas, tarefas e teste de resolução de problemas, que são aplicados geralmente fora do ambiente de treinamento virtual e, em geral, antes ou após o treinamento.

Considerando o exposto, se faz necessário sistematizar o processo de avaliação da aprendizagem incorporando-se parâmetros de avaliação, como também as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente virtual.

Porém, salienta-se que apesar de cada parâmetro apresentar a sua contribuição para a avaliação do aprendiz, só é possível diferenciar o desempenho do aprendiz, analisando o conjunto de parâmetros como um todo, pois, aliada aos parâmetros, tem-se uma questão importante a salientar: a forma de aprendizagem (aquisição de conhecimento) depender de cada pessoa, em vista do seu estilo cognitivo.

O próximo capítulo apresenta os materiais e métodos usados nesta pesquisa, em busca de um método de avaliação da aprendizagem, que possibilite avaliar, de forma automática, a aquisição de conhecimento em AVAs 3D interativos. Neste estudo serão considerados os parâmetros apresentados na seção 3.3, sendo uma das contribuições deste capítulo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são apresentados os instrumentos e procedimentos adotados para se alcançar um método automatizado de avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, que é o foco principal desta pesquisa.

A metodologia adotada é composta de várias fases, que são ilustradas na Figura 13.

Figura 13 - Diagrama de fases da metodologia adotada

Fonte: Autor

Após a condução de revisões sistemáticas, foi realizado um estudo experimental exploratório que comparou o aprendizado de dois grupos da área de saúde (grupo de controle e grupo experimental). O estudo experimental buscou investigar se haveria diferença no meio de aprendizagem, isto é, se o uso de AVAs 3D poderia proporcionar uma experiência diferenciada em relação aos métodos tradicionais de ensino. A apresentação deste estudo é apresentada na seção 4.2 e os resultados obtidos são apresentados na seção 5.2.

Tais resultados, associados aos resultados da Revisão Sistemática, já apresentados nos capítulos 2 e 3, possibilitaram a definição do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento a ser apresentado na seção 4.3.

Para validar o Modelo Teórico de Avaliação, foram conduzidos dois experimentos, cuja metodologia é apresentada na seção 4.7. Os resultados dos experimentos são apresentação no capítulo 5, seção 5.3.

A partir da definição do Modelo Teórico de Avaliação, desenvolveu-se a Arquitetura do Sistema de Avaliação, que foi implementada a fim de viabilizar a avaliação da aprendizagem automatizada e o registro das interações dos participantes durante a exploração no AVA 3D, de forma automática, sem interferir no código fonte da aplicação. A implementação da arquitetura do sistema resultou no Sistema de Avaliação de Aprendizagem (SAAp) descrito na seção 4.6.

Para validação da Arquitetura do Sistema de Avaliação e do SAAp foi conduzido um novo experimento, seguindo a mesma metodologia apresentada na seção 4.7. Os resultados obtidos são apresentados no capítulo 5, seção 5.4.

A definição do Modelo Matemático para o equacionamento da avaliação da aprendizagem, de forma automática, é apresentada na seção 4.8 e considera os resultados dos experimentos conduzidos a partir da metodologia do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento proposto nesta pesquisa.

4.2. ESTUDO EXPERIMENTAL EXPLORATÓRIO

Inicialmente, foi realizado um estudo experimental exploratório com estudantes da área de saúde, interessados no aprendizado de Anatomia Humana, como forma de verificar a motivação dos estudantes com o uso de AVAs 3D como ferramenta de apoio à aprendizagem.

O AVA 3D utilizado no experimento foi o Projeto VIDA (*Virtual and Interactive Distance-Learning on Anatomy*), desenvolvido pelo Interlab da Escola Politécnica da USP e pelo LApIS da EACH/USP. O Projeto “VIDA” consiste em uma ferramenta voltada para o ensino de Anatomia Humana e utiliza técnicas de estereoscopia baseada em anaglifos, que não exige monitores ou projetores especiais, apenas um par de óculos descartável de duas cores com filtros coloridos (cada lente com uma cor diferente), para produzir o efeito 3D desejado (TORI *et al.*, 2009).

O estudo experimental foi realizado com 60 estudantes da área de saúde. Os participantes possuíam um baixo nível de conhecimento em Anatomia Humana, pois eram alunos que tinham iniciado recentemente o primeiro ano do curso e, por isso, frequentaram poucas aulas de Anatomia até a realização do experimento. Os voluntários foram divididos igualmente em dois grupos: grupo de controle e grupo experimental.

Salienta-se que apenas neste experimento foi aplicado grupo de controle e grupo experimental, a fim de verificar a diferença em relação ao nível de aprendizado entre os dois grupos, considerando diferentes meios de aprendizagem com o mesmo conteúdo. Embora os resultados sejam limitados ao contexto do experimento, foi possível identificar qual grupo mostrou maior motivação no processo de aprendizagem. Os demais experimentos conduzidos durante o presente trabalho não incluíram grupo de controle porque não tinham o objetivo de comparar meios diferentes de aprendizado.

Neste estudo dois experimentos idênticos foram conduzidos para memorização de partes da estrutura óssea da pelve feminina, diferenciando apenas uma variável (meio de estudo).

Para tal, o grupo de controle realizou o estudo de memorização por meio de uma imagem 2D convencional encontrada em livros de Anatomia, apresentada aos alunos de forma impressa em uma folha de papel, acompanhada de legendas nas partes a serem memorizadas, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 - Pelve Feminina – imagem 2D

Fonte: adaptada de Sobotta (2000)

O grupo experimental realizou o mesmo estudo de memorização, utilizando o mesmo objeto de estudo, porém por meio de estruturas anatômicas virtuais disponíveis no ambiente “VIDA”. Além da visualização, foi oferecida ao aluno a oportunidade de interagir diretamente com o objeto em estudo, executando operações de rotação, translação e *zoom*. As imagens 3D capturadas do sistema “VIDA” estão ilustradas nas Figuras 15, 16 e 17.

Os dois grupos tiveram o mesmo tempo de estudo: cinco minutos para memorizar as dez legendas colocadas na imagem da estrutura óssea da pelve feminina. Após a fase de estudo, os grupos foram submetidos a uma mesma avaliação escrita, na qual deveriam identificar as partes indicadas pelas setas, com o objetivo de medir o nível de aprendizado das partes de uma estrutura pélvica feminina apresentada.

Figura 15 - Pelve Feminina sem as legendas – parte óssea (imagem 3D – “VIDA”)

Fonte: Autor

Figura 16 - Pelve Feminina com parte das legendas (imagem 3D – “VIDA”)

Fonte: Autor

Figura 17 - Pelve Feminina mostrando todas as legendas (imagem 3D – “VIDA”)

Fonte: Autor

Após os experimentos, as provas escritas foram corrigidas a fim de verificar se o meio de aprendizagem poderia exercer alguma influência nos resultados obtidos. Os resultados deste experimento são apresentados no capítulo 5, seção 5.2.

4.3. MODELO TEÓRICO PARA AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

O Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento proposto nesta pesquisa está embasado na perspectiva das Teorias Cognitivas, que tem como propósito verificar se houve aquisição de conhecimento do aprendiz sobre o domínio de conhecimento em estudo, após o mesmo usar um AVA 3D como meio de aprendizagem.

Como já exposto no capítulo 1, em síntese, as Teorias Cognitivas buscam a evidência da aprendizagem nas alterações que ocorrem no comportamento do indivíduo, como resultado da experiência vivenciada pelo aprendiz.

Vale lembrar que as Teorias Cognitivas são também conhecidas por Teorias Construtivistas, pois encara o aprendiz como um construtor do conhecimento, e considera que é por meio das interações com o mundo que o aprendiz descobre como dar significado à experiência, além de encorajar a aprendizagem por descoberta, o aprendizado colaborativo e a participação ativa do estudante no processo de ensino-aprendizagem (LEFRANÇOIS, 2008).

O Modelo Teórico de Avaliação ainda está embasado no modelo cognitivo clássico definido por Atkinson e Shiffrin (1968) apresentado no capítulo 2, o qual prevê que o conhecimento flui a partir dos estímulos do ambiente e defendem que quanto mais uma informação reside na Memória de Curto Prazo, maior a probabilidade de sua transferência para a MLP (BADDELEY, 2004). Logo, transferindo este conceito para o aprendizado por meio de AVAs 3D, supõe-se que quanto mais o aprendiz interage no ambiente virtual, maior a probabilidade do conhecimento ser transferido para a MLP.

Baddeley (2004) também declara em seus estudos acerca do modelo cognitivo clássico definido por Atkinson e Shiffrin (1968), que uma informação ou experiência é processada pela memória de forma mais profunda e susceptível de ser muito melhor conservada na MLP, quando se considera na experiência o conhecimento prévio do aprendiz. Deste modo, o Modelo Teórico de Avaliação

considera medir o nível de conhecimento do aprendiz antes de realizar o processo de aprendizagem no ambiente virtual, como forma de confrontar com o nível de aquisição de conhecimento adquirido após a exploração no ambiente. Além disso, espera-se que o meio de aprendizagem apresente atividades relacionadas ao objeto de estudo e estratégias que estimulem os níveis de aquisição de conhecimento propostos pela Taxonomia de Bloom (seção 1.5).

Como objetivo principal do Modelo Teórico de Avaliação, busca-se sistematizar a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, como forma de verificar se houve evolução da aprendizagem do estudante sobre o domínio de conhecimento em estudo. Como objetivo secundário, o propósito é prover modelos e ferramentas de avaliação automáticas que possibilitem a avaliação da aprendizagem por pesquisadores da área educacional que fazem uso de AVAs 3D.

Dessa forma, o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento considera quatro fases importantes: i) avaliar o conhecimento prévio do aprendiz antes de usar o AVA 3D; ii) capacitar/qualificar o aprendiz a usar o AVA 3D, para que o mesmo possa ambientar-se e entender o funcionamento do ambiente virtual; iii) capturar as ações/interações do aprendiz no AVA 3D durante o processo de aprendizagem e iv) avaliar o conhecimento do aprendiz após a interação com o AVA 3D, buscando verificar quais as mudanças que ocorrem no comportamento do aprendiz entre as fases de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste.

A Figura 18 ilustra o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (NUNES *et al.*, 2012), seguida de uma apresentação de cada componente.

Figura 18 - Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento

Fonte: Autor

- **Módulo de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste** – tem como objetivo avaliar o quanto o aprendiz conhece sobre o tema abordado, antes do mesmo passar pelo processo de aprendizagem por meio do AVA 3D, para posteriormente comparar com os resultados obtidos na fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste. De acordo com Martins *et al.* (2006) a avaliação na função diagnóstica deve iniciar pela verificação do conhecimento prévio do aprendiz sobre o domínio de estudo, devendo ser aplicada como ponto de partida para verificar a evolução do aprendiz.

- **Módulo de Capacitação em AVA 3D** – tem como propósito preparar o aprendiz para usar os recursos do AVA 3D que será aplicado como meio de aprendizagem. A capacitação pode ocorrer de diversas formas como, por exemplo, por meio de um cenário genérico com manipulação direta no ambiente, orientação textual sobre o cenário do ambiente que poderá ser entregue aos participantes para conhecimento ou apresentação de um vídeo acompanhado dos comandos básicos específicos do ambiente virtual em questão.

- **Processo de Aprendizagem no AVA 3D** – tem como propósito realizar o processo de aprendizagem sobre o domínio de conhecimento em estudo por meio de um AVA 3D. Durante a fase de aprendizado no ambiente virtual as interações e ações do aprendiz são capturadas, de tal forma que identifiquem como foi o comportamento do indivíduo durante o processo de aquisição de conhecimento, para posteriormente correlacionar as interações e ações do aprendiz com os resultados obtidos nas fases de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste. Vale ressaltar que o processo de aprendizagem se baseia somente na fase de exploração no AVA 3D, sem estudo prévio do conteúdo.

- **Módulo de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste** – tem como objetivo avaliar o nível de conhecimento do aprendiz após a exploração no ambiente virtual, com propósito de verificar a sua evolução. Para tanto, utiliza dos mesmos instrumentos de coleta de dados aplicados na fase de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste.

Tanto o Módulo de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste quanto de Pós-Teste preveem instrumentos de coleta de dados compostos por questões abertas e fechadas, com níveis de dificuldade baixo, intermediário e difícil, elaboradas pelo especialista da área de domínio, e estruturadas de tal forma que capture o

desempenho do aprendiz e revele o nível de aquisição de conhecimento sobre o tema abordado pelo AVA 3D.

Vale ressaltar que os instrumentos de coleta de dados poderão variar de acordo com o objeto de estudo. O domínio de estudo é um fator determinante para a construção dos instrumentos de coleta de dados (LUCKESI, 2011) em todas as fases do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento.

Os instrumentos de coleta de dados implementados no Modelo Teórico de Avaliação devem prever a captura dos dados em conformidade com os parâmetros apresentados na Tabela 8 (capítulo 3). Os parâmetros foram identificados por meio da condução de uma Revisão Sistemática sobre os métodos de avaliação de aquisição de conhecimento em AVAs 3D. Os parâmetros identificados são indicadores dos dados a serem considerados na avaliação da aprendizagem; no entanto, recomenda-se que sejam selecionados os parâmetros adequados para cada domínio de estudo.

4.4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO

Para implementação do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento a ser aplicado em AVAs 3D, é proposta a arquitetura do sistema ilustrada na Figura 19. Deste modo, o modelo pode ser aplicado de forma mais genérica possível em diversos contextos de AVAs 3D, inclusive promovendo o registro das interações dos participantes durante a exploração no ambiente virtual, de forma automática.

A arquitetura do sistema, apresentada na Figura 19, é composta de dois componentes: i) componente “Interface” e ii) componente “Sistema de Avaliação da Aprendizagem (SAAp)”, baseado no Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento.

Figura 19 - Arquitetura do Sistema de Avaliação da Aprendizagem (SAAp)

Fonte: Autor

O componente **Interface** apresenta os seguintes módulos:

- **Capacitação no AVA 3D** – tem como propósito preparar o aprendiz para usar os recursos do AVA 3D que será aplicado como meio de aprendizagem. A capacitação pode ocorrer de diversas formas, como descrito na seção 4.3. Porém, como o propósito deste módulo é preparar o aprendiz a usar os recursos do AVA 3D, é necessário verificar se o mesmo realizou a capacitação antes de iniciar o processo de aprendizagem por meio do ambiente virtual. Este gerenciamento pode ser realizado por meio do perfil do usuário armazenado no banco de dados, permitindo ou impedindo que o mesmo avance para a próxima etapa, que é realizar o processo de aprendizagem no AVA 3D.

- **Processo de Aprendizagem no AVA 3D** – durante a exploração no ambiente virtual referente ao domínio de conhecimento, este módulo irá coletar dados sobre a interação do usuário no ambiente virtual e os enviará ao componente Sistema de Avaliação da Aprendizagem para armazenamento no banco de dados, por meio da interceptação entre os componentes.

O componente **Sistema de Avaliação da Aprendizagem - SAAp** é composto pelos seguintes módulos:

- **Cadastro e Gerenciamento de Perguntas** – neste módulo o avaliador cadastra todas as questões que se referem aos instrumentos de avaliação diagnóstica. As questões podem ser do tipo abertas (dissertativas/discursivas) ou fechadas (objetivas). Para cada questão é informado o nível de dificuldade (baixo,

intermediário e difícil). Neste módulo também são cadastradas as perguntas referentes aos questionários de perfil do usuário e *feedback* do sistema.

- **Gerador de Questionários** – o módulo gerador de questionários tem como propósito gerar automaticamente os questionários de avaliação, a partir das perguntas armazenadas no banco de dados, escolhidas de forma aleatória. Os questionários são gerados para ambas as fases de avaliação diagnóstica (Pré-Teste e Pós-Teste), considerando o mesmo nível de dificuldade. Antes de gerar os questionários o avaliador deve cadastrar as questões usando o módulo anteriormente descrito.

- **Avaliação Diagnóstica Pré-Teste** – este módulo tem como função disponibilizar ao participante o questionário de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, criado pelo módulo Gerador de Questionários, com propósito de coletar dados referentes ao conhecimento prévio do participante sobre o domínio de estudo. O participante deve realizar a Avaliação Diagnóstica Pré-Teste antes de iniciar o aprendizado no ambiente virtual. O resultado da avaliação é armazenado no banco de dados.

- **Avaliação Diagnóstica Pós-Teste** – este módulo é muito similar ao módulo de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, mas é executado após a fase de treinamento no ambiente virtual. Também tem como função realizar a avaliação diagnóstica do aprendiz a partir do questionário gerado pelo avaliador no módulo Gerador de Questionários. O resultado da avaliação é armazenado no banco de dados, para posteriormente o avaliador confrontar os resultados com a Avaliação Diagnóstica Pré-Teste.

- **Módulo de Monitoramento das Interações** – este módulo tem como propósito interceptar as interações dos participantes no AVA 3D durante a exploração no ambiente virtual e armazená-las no banco de dados. A fim de tornar o processo automático e viável, é necessário que o registro das interações ocorra em tempo real durante a exploração no ambiente virtual e não requeira alterações no código fonte da aplicação (AVA 3D). O módulo prevê que as interações a serem monitoradas no AVA 3D sejam previamente cadastradas pelo avaliador.

- **Relatório dos Resultados** – o objetivo deste módulo é reunir os resultados dos módulos de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste, como também os dados das interações coletados durante a fase de aprendizado por meio

do AVA 3D. Os resultados dos questionários de perfil do usuário e *feedback* do sistema também são reunidos e exibidos em forma de relatório. A partir dos dados coletados, armazenados no banco de dados e apresentados por meio dos relatórios, é possível o avaliador medir o desempenho do aprendiz de forma quantitativa, buscando mensurar o nível de conhecimento antes e depois do treinamento no AVA 3D.

Todos os módulos do componente "Sistema de Avaliação da Aprendizagem" estão interligados por um banco de dados, que inclusive armazena o registro das interações durante o processo de aprendizagem no AVA 3D, que são interceptadas pelo Módulo de Monitoramento das Interações.

Contudo, a proposta desta arquitetura é fazer com que o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento seja implementado de maneira independente da aplicação (AVA 3D), tornando-o mais genérico possível, de forma que o SAAp, por meio do módulo de monitoramento das interações, intercepte a aplicação para registrar os dados de interação sem a necessidade de se ter um especialista em programação para interligar os sistemas, desde que a plataforma de programação seja a mesma, como pode ser observado na seta tracejada na Figura 19. A seção 4.5 apresenta a implementação da arquitetura do sistema.

4.5. IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAp)

A implementação do Sistema de Avaliação da Aprendizagem teve como base o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (Figura 18) e sua arquitetura computacional (Figura 19).

Considerando a arquitetura do sistema apresentada na seção 4.4, os requisitos do sistema foram levantados e suas funcionalidades estão expressas no Diagrama de Casos de Uso ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema de Avaliação da Aprendizagem

Fonte: Autor

O Diagrama de Casos de Uso representa o conjunto de eventos que ocorrem quando o ator (administrador, avaliador ou participante) faz uso do sistema para concluir o processo, cujo objetivo principal é coletar os dados relacionados à avaliação da aprendizagem por meio de AVAs 3D.

Salienta-se que o SAAp inclui os instrumentos de avaliação diagnóstica previstos. Adicionalmente, captura as interações do usuário durante a exploração no AVA 3D com o propósito de coletar dados que irão nortear o avaliador a fazer julgamentos sobre a aprendizagem dos estudantes (NUNES; TESTA e NUNES, 2013).

Para implementação da arquitetura do sistema considerando todas as suas especificidades, são apresentadas na subseção 4.5.1 as tecnologias utilizadas.

Vale ressaltar que a maior parte da implementação do sistema foi realizada com o apoio de um Projeto de Iniciação Científica (PIBIT/CNPq/USP), correlato à presente tese (TESTA; NUNES e NUNES, 2013).

4.5.1. Tecnologias Utilizadas

Primeiramente, foi conduzida uma Revisão Sistemática com objetivo de identificar métodos e técnicas de monitoramento das interações dos usuários em sistemas computacionais (TESTA; NUNES e NUNES, 2013). Devido à necessidade de implementar o registro das interações de forma mais genérica possível, foi necessário identificar uma técnica de programação que permitisse tal monitoramento sem requerer alteração no código fonte da aplicação.

A partir dos resultados da RS, verificou-se que a maioria dos métodos/técnicas que implementam o monitoramento das interações do usuário em sistemas computacionais utiliza a interceptação de eventos, fazendo a comunicação entre os diversos dispositivos de entrada e a interface gráfica da aplicação. Deste modo, é possível capturar os eventos ocorridos a fim de obter as interações dos usuários durante a exploração no ambiente. Destaca-se também que a maioria dos métodos encontrados faz uso dos recursos da linguagem de programação Java. Isto ocorre porque a linguagem Java oferece técnicas de monitoramento das interações independentemente do sistema operacional.

É importante ressaltar que 45% dos trabalhos incluídos na RS apresentam técnicas de monitoramento não invasivas ao código fonte da aplicação, o que é essencial em um cenário no qual o código da aplicação não está disponível. Dentre as técnicas não invasivas ao código fonte da aplicação, as que melhores se aplicam ao objetivo da pesquisa são o uso de **Proxy entre o gerenciamento de eventos da linguagem Java e a aplicação** e de **Programação Orientada a Aspectos (POA)** (TESTA; NUNES e NUNES, 2013).

Apesar dos referidos métodos serem limitados a sistemas computacionais implementados em Java, tais abordagens podem ser aplicadas a sistemas já existentes de forma não intrusiva ao código fonte da aplicação monitorada e não dependem de um sistema operacional específico.

Dessa forma, a partir de um estudo exploratório sobre o paradigma de Programação Orientada a Aspectos e o uso de *Proxy* entre o gerenciamento de eventos da linguagem Java e a aplicação, a POA se mostrou adequada para o contexto da arquitetura do SAAp, considerando que tal abordagem pode ser aplicada a uma variedade de AVAs 3D implementados na plataforma Java. Além disso, os laboratórios Interlab e LApIS da USP aos quais o projeto de tese está

vinculado já possuíam alguns AVAs 3D implementados em Java, o que contribuiu para a escolha da tecnologia.

A POA pode ser implementada por meio da extensão AspectJ, que consiste basicamente em retirar os interesses transversais de um sistema implementado em Java (ECLIPSE, 2012)

Para o registro das interações é preciso identificar o ponto de junção desejado, ou seja, precisa-se saber a assinatura dos métodos que serão interceptados. Entretanto, para esta ação é preciso conhecer dentro do código de cada AVA 3D o trecho em que ocorre a interação desejada, o que torna a identificação do ponto de junção inviável, tendo em vista que cada implementação segue um modo diferente para utilizar uma mesma interação. Outro motivo que torna essa tarefa inviável é o fato de nem todos os AVAs 3D terem o código fonte disponível e aberto para identificar a localização de uma interação específica.

Para contornar o problema (definir o ponto de junção), identificam-se trechos de códigos das APIs de manipulação de eventos do Java que, por ser de código aberto, as assinaturas dos métodos para interceptação são conhecidas, e também podem ser utilizadas por todas as aplicações escritas em Java que precisem manipular os eventos gerados pelos dispositivos.

Vale ressaltar que a POA permite a obtenção dos dados sem adicionar complexidade ao código da aplicação entrecortada (BATEMAN *et al.*, 2009). Ou seja, essa operação pode ser feita de forma não intrusiva ao código da aplicação, visto que o módulo que agrupa o interesse entrecortante está separado da aplicação monitorada.

Para uma melhor compreensão sobre POA, o Apêndice B apresenta informações complementares em relação aos conceitos deste paradigma de programação.

Os demais módulos da arquitetura do SAAp foram implementados na linguagem de programação Java, por ser uma linguagem de programação que se integra diretamente à extensão AspectJ.

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) escolhido para implementação da base de dados foi o *h2 Database Engine*¹⁶ por ser um sistema de

¹⁶ *h2 Database Engine* é um banco de dados de código livre escrito em Java, e pode ser encontrado em <http://www.h2database.com>.

banco de dados embarcado, o qual permite o gerenciamento dos dados de forma integrada à aplicação e sem requerer instalações e configurações especiais.

O modelo lógico (Diagrama Entidade-Relacionamento – DER) do Banco de Dados construído se encontra no Apêndice C. O modelo apresenta as funcionalidades consideradas no Diagrama de Casos de Uso ilustrado na Figura 20, como também os níveis de usuários e os dados a serem armazenados. O modelo construído prevê todas as entradas (formas de interação e parâmetros) e saídas (consultas e relatórios necessários).

Dessa forma, considerando as especificidades da arquitetura do sistema e os métodos/técnicas para monitoramento das interações identificados na RS, desenvolveu-se o Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários com base na POA, por meio da extensão AspectJ (ECLIPSE, 2012). O módulo de monitoramento das interações é apresentado na subseção 4.5.2.

4.5.2. Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários

A partir das tecnologias citadas, foi definido o Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários (Figura 21). Este módulo está integrado ao SAAp, composto dos seguintes componentes:

Figura 21 - Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários

Fonte: Autor

- **Registro das interações** – são interceptadas as interações realizadas pelo participante durante a exploração no AVA 3D; adicionalmente registra-se o momento em que ocorreu cada interação e o tempo total de exploração no AVA 3D. Tais interações são registradas somente se forem previamente cadastradas pelo avaliador no Sistema de Avaliação da Aprendizagem. As interações são armazenadas em tempo real durante a execução da interação no próprio ambiente.

- **Gerenciamento do AVA 3D** – tem como propósito gerenciar o cadastro, edição ou exclusão do AVA 3D (aplicação), no qual as interações são monitoradas.

Portanto, para iniciar o SAAp, é necessário executar o arquivo (*.jar*) referente ao AVA 3D desejado. A partir da execução do AVA 3D, é exibida a interface de autenticação do sistema. Uma vez realizada a autenticação no perfil desejado, todas as atividades executadas no sistema são referentes ao AVA 3D executado inicialmente. Quando se executa pela primeira vez o AVA 3D, as informações sobre o mesmo são coletadas, a fim de gerar uma identificação única. Ao iniciar pela segunda vez o ambiente, o sistema identifica que este já foi cadastrado e as informações que foram associadas ao AVA 3D são recuperadas.

- **Configuração das formas de interações** – responsável pelo cadastro/edição/exclusão dos possíveis tipos de interações a serem monitoradas no AVA 3D, ou seja, quais os tipos de interações são possíveis de serem capturadas quando o participante estiver explorando o ambiente e quais os eventos associados. O avaliador cadastra os tipos de interações a serem monitoradas, executando-as no próprio AVA 3D.

O Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários compartilha o mesmo banco de dados do SAAp. Com a integração do módulo de monitoramento ao SAAp, pretende-se interceptar todos os eventos previamente definidos, obtendo sucesso no registro das interações dos usuários.

4.6. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAp)

O SAAp (NUNES; TESTA e NUNES, 2013) foi desenvolvido para ambientes *desktop*. Ao executar o Sistema de Avaliação da Aprendizagem, o primeiro passo é realizar o acesso do usuário no sistema de autenticação, conforme

interface ilustrada na Figura 22. A validação do sistema prevê três perfis de usuários: i) administrador; ii) avaliador e iii) participante (aluno).

Figura 22 - Interface de autenticação

Fonte: Autor

Ao acessar o sistema no perfil de avaliador, a interface ilustrada na Figura 23 é exibida ao usuário, apresentando as seguintes funcionalidades:

Figura 23 - Interface (perfil Avaliador)

Fonte: Autor

Participante (aluno) – permite buscar participante da turma, usando como chave de busca o nome do aluno, visando a consultar e/ou alterar os dados do mesmo. Para tal, o participante deve ter concluído o seu cadastro por meio da

interface de autenticação (novo cadastro), desde que este já tenha sido pré-cadastrado pelo avaliador.

Turma – o avaliador cria a turma e realiza o pré-cadastro dos participantes adicionando o *e-mail* de cada participante na referida turma.

Treinamento – o módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários apresentado na subseção 4.5.2 está integrado a esta funcionalidade, acessando-se a opção “Monitoramento das Interações” (Nova Interação e Gerenciar Interações). Antes de qualquer treinamento ser iniciado o avaliador deve cadastrar todas as interações, as quais o avaliador gostaria que fossem monitoradas quando o participante realizar o treinamento.

Ainda nesta funcionalidade (Treinamento), acessando a opção “Questionários”, é disponibilizado ao avaliador o cadastro do banco de questões. As questões cadastradas são consideradas pelo Módulo Gerador de Questionários previsto na arquitetura do sistema, que gera as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste, a partir das questões armazenadas no banco. As questões referentes às avaliações diagnósticas podem ser objetivas e/ou dissertativas/discursivas. As questões objetivas são corrigidas automaticamente pelo sistema, conforme o gabarito indicado pelo avaliador no momento do cadastro das questões. As questões dissertativas/discursivas devem ter a nota atribuída pelo próprio avaliador.

Adicionalmente, a opção “Questionários” disponibiliza o cadastro dos questionários de perfil da população e de *feedback* e das questões referentes a cada questionário.

Minhas Informações – permite visualizar e/ou alterar os dados do avaliador.

Relatórios – disponibiliza relatórios com os dados das interações dos usuários e os resultados obtidos por meio dos questionários aplicados no processo de avaliação da aprendizagem, com possibilidade de serem exportados para uma planilha eletrônica. A Figura 24 ilustra um exemplo de relatório gerado pelo sistema, o qual exibe os dados referentes às interações e avaliações diagnósticas realizadas pelos participantes.

Adicionalmente, o relatório apresenta alguns dados estatísticos, tais como média, valor mínimo e máximo e desvio padrão da amostra dos dados.

O relatório dispõe de filtro, no qual os dados dos participantes podem ser exibidos em ordem alfabética crescente ou decrescente por participante. Também é possível visualizar os dados de apenas um participante particular.

Para visualizar os resultados dos questionários de perfil e *feedback* de todos os participantes, a interface dispõe de um botão para atender a respectiva função.

Figura 24 - Exemplo de relatório gerado pelo SAAP

Participante	Nome Interação	Mouse	Teclado	Total Interações	Tempo Interações	Nota Pré-Teste	Tempo Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Tempo Pós-Teste	Diferença entre ...
Juliana Pereira ...	botão2	15	0	15	00:00:43	2,75	260:16:26	4,75	625:43:49	2,0
	botão3	34	0	34	00:01:38					
	botão4	15	0	15	00:00:43					
	botão5	9	0	9	00:00:26					
	botão6	10	0	10	00:00:29					
	botão7	12	0	12	00:00:34					
	botão8	3	0	3	00:00:08					
	botõesobre	0	0	0	00:00:00					
	circulo-plano	80	0	80	00:03:52					
	quadrado-plano	39	0	39	00:01:53					
	retangulo-plano	40	0	40	00:01:56					
	triangulo-plano	69	0	69	00:03:20					
	botão3D	76	0	76	00:03:41					
	limpar	38	0	38	00:01:50					
	botão-sair	1	0	1	00:00:02					
	trapezio	13	0	13	00:00:37					
Estatística										
Media	39,25	0,00	39,25	157,71(s)	2,15	1207046,33(s)	3,51	1044817,58(s)	1,36	
Mínimo	0,0	0,0	0,0	00:00:00	1,0	00:00:00	0,0	00:00:00	-2,5	
Máximo	569,0	0,0	569,0	00:33:41	4,0	1082:07:23	6,75	754:53:52	4,25	
Desvio Padrão	133,10	0,00	133,10	508,21(s)	0,94	953183,39(s)	2,42	852014,97(s)	2,10	

Desenvolvido pelos Grupos de Pesquisa LApIS (EACH-USP) e Interlab (Poli-USP) - 2013

Fonte: Autor

No perfil de participante (aluno), ao executar o sistema pela primeira vez, se faz necessário que o aluno complete o cadastro por meio da interface de autenticação, ilustrada na Figura 25.

Figura 25 - Interface de autenticação (participante completa cadastro)

Sistema de Avaliação da Aprendizagem - Login

Minhas informações Treinamento Avaliação

Alterar Dados x

Nome: Leandro Xxxxxx

Gênero: Masculino

Idade:

Cidade: Cuiabá

Estado: MT

Telefone:

Email: leandrocorrea.xxxxxx@hotmail.com

Desenvolvido pelos Grupos de Pesquisa LApIS (EACH-USP) e Interlab (Poli-USP) - 2013

Fonte: Autor

Após completar o cadastro, a interface ilustrada na Figura 26 é exibida ao participante. Dessa forma, o treinamento virtual e a avaliação podem ser iniciados.

Figura 26 - Interface (perfil participante) - Treinamento

Fonte: Autor

As funcionalidades disponíveis neste perfil são:

- **Minhas Informações** – permite visualizar e/ou alterar os dados do participante.
- **Treinamento** – esta funcionalidade disponibiliza duas opções (Figura 26), a fase de capacitação em AVAs 3D para promover a familiaridade com tais ambientes e a fase de treinamento virtual no AVA 3D. Ao selecionar “Iniciar Treinamento”, é disponibilizada ao participante a interface do AVA 3D referente ao objeto de estudo para que o mesmo possa interagir com o meio de aprendizagem. O módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários está integrado à operação “Iniciar Treinamento”, o que inclui o registro das interações do usuário durante a exploração no ambiente virtual.
- **Avaliação** – disponibiliza aos participantes os formulários dos questionários vinculados ao processo de avaliação da aprendizagem, como ilustra a Figura 27.

Figura 27 - Interface (perfil participante) - Avaliação

Fonte: Autor

A fim de comprovar o funcionamento do Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários integrado ao SAAP, foram conduzidos experimentos com dois estudos de caso: (1) Projeto “VIDA” (Tori *et al.*, 2009), desenvolvido pelo Interlab/USP e pelo LAPIS/EACH e (2) “CONSTRUFIG3D” desenvolvido por um grupo de pesquisadores da Universidade Severino Sombra em Vassouras-RJ, com propósito de apoiar o ensino de Geometria Plana e Espacial (MENDES; CARVALHO e CARVALHO, 2007).

4.6.1. Estudo de Caso com o Projeto “VIDA”

Os primeiros testes foram realizados com o Projeto “VIDA”. Na versão utilizada neste estudo, o ambiente “VIDA” apresenta as diferentes fases de um feto (3D) durante sua gestação, com propósito de identificar as etapas da evolução, período de gestação, entre outras informações de interesse dos alunos dos cursos da área de saúde. O ambiente possibilita apenas a interação com dispositivos comuns, como *mouse* e teclado.

Na Figura 28 pode ser observada a interface do ambiente “VIDA” agregada ao SAAP (perfil avaliador), na qual o avaliador pode interagir com o modelo tridimensional de um feto. O registro das interações é armazenado em tempo real durante a execução da interação no próprio ambiente, como ilustra a Figura 28.

Logo após a interação realizada, é exibida a interface para confirmar ou refazer a interação. Antes de qualquer treinamento ser iniciado o avaliador deve cadastrar todas as interações possíveis, as quais ele gostaria que fossem monitoradas quando o participante realizar o treinamento no ambiente virtual.

Figura 28 - Registro da interação realizada no “VIDA” agregado ao SAAp (movimento do feto)

Fonte: Autor

4.6.2. Estudo de Caso com “CONSTRUFIG3D”

Como segundo estudo de caso, foram realizados testes usando a ferramenta computacional voltada para o ensino de Geometria Plana e Espacial, denominada “CONSTRUFIG3D” (MENDES; CARVALHO e CARVALHO, 2007). Os autores desenvolveram a ferramenta para auxiliar alunos que estão iniciando o estudo de Geometria. O sistema auxilia na identificação de figuras geométricas planas e espaciais, e permite a composição de figuras espaciais a partir da seleção de figuras planas.

O ambiente apresenta os seguintes componentes: i) botões para selecionar o número de figuras planas que compõem a figura espacial (área 2D), ii) figuras planas usadas para compor a figura espacial (área 2D), iii) botões como limpar, rotacionar, sair e botão 3D que tem como finalidade criar a figura espacial a partir das informações enviadas (área 2D).

Para utilizar o ambiente o usuário escolhe de forma livre figuras geométricas planas, que irão compor uma figura espacial. Se as figuras planas escolhidas forem coerentes, o usuário irá visualizar e interagir com a figura espacial gerada na área de trabalho 3D, na qual é possível interagir com a figura, como pode

ser visto na Figura 29. O “CONSTRUFIG3D” também é integrado ao SAAp e o registro das interações é armazenado em tempo real durante a execução da interação no próprio ambiente.

Cada evento executado no “CONSTRUFIG3D” é registrado como uma interação como, por exemplo, selecionar qualquer botão que compõe a interface ou realizar movimentos com a figura espacial criada e exibida no espaço (3D). Os eventos de *zoom* e transparência também são considerados interações a serem registradas.

Figura 29 - Registro da interação realizada no “CONSTRUFIG3D” ao selecionar um botão na interface

Fonte: Autor

O “CONSTRUFIG3D” apresenta a área 3D para manipulação do objeto virtual, disponibilizando ações de rotação e escala. O sistema apresenta também uma carga expressiva de botões no componente da interface (área 2D), o que pode conduzir o usuário a uma maior frequência de interações com o ambiente, especialmente em relação às tentativas de criar diferentes figuras geométricas espaciais. Já o Projeto “VIDA” tem suas interações focadas na manipulação do ambiente usando os dispositivos *mouse* e teclado para interagir diretamente com o objeto virtual (feto), sendo possível realizar apenas interações do tipo “manipulação” como rotação, translação e escala, não apresentando nenhum outro componente na interface, a não ser o próprio objeto virtual.

Vale salientar que no perfil de participante o registro das interações também ocorre em tempo real, mas de forma transparente ao usuário, pois o aprendiz interage com o AVA 3D livremente durante o tempo estipulado pelo

avaliador, tendo as suas interações registradas automaticamente por meio do Módulo de Monitoramento das Interações dos usuários implementado no SAAP.

A partir dos testes realizados, é possível afirmar que o Módulo de Monitoramento das Interações do Usuário foi capaz de interceptar todos os eventos previamente definidos, obtendo sucesso no registro das interações. Os resultados dos testes confirmam que o uso da POA foi adequado ao desenvolvimento desta pesquisa, pois permite executar o módulo de registro das interações dos usuários em diferentes AVAs 3D. A solução adotada é válida para ambientes implementados na plataforma de programação Java, mas os conceitos podem ser expandidos para outras plataformas.

Além dos resultados obtidos em relação ao monitoramento das interações, o SAAP se mostrou adequado, pois automatizou a coleta de dados por meio dos instrumentos de avaliação implementados.

A partir de todos os dados coletados por meio do SAAP, inclusive o registro das interações durante a exploração no AVA 3D, é possível o avaliador analisar e verificar por meio de critérios e padrões se, de fato, tais ambientes estão contribuindo para a aquisição de conhecimento do aprendiz.

Como uma das contribuições desta pesquisa, pretende-se disponibilizar o Sistema de Avaliação da Aprendizagem – SAAP para uso em outras instituições, como forma de coletar dados de aprendizagem com uso de AVAs 3D.

4.7. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

A pesquisa apresentada nesta tese foi submetida ao Comitê de Ética da Escola de Artes, Ciência e Humanidades – EACH/USP, tendo sido aprovada em 13/08/2012, conforme parecer No. 81022. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido está de acordo com a Normatização da Ética em Pesquisa em Seres Humanos determinada pelo CNS 196/69 e se encontra no Apêndice D, como também o Parecer do Comitê de Ética se encontra disponível no Anexo A.

Para execução dos experimentos foram definidos os procedimentos, que se encontram divididos em quatro etapas:

Etapas I – definição do experimento: nesta etapa são estabelecidos o contexto escolar; os tipos de aquisição de conhecimento que serão explorados no contexto definido, considerando a Taxonomia de Bloom (seção 1.5); a definição do

AVA 3D a ser usado como meio de aprendizagem; o local de realização do experimento; as estratégias para selecionar os voluntários que irão participar do experimento e o contato com o especialista da área para auxiliar em todas as etapas seguintes.

Etapa II – planejamento do experimento: a fase de planejamento tem como propósito principal evitar o mínimo de desvios durante a execução do experimento. Nesta etapa realiza-se a preparação da infraestrutura, ou seja, a preparação do ambiente; o convite aos voluntários que irão colaborar com o experimento; a forma de registrar os dados das interações dos participantes no AVA 3D e a definição dos instrumentos de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste.

Nesta etapa os voluntários devem ser informados sobre os objetivos da pesquisa e as quatro fases que compõem o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento. Também deve ser salientado o caráter voluntário dos participantes. Poderão participar do experimento apenas aqueles que assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice D).

Ainda nesta etapa devem ser definidos dois outros instrumentos de coleta de dados que irão auxiliar na Etapa IV de análise e interpretação dos resultados, como o Questionário de Perfil da População, que deve ser respondido pelos voluntários antes dos mesmos realizarem a Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, e o Questionário de *Feedback* a ser aplicado após a Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

A aplicação do questionário de perfil tem como objetivo identificar o perfil dos voluntários em relação à fluência tecnológica e o nível de conhecimento sobre o objeto de estudo, para posteriormente correlacionar os resultados das avaliações diagnósticas com as características e habilidades individuais dos participantes. O questionário de *feedback* busca avaliar dois aspectos: o nível de satisfação dos voluntários com o AVA 3D e a sua percepção sobre a contribuição do AVA para o aprendizado do objeto de estudo.

Etapa III – execução do experimento: nesta etapa são registradas todas as informações do experimento e os dados são coletados por meio dos instrumentos de coleta de dados definidos na Etapa II.

Para realização dos experimentos aplicando-se o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de conhecimento, os seguintes materiais fazem parte desta etapa: i) Questionário de Caracterização do Perfil da População; ii) instrumentos de

Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste; iii) materiais necessários para capacitação no AVA 3D; iv) AVA 3D instalado nos computadores para realização do processo de aprendizagem no ambiente virtual e v) Questionário de *Feedback*.

No caso de experimentos realizados com o SAAp, os seguintes materiais fazem parte desta etapa: i) materiais necessários para capacitação no AVA 3D e ii) instalação do SAAp nos computadores. O SAAp traz consigo o Questionário de Caracterização do Perfil da População, os instrumentos de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste, o Questionário de *Feedback* e o AVA 3D a ser aplicado no processo de aprendizagem, uma vez que todo o processo de avaliação é automatizado. Adicionalmente, um *software* de gravação de vídeo pode ser instalado, como forma de *backup* do registro das interações durante a exploração no ambiente virtual.

Em ambos os experimentos, seja aplicando apenas o Modelo Teórico de Avaliação ou aplicando o SAAp, são necessários os seguintes documentos: i) relação dos participantes e ii) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido a ser assinado por cada voluntário;

Com objetivo de garantir a realização do experimento conforme planejado na Etapa II, todas as atividades que fazem parte da execução do experimento devem ser acompanhadas pelo pesquisador e pelo especialista do objeto de estudo.

Etapa IV – análise e interpretação dos dados: os dados são analisados e interpretados conforme o contexto de estudo. A análise dos resultados obtidos em cada experimento é realizada em duas etapas. Inicialmente, é apresentada uma análise descritiva dos dados e na etapa seguinte os dados são analisados por meio da Correlação de *Pearson*.

A análise dos dados deve ser realizada em conformidade com os parâmetros de avaliação identificados por meio da Revisão Sistemática e apresentados no capítulo 3 (Tabela 8). Entretanto, para os experimentos realizados nesta investigação, foram identificados como relevantes na análise dos resultados apenas os parâmetros descritos na Tabela 9.

Em geral, os parâmetros são empregados para avaliar o aprendizado em aplicações específicas. Dessa forma, podem variar de acordo com o contexto escolar dos experimentos. Saliencia-se que apesar de cada parâmetro apresentar a sua contribuição para a avaliação do aprendizado, só é possível diferenciar o

desempenho entre os participantes, analisando o conjunto de parâmetros selecionados como um todo, pois aliada aos parâmetros, tem-se uma questão importante a salientar: o fato da forma de aprendizagem depender de cada pessoa, já que algumas aprendem visualmente, outras verbalmente, algumas pessoas preferem explorar e outras deduzir, conforme já discutido na subseção 1.2.1.

Tabela 9 - Parâmetros de avaliação considerados nos experimentos

Parâmetros	Descrição
Tempo	Tempo usado no Pré-Teste, Pós-Teste e exploração no AVA 3D
Acertos/sucesso	Nível de sucesso nas avaliações diagnósticas
Interações (Ativo ou Passivo)	Interações capturadas durante a aprendizagem no AVA 3D para identificar se o participante foi ativo ou passivo ao explorar o ambiente virtual
Características Individuais	Identifica o perfil do participante e suas habilidades para correlacionar com os resultados das avaliações diagnósticas

Fonte: Autor

Vale ressaltar que foram realizados três experimentos, além do experimento exploratório, conforme ilustrado na Figura 13. A Tabela 10 apresenta um resumo com as principais informações de cada experimento, cujos detalhes sobre a condução de cada experimento serão apresentados no próximo capítulo, juntamente com os resultados dos mesmos.

Tabela 10 - Informações dos experimentos realizados

Id	Finalidade	AVA 3D	Número de Participantes	Área/Nível de escolaridade
1	Exploratório (meio convencional x ambiente virtual)	“VIDA” – Atlas Anatômico Virtual	60	Saúde/Ensino Superior
2	Validar o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (ambiente virtual)	“VIDA” – Atlas Anatômico Virtual	44	Saúde/Ensino Superior
3	Validar o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (ambiente virtual)	Jogo “Portugal 1111”	31	História/Ensino Fundamental
4	Validar o SAAP (ambiente virtual)	“CONSTRUFIG3D”	51	Matemática/Ensino Médio

Fonte: Autor

4.8. DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

De acordo com Bassanezi (1999) “Um modelo matemático é um conjunto consistente de equações ou estruturas matemáticas, elaborado para corresponder a algum fenômeno – este pode ser físico, biológico, social, conceitual ou até mesmo outro modelo matemático”.

A intenção de definir um modelo matemático adequado ao objetivo da pesquisa (definir um método para avaliar, de forma automática, a aquisição de conhecimento do aprendiz em AVAs 3D), foi uma forma de verificar a possibilidade de inferir um equacionamento a partir das interações capturadas no ambiente virtual e, assim, eliminar do Modelo Teórico de Avaliação a fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, ou pelo menos, torná-la opcional na avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D.

Primeiramente, foram realizadas análises estatísticas por meio de análise descritiva e Correlação de *Pearson*, buscando verificar o comportamento das variáveis em cada experimento, como também o comportamento das variáveis ao juntar todos os experimentos em uma única amostra. Assim, considerando o contexto dos experimentos realizados, chegou-se à conclusão que as variáveis relacionadas às interações no ambiente virtual apresentam interdependência com a nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste. Dessa forma, decidiu-se tentar inferir um equacionamento aplicando-se uma análise de Regressão Linear, como forma de definir o modelo matemático, cujos resultados serão mostrados no capítulo 6, seção 6.5.

A análise estatística foi realizada a partir dos dados obtidos com os experimentos e seguiu as etapas ilustradas na Figura 30.

Como pode ser observado no diagrama ilustrado na Figura 30, inicialmente foi realizada uma comparação entre os principais resultados dos três experimentos executados com base no Modelo Teórico de Avaliação. Na sequência, os dados dos três experimentos foram agrupados, totalizando uma amostra com 126 participantes e os métodos estatísticos citados no diagrama foram aplicados sequencialmente, como forma de alcançar o modelo matemático adequado a esta pesquisa.

Os dados dos experimentos incluem, além dos resultados obtidos com os instrumentos de avaliação diagnóstica, também as interações coletadas durante a exploração no AVA 3D.

Figura 30 - Diagrama de fases de definição do Modelo Matemático

Fonte: Autor

Cada interação registrada é classificada pelo avaliador, considerando os tipos de interações definidos por Bowman *et al.* (2005). De acordo com os autores, as interações dos usuários em ambientes virtuais 3D podem ser classificadas em:

- **Navegação** – refere-se à movimentação do usuário dentro do ambiente virtual.
- **Seleção** – consiste na escolha de um objeto virtual, que é confirmada por meio do clique do *mouse*, pressionamento de uma ou mais teclas, gesto, comando de voz ou outra ação.
- **Manipulação** – consiste na manipulação de um objeto selecionado, modificando suas características, como por exemplo, posição, rotação, escala, cor, tamanho, transparência, textura, entre outras.
- **Controle** – comandos específicos disponíveis para alterar o estado do sistema que podem ser emitidos por meio de menus, comandos de voz, comandos gestuais, entre outros.

Vale salientar, que a classificação das interações permite que o avaliador verifique qual tipo de interação está melhor explicando a nota obtida pelo aprendiz na fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

Deste modo, pretende-se alcançar um equacionamento que se ajuste aos dados dos experimentos e que possa ser aplicado de forma mais genérica possível a diversos contextos de aprendizagem por meio de AVAs 3D.

Neste estudo, foi utilizado o *software* estatístico proprietário IBM SPSS (IBM, 2013). O SPSS é um pacote de apoio à tomada de decisão, que inclui diversos métodos estatísticos. As análises realizadas foram:

- **Descritiva** – com base na amostra obtida a partir dos experimentos realizados, considera-se na análise descritiva o cálculo da média, desvio padrão e do menor e maior valor da amostra. Adicionalmente, foram analisados os valores da moda e da mediana, como forma de verificar a distribuição dos dados.

- **Histogramas** – representam graficamente a distribuição de frequência dos dados. A construção de histogramas tem função preliminar em qualquer estudo como forma de verificar se a distribuição dos dados apresenta normalidade ou não.

- **Teste t de amostras pareadas** – é um teste de hipótese que tem como função comparar duas amostras pareadas, ou seja, os mesmos sujeitos em momentos diferentes. O objetivo é testar se existe diferença de comportamento quando a amostra inclui o mesmo grupo de sujeitos, testados em dois momentos distintos (DEVORE, 2011).

- **Correlação entre variáveis** – foi aplicada com propósito de verificar a interdependência das variáveis, ou seja, verificar se existe relação entre duas variáveis. Para tal, calcula-se o coeficiente de correlação amostral r como uma medida de quão fortemente as duas variáveis x e y estão relacionadas em uma amostra. Na sequência, relaciona-se r ao nível de significância p , que evidencia se o valor de r é significativo e confiável estatisticamente (DEVORE, 2011).

Para verificar a correlação das variáveis aplicou-se a Correlação de *Pearson*. De acordo com Lazar, Feng e Hochheiser (2010), o coeficiente de Correlação de *Pearson* é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, incluindo a direção dessa correlação, se positiva ou negativa.

Esta correlação assume valores entre -1 e 1, sendo que 1 significa correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, ou seja, qualquer aumento no

score de uma variável, perfeitamente prevê uma quantidade específica de aumento na pontuação de outra variável. Analogamente, o valor -1 significa uma correlação negativa perfeita, mas inversa, ou seja, se uma aumentar, a outra sempre diminui. Finalmente, o valor zero significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra; em outras palavras, o aumento ou decréscimo de uma variável não prevê quaisquer alterações em outra variável (LAZAR; FENG e HOCHHEISER, 2010).

A Correlação de *Pearson* foi classificada em todos os experimentos como perfeita ($r=1$), forte ($r \geq 0,7$), moderada ($r \geq 0,4$), fraca ($r < 0,4$) e inexistente ($r=0$), podendo ser positiva ou negativa (LAZAR; FENG e HOCHHEISER, 2010). O nível de significância para o teste foi de 5%.

▪ **Regressão Linear Múltipla ou Multivariável** – aplicou-se uma regressão linear múltipla para prever o valor da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, a partir dos dados coletados nos experimentos realizados. A formulação do modelo de regressão linear múltipla é representada pela Equação (1):

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

onde y é a variável resposta, x são as variáveis independentes e ε na equação do modelo é uma variável aleatória, considerada normalmente distribuída quando

$$E(\varepsilon) = 0 \text{ e } V(\varepsilon) = \sigma^2, \text{ sendo } E = \text{média e } V = \text{variância.}$$

Vale ressaltar, que a variável resposta y se refere à nota predita (nota do aluno) calculada a partir dos dados coletados durante a exploração no ambiente virtual. Quanto as variáveis independentes x , estas se referem aos dados coletados e registrados a partir das interações do aprendiz durante a exploração no ambiente virtual, incluindo o tempo de interação.

Porém, como verificar se a equação foi bem estimada, ou melhor, se representa bem a relação entre as variáveis? Uma maneira de avaliar é por meio da diferença entre os valores amostrais reais (Y) e os valores estimados ($\hat{Y}$). Essa diferença denomina-se resíduos. Deste modo, para evidenciar a validade da regressão linear aplica-se a análise de resíduos.

O coeficiente de determinação, representado por R^2 , obtido por meio da regressão linear múltipla, é considerado na análise da regressão. Quanto maior o valor de R^2 , melhor o modelo de regressão linear consegue explicar a variação y ,

considerando que quanto mais próximo de 1 (um) melhor a medição dos dados. Se o R^2 se aproximar de 0 (zero), em geral, o analista deve procurar um modelo alternativo que possa explicar de forma mais eficiente a variação y .

O coeficiente de determinação é dado por:

$$R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT} \quad (2)$$

Onde, **SQE** é a soma dos quadrados dos erros que pode ser interpretada como uma medida de quantidade de variação em y , que não foi explicada pelo modelo; **SQT** é a soma total dos quadrados, que trata da soma dos desvios quadrados ao redor da média amostral dos valores observados de y (DEVORE, 2011).

▪ **Análise de resíduos** – o fato do coeficiente de determinação (R^2) ser significativo, não implica necessariamente que a relação encontrada seja o modelo mais adequado. Assim, são necessárias outras análises a partir dos resultados da regressão linear. De acordo com Devore (2011), uma abordagem eficaz para avaliar a adequação do modelo é analisar os resíduos, que é dado por $\epsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$, isto é, calcula-se a diferença da resposta (y) entre o valor real encontrado na amostra e o valor predito pela regressão linear. Em seguida, representam-se graficamente os resultados dos resíduos, por meio de gráfico de dispersão e gráfico de distribuição dos resíduos. Deste modo, examinam-se os gráficos para confirmar a opção do modelo ou para obter indicadores de que o modelo não é apropriado.

No caso da amostra não ser normalmente distribuída, adicionalmente, busca-se um melhor resultado para o coeficiente de determinação (R^2), como também resíduos mais próximos de zero, aplicando-se a regressão linear múltipla com as variáveis transformadas. A transformação dos dados estabiliza a variância e aproxima os dados da normalidade.

Devore (2011) recomenda que a transformação apropriada seja uma transformação logarítmica – logaritmo base 10 ou logarítmica natural (base e) quer da variável resposta (y), quer de uma ou várias das variáveis independentes (x). Neste estudo, aplicou-se a transformação logarítmica natural nas variáveis independentes – $\ln(x_1)$, $\ln(x_2)$, ..., $\ln(x_k)$, por manter a hierarquia dos dados, pois quando um dado original é maior do que outro, os seus logaritmos mantêm essa mesma ordenação hierárquica, ainda que os próprios valores numéricos passem a

ser diferentes.

Ressalta-se que nos métodos de teste t de amostras pareadas, correlação de variáveis e regressão linear múltipla, verifica-se o nível de significância dos resultados obtidos, isto é, a credibilidade da resposta. O erro considerado pode ser de até 5%, logo o nível de significância considerado é de 5% e nível de confiança 95%. Se o erro for maior que 5% a variável não impacta na amostra (DEVORE, 2011).

4.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os materiais e métodos aplicados no desenvolvimento desta pesquisa, que tem como objetivo propor um método para avaliar a aquisição de conhecimento, de forma automática, em AVAs 3D.

Em síntese, foram realizados vários experimentos que serviram de base para alcançar o modelo matemático mais adequado à hipótese levantada neste estudo, iniciando por um experimento exploratório que buscou evidenciar a motivação dos estudantes em usar como meio de aprendizagem AVAs 3D.

Para sistematizar a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, foi definido o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento. A arquitetura do sistema com base no Modelo Teórico de Avaliação prevendo o monitoramento as interações dos usuários de forma automática, foi implementada, dando origem ao Sistema de Avaliação da Aprendizagem - SAAP.

Visando a testar o Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários, que se encontra integrado ao SAAP, estudos de caso foram aplicados. Os resultados mostraram ser possível monitorar as interações, de forma automática e não intrusiva ao código fonte da aplicação. O uso da POA para monitorar as interações dos usuários se mostrou adequada. No entanto, é um objetivo difícil de ser alcançado completamente, visto que certas particularidades do código fonte podem confundir os métodos responsáveis pelo monitoramento. Entretanto, verificou-se que nos AVAs 3D utilizados como estudo de caso, como também na realização do experimento com o SAAP a ser apresentado no capítulo 5, o módulo de monitoramento mostrou-se adequado.

Em seguida, foi definida uma metodologia para condução dos experimentos. Os experimentos têm como propósito validar o Modelo Teórico de Avaliação e a arquitetura do sistema SAAp.

Por fim, para definição do Modelo Matemático os dados coletados a partir dos experimentos realizados foram analisados por meio de métodos estatísticos usando o *software* IBM SPSS na versão 22.

O próximo capítulo apresenta em detalhes a condução dos experimentos realizados, como também os resultados obtidos, seguidos de uma análise estatística.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados dos experimentos relacionados na Tabela 10 (seção 4.7), que foram realizados no decorrer da investigação.

Inicialmente, apresentam-se os resultados do estudo experimental exploratório realizado com estudantes da área de saúde, com propósito de investigar se o meio de aprendizagem influencia no nível de aquisição de conhecimento do aprendiz.

Os demais resultados se referem aos experimentos realizados com base no Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento, incluindo um experimento realizado com o SAAp, implementado com base no Modelo Teórico de Avaliação.

Todos os resultados estão embasados em análises estatísticas, que incluem: análise descritiva e análise de correlação das variáveis por meio da Correlação de *Pearson*.

5.2. ESTUDO EXPERIMENTAL EXPLORATÓRIO

Como apresentado na seção 4.2, o primeiro experimento conduzido teve como objetivo verificar a motivação dos estudantes em relação ao uso de AVAs 3D como ferramenta de aprendizagem, comparando-se o meio convencional de ensino (imagens bidimensionais impressas) com o AVA 3D. O experimento foi realizado com 60 estudantes da área de saúde interessados no estudo de Anatomia Humana. Deste total, tem-se 37 alunos do primeiro período do curso de Medicina e 23 alunos do primeiro período do curso de Nutrição. Os 60 alunos foram divididos igualmente em dois grupos: grupo de controle e grupo experimental.

No grupo experimental o aprendizado se deu por meio do AVA 3D do Projeto “VIDA”, enquanto no grupo de controle o aprendizado se deu por meio de uma imagem 2D retirada dos livros de Anatomia Humana. Em ambos os grupos a imagem da pélvis feminina com indicação de dez legendas para memorização foi dada como objeto de estudo, com um diferencial no meio de aprendizagem.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da prova escrita sobre o objeto de estudo, verificou-se uma diferença significativa na média geral ao se comparar os dois grupos. O grupo de controle apresentou uma média de 81% de acertos, enquanto no grupo experimental a média foi de 95%, sendo possível observar que a média das notas da prova do grupo experimental foi superior à média das notas do grupo de controle.

Ao analisar a diferença entre as médias dos dois grupos, embora a análise seja limitada ao escopo apresentado, há indícios de que o estudo realizado usando imagens bidimensionais, nas quais o aluno apenas vê e aplica dicas mnemônicas para facilitar a memorização das estruturas anatômicas, pode não ser tão eficiente se comparada ao estudo realizado no computador, por meio de um AVA 3D, no qual o aluno vê, interage e executa.

Para análise dos dados obtidos, foi considerado o conjunto de parâmetros apresentados na seção 4.7 (Tabela 9), que inclui: i) tempo, acertos/sucesso, interações e diferenças individuais.

Em relação ao parâmetro “tempo”, o especialista da área estimou cinco minutos para a execução da tarefa, sendo que neste experimento a maior parte do grupo experimental não usou todo o tempo estimado e, mesmo assim, obteve resultados melhores na prova escrita. Este é um parâmetro importante a ser avaliado pelo especialista do domínio, pois não pode ser excessivo e nem insuficiente.

Quanto ao parâmetro “interações”, pode-se afirmar que os participantes do grupo experimental foram muito ativos no ambiente 3D, pois apresentaram uma média de 29 interações por minuto (quantidade considerada empiricamente alta), incluindo translações, rotações e *zoom*. Portanto, a interação com o objeto de estudo pode ter sido um fator motivador que contribuiu para o aprendizado mais efetivo do grupo experimental. Partindo desse pressuposto e considerando a aprendizagem por descoberta, que é uma característica das teorias cognitivas, este parâmetro pode ser explorado para avaliar o aprendizado do aluno, uma vez que há indícios que quanto maior a interação com o objeto de estudo, maior a probabilidade de se adquirir conhecimento.

Quanto ao parâmetro “diferenças individuais”, nota-se que os participantes apresentaram características e habilidades semelhantes, como apresentado na Tabela 11. Este parâmetro deve ser considerado para uma análise

qualitativa do perfil dos usuários que, em conjunto com outros parâmetros que resultaram em uma análise quantitativa, torna possível comparar o AVA 3D com o paradigma tradicional (uso de imagens 2D estáticas) e assim obter uma análise crítica da contribuição do ambiente virtual para a aprendizagem.

Após a aplicação da prova escrita, os alunos do grupo experimental responderam a um questionário *on-line*, contendo dez perguntas, elaborado de acordo com a escala *Likert*¹⁷, sendo 1=fortemente inexperiente, 2=inexperiente, 3=neutro, 4=experiente e 5=fortemente experiente (afirmações de 1 a 3). Quanto às afirmações de 4 a 10, considera-se 1=discordo totalmente, 2=discordo, 3=neutro, 4=concordo e 5=concordo totalmente. A Tabela 11 sintetiza os resultados obtidos com a aplicação do questionário.

Tabela 11 - Avaliação geral do questionário

Itens avaliados	1	2	3	4	5	Média
1. Nível de experiência em RV	17%	23%	40%	20%	0%	2,6
2. Nível de conhecimento em anatomia humana	3%	67%	23%	7%	0%	2,4
3. Nível de conhecimento da pelve feminina	3%	57%	27%	13%	0%	2,5
4. Obteve sensação do efeito 3D (o objeto se projetou à frente da tela)	0%	0%	3%	0%	97%	4,9
5. Os recursos de interação proporcionaram a sensação de estar manipulando o esqueleto pélvico feminino	0%	0%	7%	40%	53%	4,5
6. O AV retratou com fidelidade a experiência do mundo real	0%	0%	10%	63%	27%	4,2
7. Os recursos de interação foram suficientes para o aprendizado	0%	0%	0%	20%	80%	4,8
8. As legendas estavam bem posicionadas favorecendo a memorização	0%	7%	17%	67%	10%	3,9
9. O AVA 3D foi motivador para os estudos de Anatomia Humana	0%	0%	0%	10%	90%	4,9
10. O AVA 3D proposto é útil para uma fase de pré-estudo antes de usar o laboratório físico	0%	0%	0%	10%	90%	4,9

Fonte: Autor

Os resultados do questionário mostraram que o nível de experiência dos participantes em sistemas de Realidade Virtual foi mediano (60% nos níveis 3 e 4), isto se justifica pelo fato dos participantes serem da “geração jogador”. Já o nível de conhecimento de Anatomia Humana foi considerado baixo (70% nos níveis 1 e 2),

¹⁷ É um tipo de escala de resposta psicométrica usada comumente em questionários, composta por um conjunto de frases (itens), o qual se pede ao sujeito que está a ser avaliado para manifestar o grau de concordância. Ao responderem a um questionário baseado nesta escala, os sujeitos especificam seu nível de concordância com uma afirmação (CUNHA, 2007).

confirmado pelo fato dos alunos estarem iniciando o primeiro ano do curso e terem frequentado poucas aulas de Anatomia até a data do experimento.

Em relação às funcionalidades do sistema, tais como os recursos de interação e o *design* dos modelos anatômicos do objeto em estudo, pode-se afirmar que foram satisfatórias (itens 4 a 7 acima de 90% nos níveis 4 e 5), evidenciada pelas médias obtidas. Quanto ao posicionamento das legendas, alguns participantes não se sentiram confortáveis, sugerindo alterações (24% nos níveis 2 e 3). Entre as observações dos usuários foi destacado que seria melhor que o ambiente não mostrasse todas as legendas do objeto de uma única vez, sendo solicitado separá-las em camadas e, conforme a interação do usuário com uma parte da estrutura, a legenda poderia aparecer ou desaparecer do monitor de vídeo.

Vale ressaltar que alguns participantes não conseguiram obter de forma plena a sensação do objeto se projetando à frente da tela. Este fato pode ter ocorrido porque portadores de daltonismo podem apresentar dificuldade de visualização do efeito 3D, quando se utiliza a técnica do anaglifo para visualização estereoscópica. No entanto, esta possibilidade não foi confirmada, isto porque problemas de visão não foram discriminados no questionário demográfico.

Dessa forma, considerando os resultados do experimento, pode-se afirmar que os participantes se sentiram motivados para usar o AVA 3D como meio de estudo, mostrando inclusive que o ambiente virtual proporcionou maior aquisição de conhecimento, quando comparado com o método tradicional de ensino que utiliza imagens bidimensionais de materiais didáticos como forma de memorização das estruturas anatômicas.

No entanto, não basta ter motivação, uma questão importante a ressaltar é medir o quanto um AVA 3D pode contribuir para a aquisição de conhecimento do aprendiz. Deste modo, os resultados do experimento foi um fator motivador na definição do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento proposto nesta pesquisa e apresentado em detalhes no capítulo 4, seção 4.3. As próximas seções apresentam os resultados dos experimentos realizados, de forma sistematizada, considerando o Modelo Teórico de Avaliação.

5.3. VALIDAÇÃO DO MODELO TEÓRICO DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

5.3.1. Estudo Experimental – VIDA (*Virtual and Interactive Distance-Learning on Anatomy*)

Esta seção apresenta os primeiros resultados obtidos a partir de um estudo experimental realizado com o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento proposto nesta pesquisa.

O experimento foi conduzido com estudantes da área de saúde, interessados no aprendizado de Anatomia Humana, tendo como ferramenta de apoio ao ensino o ambiente virtual 3D “VIDA”, já apresentado na seção 4.2.

Este experimento contempla uma das formas de aquisição de conhecimento prevista na Taxonomia de Bloom. O Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento, em estudo, é capaz de avaliar a aprendizagem em todos os níveis de conhecimento. Porém, o experimento explorou apenas a categoria **Lembrar**, tendo em vista que o objeto de estudo é sobre Anatomia Humana e o experimento consistia em memorizar partes de uma estrutura anatômica, para posteriormente recuperar o conhecimento adquirido. Portanto, as estratégias utilizadas pelo AVA 3D aplicado no estudo estimula o desenvolvimento cognitivo apenas no nível **Lembrar**.

Como já explicado na seção 4.3, em síntese o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento considera quatro etapas importantes, a saber: i) avaliar o conhecimento prévio do aprendiz antes do mesmo executar o treinamento virtual; ii) capacitar o aprendiz a usar ambientes virtuais 3D; iii) capturar as interações/ações do aprendiz no AVA 3D durante o aprendizado no ambiente virtual, buscando compreender como ocorreu o processo cognitivo e iv) avaliar o conhecimento do aprendiz após o aprendizado no ambiente virtual, buscando verificar a sua evolução.

A preparação e a realização do experimento seguiram as atividades descritas na seção 4.7 (condução dos experimentos), nesta ordem: i) preparação da infraestrutura; ii) aplicação do Questionário de Caracterização do Perfil; iii) Avaliação Diagnóstica Pré-Teste; iv) capacitação no AVA 3D; v) processo de aprendizagem no AVA 3D; vi) Avaliação Diagnóstica Pós-Teste e vii) aplicação do Questionário de

Feedback. Os detalhes específicos da condução deste experimento são apresentados na próxima subseção.

5.3.1.1. Condução do Experimento

A. Participantes

Participaram do experimento 44 voluntários, estudantes do primeiro período dos cursos de Medicina, Nutrição e Biologia da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Para convidar os voluntários a participarem do experimento, contou-se com a receptividade do professor da disciplina de Anatomia Humana da Faculdade de Medicina da UFMT, sendo que dos 44 voluntários, 30 alunos são do curso de Medicina, 10 alunos do curso de Nutrição e 4 alunos de Biologia.

Cada turma convidada a participar do experimento era composta de aproximadamente 40 alunos, sendo que houve um maior interesse dos alunos do curso de Medicina. Os participantes foram divididos em grupos de cinco alunos, tendo sido previamente agendados os horários para cada grupo realizar o experimento no local apropriado, porém de forma individual.

Quanto ao perfil dos voluntários, 50% dos alunos eram do sexo feminino e 50% do sexo masculino, com idade média de 20 anos. Ainda para caracterizar o perfil dos participantes, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de Caracterização do Perfil (Apêndice E).

O questionário foi elaborado de acordo com a escala *Likert*, sendo 1=fortemente inexperiente, 2=inexperiente, 3=neutro, 4=experiente e 5=fortemente experiente (afirmações de 1 a 5). Quanto ao item 6, a escala foi determinada como: 1=extremamente difícil, 2=difícil, 3=neutro, 4=fácil e 5=extremamente fácil. A Tabela 12 apresenta os resultados.

Tabela 12 - Resumo dos resultados do questionário de caracterização do perfil (“VIDA”)

Itens avaliados	1	2	3	4	5	Média
1. Habilidade para usar o computador	0%	7%	17%	54%	22%	3,9
2. Habilidade para usar a Internet	0%	2%	4%	43%	50%	4,4
3. Experiência em sistemas de Realidade Virtual	39%	28%	22%	7%	4%	2,0
4. Conhecimento sobre Anatomia Humana	11%	41%	46%	2%	0%	2,4
5. Conhecimento sobre pélvis feminina	24%	39%	33%	2%	2%	2,2
6. Dificuldade em memorizar o conjunto de estruturas anatômicas	9%	20%	63%	9%	0%	2,8

Fonte: Autor

Observando os dados apresentados na Tabela 12, nota-se que os participantes possuem boa experiência em usar o computador e navegar na Internet (itens 1 e 2 acima de 75% nos níveis 4 e 5). Quanto ao nível de experiência com uso de sistemas de Realidade Virtual, em geral os participantes se consideram medianos (50% nos níveis 2 e 3), justificável pelo fato dos voluntários estarem familiarizados com ambientes virtuais 3D quando jogam *videogames*.

O nível de conhecimento de Anatomia Humana e da pelve feminina (estrutura anatômica usada no experimento) foi considerado mediano (item 4 – 85% nos níveis 2 e 3; item 5 – 72% nos níveis 2 e 3), evidenciado pelo fato dos alunos estarem iniciando o primeiro ano do curso de graduação e já terem frequentado aulas de Anatomia até a realização do experimento. Em relação ao nível de dificuldade em memorizar a elevada quantidade de estruturas anatômicas, os resultados mostraram que em geral os participantes consideraram ser uma tarefa razoavelmente difícil (83% nos níveis 2 e 3).

B. Capacitação no AVA 3D

De acordo com o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento é necessário o participante passar por uma capacitação antes de usar o AVA 3D pela primeira vez.

Neste experimento foi apresentada aos participantes uma estrutura anatômica diferente daquela usada como objeto de estudo, usando o Projeto “VIDA”. Para visualização do objeto lhes foi entregue um par de óculos descartável de duas cores com filtros coloridos, produzindo o efeito 3D desejado, usando a técnica de anaglifos. Em seguida, foram apresentados os comandos de interação com os dispositivos *mouse* e teclado e foram previstos cinco minutos para os participantes interagirem com o objeto no AVA 3D.

C. Instrumentos de Avaliação

Considerando a particularidade do tipo de aquisição de conhecimento neste experimento, que envolve estritamente memorização de partes de uma estrutura anatômica, os participantes foram submetidos a uma mesma avaliação escrita tanto na fase de pré-teste quanto na fase de pós-teste (Anexo B), na qual deveriam escrever os nomes das partes indicadas pelas setas, com o objetivo de medir o nível de aprendizado das partes da estrutura pélvica feminina apresentada.

A imagem utilizada no instrumento de coleta de dados para avaliação da aprendizagem nas etapas de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste é ilustrada na Figura 31.

Após realizar a aprendizagem no AVA 3D os participantes foram convidados a repetir a avaliação diagnóstica na fase de pós-teste usando a mesma imagem ilustrada na Figura 31. O propósito foi avaliar o nível de aprendizado de memorização dos participantes após realizarem o estudo por meio do AVA 3D. Os resultados obtidos com a avaliação são apresentados e discutidos na subseção 5.3.1.2.

Figura 31 - Pélvis feminina com indicação para as legendas

Fonte: Sobotta (2000)

Em seguida à Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de *Feedback* (Apêndice F).

D. Processo de Aprendizagem com o ambiente “VIDA”

Durante a etapa de aprendizado no ambiente virtual os participantes realizaram um estudo de memorização de dez partes específicas da pélvis feminina, por meio de uma estrutura anatômica virtual e legendas 3D disponíveis no ambiente “VIDA”. Além da visualização, o participante teve a oportunidade de interagir diretamente com o objeto em estudo, executando operações de rotação, translação e *zoom* com os dispositivos *mouse* e teclado. Também foi facultado ao participante ocultar e exibir as camadas, para melhor visualização das partes internas da pelve e das legendas. Um exemplo da imagem 3D capturada do sistema “VIDA” é ilustrado na Figura 32.

Figura 32 - Pelve Feminina com parte das legendas

Fonte: Autor

Foi determinado pelo professor de Anatomia Humana, o tempo aproximado de cinco minutos para memorizar as dez legendas colocadas na imagem da estrutura óssea da pelve feminina. Contudo, cada participante explorou o ambiente conforme sua necessidade, variando entre 2 min e 15min58seg.

5.3.1.2. Resultados e Discussões do Experimento

Para analisar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento foram considerados os parâmetros apresentados na seção 4.7 (Tabela 9). Inicialmente, esta seção apresenta uma análise descritiva dos dados e então os dados são analisados de acordo com a Correlação de *Pearson*.

Os resultados obtidos com as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste são usados para avaliar a progresso da aprendizagem por meio da exploração no AVA 3D. Portanto, a análise considera o número de respostas corretas (nota) de 0 a 10, que se refere ao parâmetro “acertos/sucesso” e o tempo dispendido na condução da avaliação em ambas as fases, que se refere ao parâmetro “tempo”. A Tabela 13 apresenta um resumo dos resultados, na qual é possível verificar se houve progresso entre as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste.

Este progresso é notável pelo aumento significativo da média de respostas corretas (nota) obtida pelos participantes: 2,7 pontos no Pré-Teste e 7,9 pontos no Pós-Teste, representando uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0.01$). A evolução da aprendizagem é também confirmada observando o menor e maior número de acertos obtidos (nota), em ambas as fases de avaliação.

Adicionalmente, o valor do desvio padrão da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste mostra que os dados são homogêneos e os resultados estão próximos da média, enquanto que o desvio padrão da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste evidencia

que há uma dispersão dos dados em relação à média, tratando-se de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada.

Tabela 13 - Resumo dos resultados a partir das avaliações diagnósticas – experimento com o ambiente “VIDA”

	Pré-Teste		Pós-Teste	
	Nota	Tempo (mm:ss)	Nota	Tempo (mm:ss)
Média	2,7	5:31	7,9	3:57
Desvio Padrão	2,1	2:27	1,9	2:17
Mínimo	0,0	2:00	3,0	1:00
Máximo	7,0	10:00	10,0	10:00

Fonte: Autor

As médias referentes ao tempo dedicado às avaliações mostram que os participantes empregaram maior tempo na Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, o que leva a acreditar que devido à aquisição de conhecimento proporcionada pelo ambiente virtual, o participante foi mais direto nas respostas da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

Para a fase de aprendizagem no AVA 3D a análise considera os parâmetros “tempo” e as “interações dos participantes no ambiente virtual”. Em relação ao primeiro parâmetro, considera-se o tempo que o participante permaneceu no AVA 3D. Quanto ao segundo parâmetro, foram registradas as interações relacionadas aos movimentos de translação, rotação, *zoom* e visualização da estrutura anatômica por camadas.

De acordo com os tipos de interações definidos por Bowman *et al.* (2005) e apresentados na seção 4.8, o ambiente “VIDA” dispõe apenas das interações “manipulação” e “controle”. A Tabela 14 apresenta a classificação das interações registradas durante a fase de exploração no AVA 3D.

Tabela 14 - Classificação das interações registradas no ambiente “VIDA”

Interação registradas no “VIDA”	Classificação
Rotação, translação e <i>zoom</i>	Manipulação
Visualização da estrutura anatômica por camadas (remove e/ou adiciona camadas para melhor visualização das partes)	Controle

Fonte: Autor

Um resumo dos resultados de todas as interações executadas pelos participantes no AVA 3D é apresentado na Tabela 15, incluindo as interações do tipo “manipulação” e “controle”, o “total geral de interações” e o “tempo de exploração no AVA 3”, como forma de identificar a intensidade de envolvimento dos participantes e avaliar se eles foram ativos ou passivos durante o processo de aprendizagem.

Tabela 15 - Resumo dos resultados do nível de interações por tipo

	Tipos de Interações			
	Manipulação	Controle	Total Interações	Tempo (mm:ss)
Média	178,7	39,0	216,5	8:28
Desvio Padrão	34,8	25,2	47,0	4:36
Mínimo	72	1	117	2:00
Máximo	255	124	353	15:58

Fonte: Autor

Observando a média de interações apresentada na Tabela 15, nota-se uma maior concentração nas interações do tipo “manipulação”. Acredita-se que isto ocorra pelo fato do AVA 3D permitir ao participante visualizar as legendas sem necessidade de retirar as camadas. Deste modo, as interações do tipo “controle” é apenas uma opção para visualizar as camadas separadamente, proporcionando maior conforto na visualização, mas que não interfere na aquisição de conhecimento do aprendiz.

O desvio padrão resultante das interações “controle” e do “tempo de exploração no ambiente virtual” indica que se trata de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada. Adicionalmente, observando o valor mínimo e máximo da amostra percebe-se uma diferença mais acentuada nas interações do tipo “controle” e “tempo de exploração”. Em relação ao tempo de exploração, encontra-se participante que permaneceu apenas 2min explorando o AVA 3D, enquanto outro participante levou 15min58seg, o que caracteriza um comportamento diversificado. Entretanto, em relação ao tipo de interação “manipulação” e ao “total de interações gerais” o resultado do desvio padrão mostra que os dados são homogêneos e os resultados estão próximos da média.

Deste modo, percebe-se que em geral os voluntários tiveram uma participação ativa durante o processo de aprendizagem no AVA 3D, uma vez que a média do total geral de interações é de 27 interações por minuto e a média do tempo de exploração no ambiente virtual superou o tempo estimado pelo especialista.

O próximo passo da análise considerou a Correlação de *Pearson* para identificar as possíveis relações entre os dados de interações e os resultados das avaliações diagnósticas. A classificação da Correlação de *Pearson* foi apresentada na seção 4.8.

A Tabela 16 mostra um resumo da matriz de correlações considerando as variáveis disponíveis a partir dos instrumentos de coleta de dados.

Uma correlação forte foi encontrada em relação às interações do tipo “manipulação” e a “nota obtida na fase de pós-teste”, com valor de r igual a 0,89 e nível de confiança $> 99.9\%$. Isto mostra que quando aumentam as interações “manipulação” durante a exploração no AVA 3D, a nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste tende a aumentar. Dessa forma, acredita-se que as interações “manipulação” apresentam uma contribuição no aprendizado por meio do AVA 3D, explicando aproximadamente 79% das notas.

Tabela 16 - Resultado dos testes da Correlação de *Pearson* entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações ($N = 44$)

Avaliações Diagnósticas			
Variáveis/Experimento	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste - Pré-Teste)
Interação Geral	$r (-0,063) - p (0,687)$	$r (0,168) - p (0,265)$	$r (0,247) - p (0,097)$
Interação Manipulação	$r (0,057) - p (0,712)$	$r (0,890) - p (0)$	$r (0,611) - p (0)$
Interação Controle	$r (-0,195) - p (0,204)$	$r (0,024) - p (0,879)$	$r (0,177) - p (0,250)$
Tempo exploração	$r (-0,643) - p (0)$	$r (0,482) - p (0,001)$	$r (0,882) - p (0)$

Fonte: Autor

Adicionalmente, uma correlação moderada ainda é encontrada entre as interações do tipo “manipulação” e a “evolução das notas”. A evolução das notas corresponde ao cálculo da diferença entre as fases de pós-teste e pré-teste. Isto evidencia que o participante que interagiu mais intensamente com o ambiente virtual por meio das interações do tipo “manipulação”, obteve maior diferença entre as notas obtidas nas Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste.

Observando os resultados apresentados na Tabela 16, nota-se uma correlação moderada negativa em relação ao “tempo de exploração no AVA 3D” e a “nota obtida na fase de pré-teste”, com valor de r igual a -0,643. Isto mostra que quando os participantes tiveram quantidade menor de respostas corretas na fase de pré-teste, mais tempo eles permaneceram explorando o AVA 3D durante a fase de

aprendizagem. Em relação ao “tempo de exploração no AVA 3D” e a “nota do pós-teste” foi encontrada uma correlação moderada, com valor de r igual a 0,482. Por fim, verifica-se uma correlação forte entre o “tempo de exploração no AVA 3D” e a variável “evolução das notas”, com valor de r igual a 0,882, evidenciando que o progresso da aprendizagem neste experimento esteve relacionado ao aumento do tempo de exploração no AVA 3D. Todas as correlações citadas possuem nível de confiança $> 99.9\%$.

Buscando confirmar se o tempo de exploração no AVA 3D tem relação com as interações realizadas, a Tabela 17 exibe as correlações encontradas. Deste modo, é possível verificar se o participante, de fato, interagiu com o ambiente virtual ao permanecer mais tempo no AVA 3D.

Tabela 17 - Resultado dos testes da Correlação de *Pearson* entre as variáveis de interação e o tempo de exploração no ambiente “VIDA”

Variáveis/experimento	Tempo de exploração no AVA 3D
Interação Geral	$r (0,469) - p (0,001)$
Interação Manipulação	$r (0,509) - p (0)$
Interação Controle	$r (0,173) - p (0,262)$

Fonte: Autor

Os resultados apresentados na Tabela 17 evidenciam que quanto maior a permanência do participante no AVA 3D, maior a quantidade de interações gerais no ambiente, especialmente as interações “manipulação”, que apresentou correlação moderada com valor de r igual a 0,509 e nível de confiança $> 99,9\%$.

Deste modo, percebe-se que no contexto apresentado o Projeto “VIDA” contribuiu para o progresso da aprendizagem dos participantes do experimento e o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento foi capaz de medir como e quanto o AVA 3D colaborou para a aprendizagem.

Na sequência, como parte dos instrumentos de coleta de dados os participantes foram convidados a responder o Questionário de *Feedback*. O questionário foi projetado de acordo com a escala *Likert*, sendo: 1=discordo totalmente, 2=discordo parcialmente, 3=neutro, 4=concordo parcialmente e 5=concordo totalmente. A Tabela 18 sumariza os resultados obtidos com a aplicação do questionário.

Tabela 18 - Resumo dos resultados do Questionário de *Feedback* (“VIDA”)

Itens avaliados	1	2	3	4	5	Média
1. Sensação de que o objeto se projetava a frente da tela (visualização 3D)	0%	0%	11%	36%	53%	4,4
2. Sensação de estar manipulando o esqueleto pélvico feminino	0%	0%	6%	55%	38%	4,3
3. Houve similaridade com sua experiência do mundo real	0%	11%	13%	49%	28%	4,0
4. Os recursos de interação contribuíram para o aprendizado	0%	4%	6%	32%	57%	4,4
5. As legendas estavam bem posicionadas	4%	11%	36%	30%	19%	3,5
6. O uso do AVA 3D foi motivador para o estudo	0%	0%	0%	19%	81%	4,8
7. Considera o AVA 3D útil como uma fase de pré-estudo antes de usar o laboratório físico	0%	0%	9%	19%	72%	4,6

Fonte: Autor

Em relação ao nível de satisfação dos usuários com o AVA 3D, incluindo os recursos de interação, a visualização 3D, o *design* dos modelos anatômicos e a similaridade com a experiência no mundo real, pode-se afirmar que os participantes se mostraram satisfeitos, tendo em vista que as médias estão próximas do valor máximo da escala *Likert* (5). Os voluntários consideraram o uso do ambiente “VIDA” motivador e útil como uma fase de pré-estudo antes de usarem o laboratório físico, evidenciado pelos resultados apresentados nos itens 6 e 7 na Tabela 18 (próximo de 100% nos níveis 4 e 5).

Alguns participantes sugeriram mudanças no posicionamento das legendas para tornar a visualização mais confortável (51% nos níveis 1, 2 e 3). Dentre as recomendações, sugere-se que o ambiente virtual não exiba todas as legendas da estrutura anatômica no monitor, separando-as por camadas.

5.3.2. Estudo Experimental – Jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”

Como forma de verificar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento, realizou-se durante o período de Doutorado Sanduíche na Universidade de Coimbra um segundo estudo experimental. Neste experimento, aplicou-se o jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure” como AVA 3D. O Modelo Teórico de Avaliação foi aplicado a fim de averiguar como e quanto o AVA 3D colabora com o processo de aquisição de conhecimento, verificando inclusive, se as interações proporcionadas pelo ambiente virtual contribuem para a aquisição de conhecimento dos aprendizes.

O experimento foi conduzido com estudantes do sexto ano de escolaridade, que exploraram o jogo de estratégia “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”, o qual aborda a temática da “Reconquista” e ocupação territorial de Portugal, dentro do domínio de História. Os resultados obtidos a partir deste estudo são apresentados nesta subseção.

A diferença principal entre este experimento e o experimento apresentado anteriormente (subseção 5.3.1) se refere à forma de aquisição de conhecimento. Uma vez que, considerando os tipos de aquisição de conhecimento proposto na Taxonomia de Bloom (seção 1.5), tanto na versão original quanto atualizada, pode-se afirmar que todos os níveis de aquisição de conhecimento (lembrar, compreender, aplicar, analisar, criar, avaliar) foram explorados e estimulados a partir das estratégias aplicadas no AVA 3D escolhido para este experimento.

A preparação e realização do experimento seguiram as atividades descritas na seção 4.7 (condução dos experimentos), nesta ordem: i) preparação da infraestrutura; ii) aplicação do Questionário de Caracterização do Perfil; iii) Avaliação Diagnóstica Pré-Teste; iv) capacitação no AVA 3D; v) processo de aprendizagem no AVA 3D; vi) Avaliação Diagnóstica Pós-Teste e vii) aplicação do Questionário de *Feedback*. Os detalhes específicos da condução deste experimento são apresentados na subseção 5.3.2.2.

No entanto, considerando que o contexto escolar aplicado neste experimento não é amplamente conhecido no Brasil, será apresentada na próxima subseção uma breve explanação sobre o domínio em estudo, como também a ferramenta de aprendizagem (AVA 3D) aplicada no experimento.

5.3.2.1. O Contexto Escolar e o Jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”

O contexto escolar definido para realizar o experimento, foi o domínio de História, especificamente Portugal na Reconquista¹⁸. O período da Reconquista também conhecida como Reconquista Cristã, é a denominação histórica para o movimento ibérico cristão que iniciou no século VIII, visando a recuperar as terras perdidas pelos ibéricos cristãos, quando da invasão dos árabes (mouras) na Península Ibérica.

¹⁸ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Reconquista>

A região de Soure fortificou-se durante o período da Reconquista Cristã, onde foi construído o Castelo de Soure¹⁹ às margens do rio Mondego, tendo a Vila de Soure se desenvolvido ao abrigo de seus muros. O reino de Portugal foi construído em 1139 ao longo do processo da Reconquista Cristã.

Considerando esse cenário, a empresa portuguesa Ciberbit²⁰ lançou no ano de 2004 o jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”. É um jogo de estratégia em tempo real baseado no período histórico de “Portugal na Reconquista”, que foi desenvolvido com a colaboração de pesquisadores da área de História da Universidade de Coimbra em parceria com a Câmara Municipal de Soure. O objetivo principal foi divulgar no distrito de Coimbra a região de Soure durante o período da Reconquista, com o intuito de ser comercializado, principalmente, para uso no contexto escolar.

O jogo se desenrola em um cenário do século XII, no qual os jogadores são obrigados a comandar uma das duas civilizações presentes na Península Ibérica: cristãos ou muçulmanos (mouros). Como muitos outros jogos de estratégia em tempo real, no começo apenas uma pequena área do território é visível. Ao explorar o território, a colocação da civilização concorrente é revelada. O desafio colocado aos jogadores é semelhante ao evento histórico real: explorar, conquistar e manter o território, também a população e a infraestrutura.

No cenário tem-se o rio Mondego dividindo o território e as investidas frequentes por parte dos mouros. As armas, personagens e construções foram recriados com base em conhecimento histórico científico. Os aspectos econômicos, espirituais e militares de uma comunidade medieval foram respeitados pelo jogo, favorecendo ao jogador uma melhor compreensão sobre a realidade do passado.

O “Portugal 1111” permite jogar em modo campanha e em modo livre. No modo de campanha o jogo exige um maior investimento de tempo, pois apresenta oito níveis para se percorrer até alcançar o castelo rival, já no modo livre o jogo é explorado de forma livre pelo jogador com controle total sobre as suas unidades e estruturas (PENICHEIRO; CARVALHO e ROQUE, 2011). Considerando que em um contexto escolar não há tempo hábil para executar o jogo em modo campanha, optou-se neste experimento pelo modo livre. A Figura 33 ilustra cenários do jogo.

¹⁹ http://pt.wikipedia.org/wiki/Castelo_de_Soure

²⁰ <http://www.ciberbit.pt/Products/Wonabit.aspx>

Figura 33 - Screenshots do jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”

Fonte: (<http://www.portugal1111.com/>)

5.3.2.2. Condução do Experimento

A. Participantes

Foram selecionadas duas turmas do sexto ano de escolaridade da Escola Martim de Freitas, localizada na cidade de Coimbra, Portugal. No total, 31 voluntários participaram do experimento (18 meninos e 13 meninas), todos com idade de 11 anos e com os mesmos objetivos de aprendizagem sobre Portugal na Reconquista.

Antes da condução do experimento, os objetivos da pesquisa e as quatro fases que compõem o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento foram explicados aos sujeitos. Salienta-se que o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi dispensado neste experimento, uma vez que em Portugal não é de praxe os voluntários assinarem tal termo para realização de experimentos dessa natureza.

Os participantes foram divididos em dois grupos, sendo que um grupo explorou o AVA 3D de forma individual (15 participantes) e o segundo grupo explorou em duplas (16 participantes). Isto ocorreu devido ao número de computadores insuficientes no laboratório.

Para caracterizar o perfil dos participantes, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de Caracterização do Perfil (Apêndice G).

Em geral, foi possível verificar que 97% dos participantes se consideram do nível experiente a muito experiente, tanto para usar o computador quanto para navegar na Internet, porém 61% se consideram de inexperiente a pouco experiente em relação ao nível de experiência com AVAs 3D, como pode ser observado na Tabela 19.

Como o AVA 3D usado no experimento é baseado em jogo, investigou-se com que frequência os participantes jogam *videogames*, e os resultados mostraram que 65% dos alunos costumam jogar com bastante frequência, ou seja, diariamente ou semanalmente, o que evidencia que a maioria dos voluntários é experiente em *videogames*. Apenas um dos participantes respondeu que não tem computador em casa e considerou-se pouco experiente para usar o computador e navegar na Internet, além de não jogar *videogames* com frequência.

Tabela 19 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (fluência tecnológica) - "Portugal 1111"

Itens avaliados	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito Experiente
1. Habilidade para usar o computador	0%	3%	58%	39%
2. Habilidade em navegar na Internet	0%	3%	42%	55%
3. Experiência com Ambientes Virtuais 3D	26%	35%	39%	0%
	Raramente	Mensalmente	Semanalmente	Diariamente
4. Frequência em jogar <i>videogames</i>	21%	15%	41%	24%

Fonte: Autor

Quanto ao nível de conhecimento sobre o domínio em estudo, nota-se pelos dados apresentados na Tabela 20 que os participantes têm um bom conhecimento (53% no nível Bom e 21% no nível Muito Bom) sobre o objeto de estudo aplicado no experimento, tendo em vista que o conteúdo já havia sido abordado na disciplina de História. Dessa forma, este experimento possibilitou verificar se o AVA 3D "Portugal 1111" contribuiu para a evolução da aquisição de conhecimento dos participantes.

Tabela 20 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (nível de conhecimento sobre o domínio) – “Portugal 1111”

Itens avaliados	Nenhum	Pouco	Bom	Muito Bom
1. Conhecimento sobre Portugal na Reconquista	0%	17%	65%	18%
2. Conhecimento sobre o papel dos camponeses	6%	32%	44%	18%
3. Conhecimento sobre o papel dos mouros	3%	20%	53%	24%
4. Conhecimento sobre o papel dos cristãos	6%	18%	50%	26%
Média	4%	22%	53%	21%

Fonte: Autor

B. Capacitação no AVA 3D

A capacitação no AVA 3D foi realizada pelo especialista da área no contexto escolar e iniciou com um vídeo introdutório sobre o funcionamento geral do jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”, apresentando o cenário do jogo, para que os participantes se sentissem familiarizados com o AVA 3D antes de iniciarem a etapa de exploração no ambiente virtual.

Na sequência foram apresentadas as instruções fundamentais e comandos básicos, além das principais estruturas do ambiente como casas, sítios/chácaras, feiras, capelas, celeiros, moinhos e muralhas. Os principais agentes também foram apresentados, tais como camponeses, milicianos e cavaleiros.

O tempo total dispendido nesta etapa de capacitação foi de 15 minutos.

C. Instrumentos de Avaliação

O instrumento de Avaliação Diagnóstica aplicado nas fases de Pré-Teste e Pós-Teste foi elaborado pelo especialista da área (Anexo C), compostos por cinco questões dissertativas sobre o contexto escolar em estudo. As questões abordaram conteúdos relacionados aos principais aspectos do jogo, classificados em: território, belicismo, economia e religião.

O instrumento de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste foi aplicado com propósito de verificar o conhecimento prévio do aprendiz sobre o domínio em estudo. O instrumento foi entregue aos voluntários, logo após responderem ao Questionário de Caracterização do Perfil.

Após explorar o AVA 3D como meio de aprendizagem, os participantes foram convidados a repetir a Avaliação Diagnóstica na fase de Pós-Teste. As mesmas perguntas incluídas no instrumento de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste foram mantidas na fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, como forma de verificar a evolução das respostas entre as duas fases.

Após a Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de *Feedback* (Apêndice H). Os resultados são mostrados na subseção 5.3.2.3.

D. Processo de Aprendizagem com o AVA 3D “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”

A exploração no AVA 3D ocorreu em duas sessões, sendo cada sessão de 75 minutos. Para tal, os participantes foram divididos em dois grupos, sendo que um grupo explorou o AVA 3D de forma individual e o segundo grupo conduziu a exploração em duplas. Nas duas sessões os participantes exploraram o ambiente de forma livre e autônoma. Todas as etapas do experimento foram acompanhadas pelo especialista da área em estudo. A Figura 34 mostra uma das sessões de exploração no AVA 3D.

Figura 34 - Sessão de exploração no AVA 3D “Portugal 1111 – A Conquista de Soure” no laboratório de informática da Escola Martim de Freitas

Fonte: Autor

Durante o processo de aprendizagem, os participantes usaram diferentes estratégias para evoluir no jogo, acumular riquezas, defender-se das invasões e conquistar território. Percebeu-se um alto nível de verbalização entre os participantes durante a exploração no jogo, evidenciando a empolgação e o engajamento dos participantes com o ambiente virtual.

Durante esta fase, o registro das interações no AVA 3D foi realizado por meio de gravação de vídeo, para posterior coleta e análise dos dados de interação dos participantes no ambiente virtual. O *software* para gravação do vídeo foi instalado em cada computador e a gravação foi iniciada, assim que o participante deu início ao jogo. Em cada computador utilizado no experimento, foi gravado um vídeo que se refere a um jogador ou a uma dupla de jogadores. No total foram gravados 23 vídeos, sendo 15 vídeos referentes aos jogadores que exploraram o jogo de forma individual e oito vídeos dos jogadores que exploraram o jogo em duplas.

Os vídeos gravados em cada computador durante o período de exploração no ambiente virtual foram analisados e as interações registradas. Para cada vídeo, registrou-se o momento em que a interação ocorreu, a descrição da interação e sua classificação na categoria correspondente.

Para classificar as interações dos participantes, quatro categorias referentes aos principais aspectos do jogo foram determinadas: i) território; ii) belicismo; iii) economia e iv) religião. Tais categorias estão correlacionadas com o foco das questões inseridas nas Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste. Uma quinta categoria denominada Interface foi criada, com o objetivo de classificar as interações relacionadas à interface do jogo, ou seja, as interações realizadas pelos participantes como forma de compreender a interface e que não estão relacionadas às estratégias do jogo.

A Tabela 21 exhibe uma amostra das interações registradas a partir da análise do vídeo gravado em um dos computadores. O valor 1 (um) representa a categoria que se refere à interação descrita na segunda coluna da tabela (denominada “interação”) e o valor 0 (zero) representa que a interação não pertence àquela categoria.

Tabela 21 - Exemplo de registro das interações a partir da análise de um vídeo – “Portugal 1111”

Tempo	Interação	Categorias das interações				
		Território	Belicismo	Economia	Religiosidade	Interface
0:00:00	Escolheu civilização cristã	0	0	0	0	0
0:00:11	Selecionou menu, especialmente as opções de defesa	0	1	0	0	1
0:01:09	Selecionou castelo e explorou menu		1			
0:01:25	Selecionou camponês	0	0	1	0	0
0:01:26	Construiu capela próxima ao castelo	1	0	0	1	0
0:01:58	Construiu casa próxima a capela	1	1	0	0	0
...						
1:11:49	Selecionou área do castelo	1	0	0	0	0

Fonte: Autor

Na sequência, cada interação registrada foi classificada considerando os tipos de interações definidos por Bowman *et al.* (2005), sendo que o AVA 3D aplicado neste experimento dispõe dos quatro tipos de interação: navegação, manipulação, seleção e controle.

Dessa forma, foram obtidas duas classificações das interações, uma classificação por categorias que se refere aos principais aspectos do jogo e domínio da interface (território, belicismo, economia, religião e interface) e uma segunda classificação por tipo de interação no ambiente virtual 3D (navegação, seleção, manipulação e controle).

Nesta etapa, o registro dos dados de interação é muito relevante para posterior análise quantitativa dos dados. Dessa forma, é possível verificar se tais interações colaboraram com a aquisição de conhecimento além do contexto do jogo, buscando verificar se ambientes virtuais interativos como AVAs 3D, baseados em recursos tecnológicos diversos favorecem a aquisição de conhecimento dos aprendizes.

5.3.2.3. Resultados e Discussões do Experimento

Para verificar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento, os resultados foram analisados considerando os parâmetros apresentados na seção 4.7 (Tabela 9). Inicialmente, esta seção apresenta uma análise descritiva dos dados e então os dados são analisados de acordo com a Correlação de *Pearson*.

A Tabela 22 apresenta um resumo dos resultados obtidos nas Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste, que inclui cinco questões dissertativas compondo os instrumentos de avaliação e identificadas de Q1 a Q5. A nota no intervalo de 0 a 100 representa o resultado final de cada avaliação. Adicionalmente a Tabela 22 apresenta o tempo dispendido na condução da avaliação em ambas as fases. Vale salientar que cada questão está relacionada a um ou mais aspectos das categorias de interações do jogo (território, belicismo, economia e religiosidade).

Tabela 22 - Resumo dos Resultados a partir das Avaliações Diagnósticas – experimento com o jogo “Portugal 1111”

	Pré-Teste							Pós-Teste						
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Nota	Tempo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Nota	Tempo
	(mm:ss)							(mm:sss)						
Média	9,4	10	7,3	10,4	4,1	41,2	07:48	10	10,8	8,3	12	7,8	48,9	08:06
Desvio Padrão	4,1	3,9	2	3,3	3,8	8,9	02:22	3,4	2,1	1,5	3,1	4,1	8,3	03:00
Mínimo	0	2	0	2	0	20	05:00	0	7	6	6	0	32	03:00
Máximo	18	18	12	18	10	60	14:00	16	14	13	18	17	66	15:00

Quantidade de amostras = 31 (incluindo os dois grupos – individual e pares)

Fonte: Autor

Nota-se que existe progresso da aprendizagem entre os resultados das fases de pré-teste e pós-teste. Este progresso é notável pelo aumento da média obtida pelos participantes (variável nota) – 41,2 pontos no pré-teste e 48,9 pontos no pós-teste, representando uma diferença significativa estatisticamente ($p < 0.01$). Adicionalmente, o desvio padrão das notas mostra que os resultados a partir das avaliações diagnósticas estão próximos da média. Observa-se que o desvio padrão diminuiu na fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, o que pode ser indício de que o ambiente virtual contribuiu para motivar a aquisição de conhecimento e homogeneizar o desempenho do grupo.

Ao verificar a média de cada questão que compõe as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste (Tabela 22) percebe-se a evolução acentuada da questão Q5, cuja média evoluiu de 4,1 na fase de pré-teste para 7,8 na fase de pós-teste. Esta questão aborda especificamente a organização do comércio durante o período da “Reconquista”, enquanto que as demais questões abordam conceitos gerais sobre o período da “Reconquista”. Ao analisar o enredo do “Portugal 1111”, percebe-se sobre a organização do comércio, que é realçada durante a exploração no jogo, pelo fato dos participantes terem que administrar o dinheiro (renda) e conduzir a sociedade em relação aos recursos econômicos. Desta forma, parece que o próprio roteiro do jogo, naturalmente, levou os alunos a adquirirem conhecimento mais significativo em relação a este conteúdo.

Em relação ao tempo dispendido na realização das avaliações diagnósticas, observa-se que a média e os valores mínimo e máximo, em ambas as fases (pré-teste e pós-teste) estão muito próximos entre si, considerando que o tempo máximo estipulado foi de 15 minutos para realização das avaliações. No entanto, pelo valor do desvio padrão percebe-se uma variabilidade acentuada entre os participantes, quanto ao tempo de realização da prova.

Durante a fase de aprendizagem no AVA 3D foram coletados dados referentes aos parâmetros “tempo” e “interações dos participantes”, a partir da exploração no ambiente virtual. Para o parâmetro “interações”, foram consideradas todas as interações realizadas durante o tempo de exploração no jogo, coletadas por meio da análise dos vídeos. Entretanto, o parâmetro “tempo” não foi considerado na análise, pois todos os participantes iniciaram e encerraram o jogo no mesmo momento, com uma diferença mínima entre eles. Os resultados são apresentados na Tabela 23.

Considerando que as interações foram registradas a partir dos vídeos gravados, tem-se dois grupos de participantes (individual e em pares) durante a exploração no AVA 3D como explicado na subseção 5.3.2.2 de condução do experimento. No entanto, apesar de não fazer parte do escopo do experimento investigar a diferença de aprendizagem entre os grupos de voluntários (individual e em pares), vale salientar que a quantidade de interações dos participantes que exploraram o jogo de forma individual foi aproximadamente 65% maior ao comparar com os participantes que exploraram o jogo em pares.

Percebeu-se durante o experimento que os participantes que exploraram o jogo em pares, interagiram entre si, discutiram as estratégias, para então realizarem as ações no jogo, o que pode ter acarretado uma quantidade menor de interações ao final da exploração em relação ao grupo que explorou de forma individual. As Figuras 34 e 35 apresentam a distribuição das interações por categorias e tipos de interações em cada grupo (individual e em pares).

Figura 35 - Distribuição das interações por categoria

Fonte: Autor

Figura 36 - Distribuição das interações por tipo

Fonte: Autor

Deste modo, para apresentar os resultados relacionados às interações dos participantes considerou-se a quantidade de vídeos gravados durante a exploração no AVA 3D (um total de 23 vídeos) e não o número de participantes (31 voluntários). Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 23, como forma de identificar a intensidade de envolvimento dos participantes e avaliar se eles foram mais ativos ou passivos durante a aprendizagem.

Tabela 23 - Resumo dos resultados do nível de interações por categorias e por tipo

	Categorias do jogo					Tipos de Interações		
	Território	Belicismo	Economia	Religiosidade	Navegação	Manipulação	Seleção	Controle
Média	43,3	57,4	36,0	2,5	15,9	93,7	106,3	4,0
Desvio Padrão	17,0	27,9	21,9	3,2	8,2	18,9	60,2	5,0
Mínimo	23	24	12	0	5	42	36	1
Máximo	96	136	93	10	40	134	254	27

Fonte: Autor

Em relação à média apresentada, os resultados mostram que entre as principais categorias do jogo, os participantes obtiveram maior média de interações na categoria “Belicismo”. Para iniciar o jogo, os participantes devem escolher entre a civilização de mouros ou cristãos, sendo que em ambos os papéis o jogador se envolve em uma batalha. No papel de mouros os participantes invadem as terras dos cristãos para conquistar território e no papel de cristãos eles precisam combater as incansáveis investidas dos inimigos – neste caso, os mouros.

O jogo dispõe de referências à história de Portugal, especialmente ao passado de lutas e guerras entre os cristãos e os mouros. Logo, as estratégias do jogo rodeiam a categoria “Belicismo” devido à incessante batalha entre mouros e cristãos, o que justifica as interações na categoria “Belicismo” ter se destacado entre as demais categorias, com média de interações igual a 57,4.

O aspecto “Território” aparece como a segunda categoria com melhor média de interações (43,3) durante a exploração no ambiente virtual, devido às lutas entre cristãos e mouros pela conquista/reconquista de território. Entre as principais conquistas/reconquistas de território estão: construção/destruição de sítios/chácaras, feiras, moinhos, celeiros, bazares, casas, muralhas, mesquitas e torre de vigia.

Na sequência, a categoria “Economia” apresenta a terceira maior média de interações. Percebeu-se que a maioria dos participantes estava preocupada em atacar e se defender, e poucos usaram a estratégia de desenvolver o comércio para ganhar dinheiro, talvez por isso o aspecto relacionado à economia tenha sido a terceira maior interação. Em relação à categoria “Religiosidade”, esta foi pouco explorada.

Quanto aos tipos de interações (Tabela 23), nota-se uma maior concentração nas interações “seleção” e “manipulação”. Isto ocorre porque o jogo

demanda a seleção de agentes, cenário e objetos por parte do jogador antes do mesmo executar uma determinada ação de “manipulação”.

Observando os valores mínimo e máximo das interações encontradas na amostra, percebe-se uma diferença acentuada entre o maior e o menor valor de cada categoria do jogo e também em cada tipo de interação. Adicionalmente, o desvio padrão evidencia que há uma dispersão dos dados em relação à média, tratando-se de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada.

A partir da análise descritiva, nota-se que os voluntários tiveram uma participação ativa durante o processo de aprendizagem no AVA 3D, evidenciada pela média de interações por minuto (8 interações/minuto), o que pode ser considerado significativo, tendo em vista que em um jogo, usado pela primeira vez, o jogador precisa pensar nas estratégias antes de interagir com o ambiente virtual. Ressalta-se que os participantes do experimento interagiram conforme as estratégias previstas no jogo “Portugal 1111”.

O próximo passo da análise considerou a Correlação de *Pearson*, buscando identificar as possíveis relações entre os dados de interações e os resultados das avaliações diagnósticas. A classificação da Correlação de *Pearson* foi apresentada na seção 4.8.

A Tabela 24 mostra um resumo da matriz de correlações considerando as variáveis relacionadas aos tipos de interações e os resultados finais das avaliações diagnósticas.

Tabela 24 - Resultado dos testes da Correlação de *Pearson* entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações (N = 31)

Avaliações Diagnósticas			
Variáveis/Experimento	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste - Pré-Teste)
Interação Geral	$r (0,327) - p (0,072)$	$r (0,416) - p (0,020)$	$r (0,088) - p (0,637)$
Interação Manipulação	$r (0,655) - p (0)$	$r (0,766) - p (0)$	$r (0,087) - p (0,641)$
Interação Navegação	$r (0,391) - p (0,030)$	$r (0,408) - p (0,023)$	$r (-0,014) - p (0,939)$
Interação Seleção	$r (0,181) - p (0,329)$	$r (0,244) - p (0,187)$	$r (0,067) - p (0,721)$
Interação Controle	$r (-0,414) - p (0,021)$	$r (-0,294) - p (0,108)$	$r (0,199) - p (0,283)$
Tempo exploração	$r (0,396) - p (0,027)$	$r (0,310) - p (0,090)$	$r (-0,153) - p (0,412)$

Fonte: Autor

Uma correlação forte foi encontrada em relação às interações “manipulação” e a “nota obtida na fase de pós-teste”, com valor de r igual a 0,766 e nível de confiança (p) > 99,9%. Isto mostra que quando aumentam as interações do tipo “manipulação” durante a exploração no AVA 3D, a nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste tende a aumentar. Dessa forma, acredita-se que as interações “manipulação” apresentem uma contribuição no aprendizado por meio do AVA 3D, explicando aproximadamente 59% das notas.

O mesmo comportamento ocorreu com as interações “navegação”, entretanto, com uma correlação moderada com valor de r igual a 0,408, mas com nível de confiança < 95%, o que estatisticamente não é significativo.

Nota-se uma correlação moderada em relação à “nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste” e as interações do tipo “manipulação”, a qual apresenta o valor de r igual a 0,655 com nível de confiança (p) > 99,9%. A partir dessa correlação moderada, é possível identificar que quanto maior a nota do participante na fase de pré-teste maior a intensidade das interações “manipulação”, ou seja, mostra que quanto maior o conhecimento do participante sobre o domínio em estudo, maior a motivação para manipular os objetos no ambiente virtual.

Na sequência, a Tabela 25 apresenta a matriz de correlações considerando as variáveis relacionadas aos principais aspectos do jogo (categorias) e os tipos de interações, com propósito de verificar a interdependência entre as variáveis.

Tabela 25 - Resultados dos testes de Correlação de *Pearson* entre as categorias do jogo e os tipos de interações (N = 31)

Categorias	Tipos de Interações			
	Navegação	Seleção	Manipulação	Controle
Território	$r (0,682) - p (0)$	$r (0,715) - p (0)$	$r (0,599) - p (0)$	$r (0,017) - p (0,929)$
Belicismo	$r (0,701) - p (0)$	$r (0,782) - p (0)$	$r (0,738) - p (0)$	$r (-0,006) - p (0,974)$
Economia	$r (0,224) - p (0,226)$	$r (0,661) - p (0)$	$r (0,420) - p (0,019)$	$r (0,109) - p (0,558)$
Religiosidade	$r (0,104) - p (0,579)$	$r (0,183) - p (0,326)$	$r (0,027) - p (0,884)$	$r (0,039) - p (0,833)$
Interface	$r (0,264) - p (0,151)$	$r (0,734) - p (0)$	$r (0,024) - p (0,898)$	$r (0,379) - p (0,036)$
Total de interações	$r (0,674) - p (0)$	$r (0,964) - p (0)$	$r (0,539) - p (0,002)$	$r (0,148) - p (0,427)$

Fonte: Autor

A categoria “Território” apresentou correlação moderada com as interações “navegação” com o valor de r igual a 0,682 e também com as interações

“manipulação” com o valor de r igual a 0,599; uma correlação forte é encontrada com as interações do tipo “seleção” com o valor de r igual a 0,715. Tais correlações apresentam nível de confiança (p) > 99,9%. Isto mostra que quando aumenta a exploração do participante nas estratégias relacionadas à categoria “Território”, as interações “navegação”, “seleção” e “manipulação” tendem a aumentar. Esta interdependência pode estar relacionada com o fato de o participante navegar pelo ambiente para conquistar/reconquistar território; selecionar objetos, agentes, construções, entre outros artefatos disponíveis na interface e, consequentemente, interagir executando as ações no jogo, por meio das interações “manipulação”.

É encontrada correlação forte entre a categoria “Belicismo” e as interações “navegação” com o valor de r igual a 0,701; “seleção” com o valor de r igual 0,782 e “manipulação” com o valor de r igual a 0,738; todas com nível de confiança (p) > 99,9%. As estratégias utilizadas na categoria “Belicismo” são fortemente relacionadas à categoria “Território”, devido à incessante batalha entre mouros e cristãos.

Deste modo, percebe-se que as interações do tipo “manipulação”, “navegação” e “seleção” têm uma forte contribuição para a evolução do jogo em tais categorias (Território e Belicismo). No entanto, apenas as interações “manipulação” apresentaram correlação com a “nota do Pós-Teste”, o que pode ser explicado pelo fato das interações do tipo “manipulação” serem uma consequência das interações do tipo “seleção” e “navegação”.

Uma correlação moderada é encontrada entre a categoria “Economia” e as interações do tipo “seleção” com o valor de r igual a 0,661 com nível de confiança (p) > 99,9%. Esta correlação pode ter ocorrido pelo fato dos participantes encontrarem no jogo um conjunto de desafios semelhantes aos personagens da época como, por exemplo, gerir uma sociedade, especialmente em relação aos recursos econômicos, o que acarreta a seleção de agentes, construções e manutenção da agricultura.

As interações que não se relacionam com os principais aspectos do jogo, são incluídas na categoria “Interface”, isto é, que se referem ao domínio da interface. Nesta categoria percebe-se uma forte correlação com as interações do tipo “seleção” com o valor de r igual a 0,734 e nível de confiança (p) > 99,9%. Acredita-se que esta correlação exista pela dificuldade do participante em compreender, inicialmente, o

funcionamento da interface. Ao interagir por meio das interações “seleção” o participante pode ter buscado uma explicação sobre como controlar/manipular os agentes do jogo.

Em relação ao “total de interações gerais”, percebe-se que há uma correlação forte com as interações do tipo “seleção” com o valor de r igual a 0,964 e uma correlação moderada com as interações do tipo “manipulação” e “navegação”, com o valor de r igual a 0,539 e 0,674, respectivamente, com nível de confiança (p) > 99,9%. Isto revela que quanto mais interações o participante executou no ambiente virtual, maior foi a quantidade de interações do tipo “seleção”, “navegação” e “manipulação”, com destaque para as interações do tipo “seleção” que apresentou correlação forte.

Observando os vídeos e o comportamento dos participantes, notou-se que o mecanismo do jogo em relação aos comandos e movimentações dos agentes agradou aos participantes. Porém, ao movimentar o *mouse* para executar uma seleção, muitas vezes o cenário se movimenta de forma brusca, o que deixou alguns participantes irritados. Esta movimentação brusca do cenário também acarretou um maior número de seleções, como forma de tentativa e erro.

Por fim, considerando as análises obtidas a partir dos resultados das interações e das avaliações diagnósticas, é possível verificar que os participantes foram ativos durante a exploração no AVA 3D, inclusive apresentando maior interação com os principais aspectos do jogo (território, belicismo e economia). Essas constatações constituem indícios de que a evolução do aprendizado pode ter sido favorecida pelas interações proporcionadas pelo AVA 3D “Portugal 1111” aplicado como meio de aprendizagem.

Salienta-se que o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento aplicado neste experimento sistematizou a coleta dos dados de aprendizagem antes, durante e após o processo de aquisição de conhecimento por meio do AVA 3D, possibilitando verificar o nível de aquisição de conhecimento do aprendiz antes e após usar o jogo como instrumento pedagógico.

Os resultados obtidos a partir do Questionário de *Feedback*, aplicado após a fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste são exibidos na Tabela 26 e confirmam que os participantes consideraram o uso do AVA 3D motivador, mostrando satisfação com o ambiente virtual.

Tabela 26 - Resumo dos resultados do Questionário de *Feedback* – “Portugal 1111”

Itens avaliados	Discordo Totalmente	Discordo	Concordo	Concordo Totalmente
1. A experiência com o jogo “Portugal 1111” retratou a Reconquista	0%	0%	35%	65%
2. O jogo contribuiu para minha experiência sobre a Reconquista	0%	0%	65%	35%
3. Depois de usar o jogo fiquei interessado em aprender mais sobre a Reconquista	0%	3%	61%	35%
4. Consegui explorar o jogo satisfatoriamente	0%	6%	52%	42%
5. Consegui realizar as minhas estratégias no jogo	0%	10%	42%	48%

Fonte: Autor

Ainda no questionário de *Feedback* foi incluída uma pergunta: “Se as estratégias que utilizaste no jogo são semelhantes ao que aconteceu na Reconquista?”. O participante deveria responder “sim” ou “não”, sendo que 77% das respostas foram positivas, evidenciando que o AVA 3D “Portugal 1111” obteve um bom desempenho como instrumento pedagógico.

5.4. VALIDAÇÃO DA ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SAAp)

Esta seção apresenta os primeiros resultados obtidos a partir de um estudo experimental realizado com o Sistema de Avaliação da Aprendizagem (SAAp), buscando analisar a sua viabilidade e eficiência.

O experimento foi conduzido com estudantes do ensino médio, interessados no aprendizado de Geometria Plana e Espacial, tendo como ferramenta de apoio ao ensino o ambiente virtual “CONSTRUFIG3D”²¹ (CARVALHO *et al.*, 2010; CARVALHO, CARVALHO e VILLELA, 2010), que permite criar e visualizar objetos espaciais a partir de figuras planas selecionadas pelo aluno.

A visualização tridimensional por meio de ambientes virtuais 3D vem ao encontro das dificuldades dos alunos em assimilar conceitos básicos relacionados à Geometria Espacial, especialmente em relação à percepção de forma e espaço e sua relação direta com a Geometria Plana.

²¹ <http://www.cvac.eng.br/construfig3d.html>

Considerando os tipos de aquisição de conhecimento proposto na Taxonomia de Bloom (seção 1.5), tanto a versão original quanto atualizada, pode-se afirmar que todos os níveis de aquisição de conhecimento (lembrar, compreender, aplicar, analisar, criar, avaliar) foram explorados e estimulados a partir das estratégias aplicadas no AVA 3D escolhido para o experimento.

5.4.1. Condução do Experimento

A. Participantes

Participaram do experimento 51 voluntários, estudantes do primeiro e terceiro anos do Ensino Médio do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT). Para convidar os voluntários a participarem do experimento, contou-se com a receptividade do professor da disciplina de Matemática do IFMT.

Os participantes foram divididos em três turmas, tendo sido previamente agendados os horários para cada turma realizar o experimento no local apropriado, porém de forma individual.

Quanto ao perfil dos voluntários, 55% dos alunos foram do sexo feminino e 45% do sexo masculino, com idade entre 16 e 18 anos. Ainda para caracterizar o perfil dos participantes, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de Caracterização do Perfil (Apêndice I). Os resultados são sumarizados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (fluência tecnológica) – “CONSTRUFIG3D”

Itens avaliados	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito Experiente
1. Habilidade com computador	0%	33%	51%	16%
2. Habilidade em navegar na Internet	0%	6%	63%	31%
3. Experiência com Ambientes Virtuais 3D	14%	53%	23%	10%

Observando os dados apresentados na Tabela 27, nota-se que os participantes possuem boa experiência em usar o computador e navegar na Internet, já que 67% dos participantes declararam ter habilidade com o computador e 94% afirmaram ter habilidade em navegar na Internet.

Quanto ao nível de experiência em ambientes virtuais 3D, 69% dos participantes se consideram de inexperiente a pouco experiente. Os demais voluntários (33%) que declararam ter experiência com AVAs 3D, informaram ter o hábito de jogar *videogames* com frequência, o que justifica a familiarização com ambientes virtuais 3D.

Observando os resultados apresentados na Tabela 28, percebe-se que o nível de conhecimento sobre Geometria Plana é baixo, uma vez que 78% dos participantes declararam ter pouco ou nenhum conhecimento sobre o assunto. Quanto ao conhecimento sobre Geometria Espacial, poucos conheciam sobre o tema, pois apenas 8% dos participantes declararam estar no nível de bom a muito bom. Vale salientar que os alunos ainda não haviam tido aulas sobre o objeto de estudo até a realização do experimento.

Tabela 28 - Resumo do Questionário de Caracterização do Perfil (nível de conhecimento sobre o domínio) – “CONSTRUFIG3D”

Itens avaliados			Nenhum	Pouco	Bom	Muito Bom
1.	Conhecimento sobre Geometria Plana	sobre	30%	48%	22%	0%
2.	Conhecimento sobre Geometria Espacial	sobre	40%	52%	7%	1%

O questionário de perfil da população foi respondido pelos voluntários logo no início do experimento, implementado no próprio SAAP.

B. Capacitação no AVA 3D

Como forma de capacitar os participantes a usarem o AVA 3D escolhido para este experimento, lhes foi apresentado um vídeo de introdução ao uso do ambiente virtual “CONSTRUFIG3D”. Na sequência, foram apresentados instruções e comandos básicos do ambiente virtual.

C. Instrumentos de Avaliação

A Avaliação Diagnóstica Pré-Teste (Anexo D) foi realizada, de forma automatizada, pelo SAAP, e disponibilizada aos participantes após os mesmos terem respondido ao Questionário de Caracterização do Perfil.

Após explorar o AVA 3D como meio de aprendizagem, os participantes foram convidados a realizar a Avaliação Diagnóstica Pós-Teste (Anexo D), também de forma automatizada.

As questões que compõem as avaliações diagnósticas foram elaboradas pelo especialista da área. As avaliações em ambas as fases podem conter questões diferenciadas, porém com o mesmo nível de dificuldade, uma vez que as avaliações são geradas pelo próprio SAAp de forma aleatória, considerando as questões cadastradas pelo avaliador no banco de questões.

Após a Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, os voluntários foram convidados a responder o Questionário de *Feedback* (Apêndice J), disponibilizado aos voluntários no SAAp.

Os resultados obtidos com as avaliações são apresentados e discutidos na subseção 5.4.2.

D. Processo de Aprendizagem com o ambiente “CONSTRUFIG3D”

Durante a etapa de aprendizado no ambiente virtual os participantes receberam várias tarefas acerca do objeto de estudo (Anexo E). As tarefas incluíam: construir poliedros, como esfera, tronco de cilindro, tronco de pirâmide etc; identificar poliedros a partir da sua planificação; identificar faces, vértices e arestas a partir dos poliedros construídos no ambiente; identificar quais os tipos de polígonos compõem um determinado poliedro, entre outras atividades.

As tarefas foram selecionadas pelo especialista do domínio de conhecimento, no caso o professor de Matemática, que acompanhou todo o experimento, e também definiu o tempo de aproximadamente 30 minutos para os voluntários realizarem as tarefas no ambiente virtual. Contudo, cada participante explorou o ambiente conforme sua necessidade, variando entre 11min45seg e 45min18seg.

O participante teve a oportunidade de interagir diretamente com os poliedros construídos no ambiente virtual, executando operações de rotação e *zoom* usando o *mouse*. Também foi facultado ao participante controlar o nível de transparência dos objetos, como forma de melhorar a visualização tridimensional. Um exemplo de um poliedro construído no “CONSTRUFIG3D” é ilustrado na Figura 37.

Esta etapa também é vista como um dos instrumentos de coleta de dados, uma vez que durante a exploração no AVA 3D são coletados os dados da interação do usuário no ambiente virtual, para posterior análise dos resultados. O

registro dos dados de interação é realizado pelo SAAp por meio do Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários.

Figura 37 - “CONSTRUFIG3D” - exemplo de uma tarefa realizada

Fonte: Autor

5.4.2. Resultados e Discussões do Experimento

Para analisar a viabilidade do Sistema de Avaliação da Aprendizagem - SAAp, os resultados foram analisados considerando os parâmetros apresentados na seção 4.7 (Tabela 9). Inicialmente, esta seção apresenta uma análise descritiva dos dados e então os dados são analisados de acordo com a Correlação de *Pearson*.

A Tabela 29 apresenta um resumo dos resultados obtidos nas Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste, que inclui questões objetivas e dissertativas. Adicionalmente, apresenta o tempo dispendido na condução da avaliação em ambas as fases e a nota de 0 a 10 representa o resultado final de cada avaliação.

Tabela 29 - Resumo dos resultados a partir das avaliações diagnósticas - experimento com o ambiente “CONSTRUFIG3D”

	Pré-Teste		Pós-Teste	
	Nota	Tempo (mm:ss)	Nota	Tempo (mm:ss)
Média	2,2	12:35	5,6	18:34
Desvio Padrão	1,6	2:25	1,7	2:47
Mínimo	0,0	5:10	1,0	7:20
Máximo	7,3	15:50	9,5	19:15

Fonte: Autor

O progresso na aquisição de conhecimento é notável pelo aumento significativo da média de respostas corretas (nota) obtida pelos participantes: 2,2 pontos no Pré-Teste e 5,6 pontos no Pós-Teste, representando uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0.01$). A evolução da aprendizagem é também confirmada observando o menor e o maior número de acertos obtidos (nota), em ambas as fases de avaliação.

Adicionalmente, o valor do desvio padrão da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste mostra que os dados são relativamente homogêneos e os resultados estão próximos da média, enquanto que o desvio padrão da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste evidencia que há uma dispersão dos dados em relação à média, tratando-se de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada.

Em relação ao tempo de realização das avaliações diagnósticas, percebe-se que os voluntários levaram mais tempo para realizar a avaliação na fase de pós-teste. Isto pode ter ocorrido pelo fato dos participantes terem maior conhecimento sobre o assunto após o treinamento virtual, acarretando ao usuário mais maturidade sobre o objeto em estudo para realização da avaliação na fase de pós-teste.

Para a fase de aprendizagem no AVA 3D a análise considera os parâmetros “tempo” e as “interações dos participantes no ambiente virtual”. Em relação ao primeiro parâmetro, considera-se o tempo que o participante permaneceu no AVA 3D. Quanto ao segundo parâmetro, foram registradas as interações dos participantes durante a exploração no ambiente virtual. As interações foram previamente cadastradas pelo avaliador no SAAP.

Como pode ser observada na Figura 37, a interface do “CONSTRUFIG3D” é composta por vários botões, com funcionalidades diversas. Na fase de análise, as interações registradas durante a exploração no AVA 3D foram classificadas conforme os tipos de interações definidos por Bowman *et al.* (2005).

Dentre as interações definidas pelo autor, o “CONSTRUFIG3D” dispõe apenas das interações “seleção”, “manipulação” e “controle”. A Tabela 30 apresenta as interações previstas e previamente registradas pelo avaliador no SAAP, e sua respectiva classificação.

Tabela 30 - Classificação das interações registradas no “CONSTRUFIG3D”

Interações registradas no “CONSTRUFIG3D”	Classificação
Seleção da quantidade de peças, conforme quantidade de faces da figura espacial desejada (2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8 peças).	Seleção
Seleção das figuras planas (círculo, quadrado, retângulo, triângulo, pentágono, meio-círculo, hexágono, trapézio) que compõem a figura espacial.	
Rotação, transparência, <i>zoom</i> , rodar.	Manipulação
Botões – sobre, sair, limpar, 3D	Controle

Fonte: Autor

Um resumo dos resultados de todas as interações disponíveis no AVA 3D é apresentado na Tabela 31, como forma de identificar a intensidade de envolvimento dos participantes e avaliar se eles foram ativos ou passivos durante o processo de aprendizagem.

Tabela 31 - Resumo dos resultados do nível de interações classificadas por tipo

	Manipulação	Controle	Seleção	Total Interações	Tempo (mm:ss)
Média	39,4	71,0	342,3	453,7	30:48
Desvio Padrão	16,3	41,0	155,8	186,0	9:21
Mínimo	14	10	109	155	11:45
Máximo	100	233	971	1242	45:18

Fonte: Autor

Observando-se a média de interações apresentada na Tabela 31, verifica-se que há uma maior concentração nas interações “seleção” e “controle”, evidenciada pelas especificidades da interface do “CONSTRUFIG3D”, que dispõe de diversos botões de seleção e controle. Observando os alunos durante o experimento, percebeu-se que os mesmos fizeram muitas tentativas para construir os poliedros, sendo que para cada tentativa é necessário selecionar a quantidade de geometrias planas e quais as figuras planas que compõem o objeto virtual (geometria espacial). Após a construção do poliedro o aluno pode manipular o objeto virtual na área 3D, por meio de rotação, *zoom* e também por outros botões disponíveis na interface com propósito de manipular o poliedro.

O desvio padrão mostra que se trata de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada. Adicionalmente, observando o valor mínimo e máximo da amostra percebe-se uma diferença acentuada em todos os tipos de interações e também no tempo de exploração. Observando o tempo de exploração, encontra-se

participante que permaneceu apenas 11min45seg explorando o AVA 3D, enquanto um participante permaneceu 45min18seg, o que caracteriza um comportamento diversificado.

Considerando a análise descritiva, percebe-se que os voluntários foram bem ativos durante a exploração no ambiente virtual, uma vez que a média de interações gerais foi de 15 interações por minuto e a média do tempo de exploração no ambiente virtual atendeu o tempo estimado pelo especialista, evidenciada pelos resultados apresentados na Tabela 31, o que pode ter contribuído para a evolução da aprendizagem.

O próximo passo da análise considerou a Correlação de *Pearson* para identificar as possíveis relações entre os dados de interações e os resultados das avaliações diagnósticas. A classificação da Correlação de *Pearson* foi apresentada na seção 4.8.

A Tabela 32 mostra um resumo da matriz de correlações considerando as variáveis disponíveis a partir dos instrumentos de coleta de dados.

Neste experimento houve indícios de que as interações “manipulação” e o “tempo de exploração no ambiente virtual” apresentam contribuição para o aprendizado, tendo em vista que há uma correlação forte entre as interações “manipulação” e a “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste” (com o valor de r igual a 0,863) e uma correlação moderada entre o “tempo de exploração” e a “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste” (com valor de r igual a 0,538). Ambas as correlações têm nível de confiança $> 99.9\%$. Em síntese, os resultados evidenciaram que quanto mais tempo o participante permaneceu no ambiente virtual, mais ele interagiu manipulando o objeto de estudo e maior foi a nota obtida na Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

A Tabela 32 mostra que há uma correlação moderada entre as variáveis “evolução das notas” e interação do tipo “manipulação” com valor de r igual a 0,652. O “tempo de exploração” também apresentou correlação com a “evolução das notas”; neste caso, uma correlação forte com valor de r igual a 0,786, ambos com nível de confiança $> 99,9\%$.

Tabela 32 - Resultado dos testes da Correlação de *Pearson* entre as avaliações diagnósticas e os tipos de interações (N = 51)

Avaliações Diagnósticas			
Variáveis/Experimento	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste - Pré-Teste)
Interação Geral	$r (-0,080) - p (0,578)$	$r (0,070) - p (0,626)$	$r (0,133) - p (0,354)$
Interação Seleção	$r (-0,118) - p (0,409)$	$r (0,058) - p (0,684)$	$r (0,155) - p (0,278)$
Interação Manipulação	$r (0,170) - p (0,232)$	$r (0,863) - p (0)$	$r (0,652) - p (0)$
Interação Controle	$r (0,020) - p (0,891)$	$r (-0,248) - p (0,079)$	$r (-0,246) - p (0,082)$
Tempo exploração	$r (-0,339) - p (0,015)$	$r (0,538) - p (0)$	$r (0,786) - p (0)$

Fonte: Autor

Buscando confirmar se o tempo de exploração no AVA 3D tem relação com as interações realizadas, a Tabela 33 exibe a matriz de correlações. Deste modo, é possível verificar se o participante, de fato, interagiu com o ambiente virtual ao permanecer mais tempo no AVA 3D.

Tabela 33 - Resultado dos testes da Correlação de *Pearson* entre as variáveis de interação e o tempo de exploração no “CONSTRUFIG3D”

Variáveis/experimento	Tempo de exploração no AVA 3D
Interação Geral	$r (0,215) - p (0,130)$
Interação Seleção	$r (0,214) - p (0,131)$
Interação Manipulação	$r (0,516) - p (0)$
Interação Controle	$r (-0,045) - p (0,756)$

Fonte: Autor

Os resultados apresentados na Tabela 33 evidenciam que quanto maior a permanência do participante no AVA 3D, maior foi a quantidade de interações do tipo “manipulação”, com uma correlação moderada com valor de r igual a 0,516 e nível de confiança $> 99,9\%$. Vale ressaltar, que durante o tempo de exploração no ambiente virtual houve muitas interações, dando indícios de que esta correlação existe somente se o participante for ativo.

A partir dos resultados obtidos, percebe-se que o ambiente “CONSTRUFIG3D” foi um instrumento motivador na visualização dos poliedros construídos, facilitando a aquisição de conhecimento em relação ao conteúdo abordado e melhorando a percepção visual, além de contribuir para o progresso da aprendizagem dos participantes.

Na sequência, como parte dos instrumentos de coleta de dados os participantes foram convidados a responder o Questionário de *Feedback*. Os resultados são exibidos na Tabela 34 e confirmam que os participantes consideraram o uso do AVA 3D motivador, mostrando satisfação com o ambiente virtual.

Tabela 34 - Resumo dos resultados do Questionário de *Feedback* – “CONSTRUFIG3D”

Itens avaliados	Discordo Totalmente	Discordo	Concordo	Concordo Totalmente
Foi possível construir e manipular as geometrias espaciais	0%	0%	50%	50%
Os recursos de interação contribuíram para o meu aprendizado	0%	0%	60%	40%
Foi possível visualizar os vértices, faces e arestas dos poliedros construídos	0%	0%	38%	62%
Depois de usar o “CONSTRUFIG3D” fiquei interessado em aprender mais sobre Geometria Plana e Espacial	13%	23%	50%	15%

Fonte: Autor

Salienta-se que o SAAp foi capaz de registrar as interações dos participantes durante a exploração no ambiente virtual, aplicar os instrumentos de avaliação, de forma automatizada, e armazenar no banco de dados todos os resultados obtidos, inclusive referente aos questionários complementares, como de caracterização do perfil e de *feedback*.

Deste modo, é possível afirmar que o SAAp foi capaz de coletar todos os dados necessários para o avaliador fazer julgamentos em relação ao nível de aquisição de conhecimento do aprendiz, além de subsidiar o avaliador a compreender como e quanto o AVA 3D aplicado no experimento colabora com a aprendizagem, considerando o objeto de estudo.

Além disso, com o uso do SAAp houve uma economia de tempo na coleta dos dados, uma vez que as questões objetivas que compõem as avaliações diagnósticas são corrigidas automaticamente pelo sistema, como também o registro das interações é realizado de forma automática, evitando a necessidade de se analisar vídeos para coletar os dados das interações, como ocorreu no experimento

apresentado na subseção 5.3.2, o que acarretou uma carga de trabalho muito alta para análise dos vídeos.

5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou um relato dos resultados de todos os experimentos realizados no decorrer desta pesquisa. Inicialmente, foi realizado um experimento exploratório que buscou verificar a motivação dos estudantes com uso de AVAs 3D como meio de aprendizagem. Considerando o contexto de aprendizado na área de educação médica, os resultados do experimento evidenciaram que os AVAs 3D propiciam maior motivação para o aprendizado. Entretanto, salienta-se que outros fatores, como a novidade em usar o ambiente tridimensional, a excitação de estar participando de um experimento e a curiosidade, podem ter influenciado positivamente na atenção e motivação dos participantes.

Deste modo, não basta apenas ter motivação, uma questão importante a ressaltar é como e quanto um AVA 3D pode contribuir para o aprendizado.

Nesse cenário, este trabalho de investigação propôs o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento para AVAs 3D e dois experimentos foram realizados buscando analisar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação proposto. Os resultados dos experimentos comprovaram que a proposta do modelo é viável e que a sistematização da avaliação auxilia o avaliador a compreender como e quanto os AVAs 3D colaboram para a aquisição de conhecimento do aprendiz.

Na sequência, foi realizado um novo experimento buscando analisar a viabilidade do uso do Sistema de Avaliação da Aprendizagem – SAAp, originado a partir do Modelo Teórico de Avaliação. Os resultados mostraram que o SAAp é eficiente para facilitar a coleta de dados e permite monitorar as interações dos participantes durante a exploração no ambiente virtual, de forma automática, sem interferir no código fonte da aplicação, uma vez que o monitoramento das interações pode ser muito trabalhoso e até mesmo inviável se executado manualmente.

Vale salientar que no segundo experimento realizado com o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento que fez uso do jogo “Portugal 1111” como meio de aprendizagem, o monitoramento das interações foi realizado por meio de vídeo gravado em cada computador. O registro das interações se deu por meio da análise de cada vídeo, o que acarretou uma carga de trabalho muito

grande. Para analisar cada vídeo de 1h15min, levou-se em torno de 12 horas. Assim, dependendo do número de participantes a análise dos vídeos se torna impraticável, fator que confirma a necessidade de um sistema automatizado para auxiliar na aplicação do modelo proposto.

O próximo capítulo apresenta as discussões gerais a partir dos resultados obtidos com os experimentos apresentados neste capítulo, seguida de uma análise estatística, com propósito de inferir um modelo matemático que considere as interações realizadas pelo aprendiz durante a exploração no ambiente virtual, como forma de avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma automática.

6. DISCUSSÃO E INFERÊNCIA DE UM MODELO MATEMÁTICO

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta seção apresenta uma discussão geral, e a partir dela, a definição de um modelo matemático que engloba os resultados dos três experimentos apresentados no capítulo anterior.

Todos os dados experimentais são considerados nas próximas análises estatísticas em busca de um equacionamento visando a confirmar se a hipótese levantada nesta pesquisa (H) é verdadeira, ou pelo menos, não refutada:

H = É possível estabelecer um método automático para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, como forma de verificar o quanto o aluno aprendeu com o uso do ambiente virtual.

As discussões estão embasadas nos resultados apresentados no capítulo 5 e em análises estatísticas que incluem:

- Estatística Descritiva (média, desvio padrão, mínimo, máximo, mediana e moda);
- Histogramas (visualiza a distribuição da amostra);
- Teste *t* de amostras pareadas (comparação de médias);
- Correlação de variáveis (aplicada Correlação de *Pearson*);
- Regressão Linear Multivariável;
- Análise de resíduos para validar os resultados da regressão linear.

6.2 COMPARAÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS

Os experimentos exploraram diferentes tipos de aquisição de conhecimento durante o processo de aprendizagem nos AVAs 3D, sendo considerada a categorização apresentada pela Taxonomia de Bloom (seção 1.5).

No entanto, o primeiro experimento (VIDA) explorou apenas o tipo de conhecimento **Lembrar**, uma vez que envolveu a memorização de partes da estrutura pélvica feminina. Nos demais experimentos todos os tipos de aquisição de conhecimento propostos na Taxonomia de Bloom foram explorados, desde **recuperar conhecimentos relevantes** acerca do domínio em estudo, como também **compreender/entender** as estratégias proporcionadas pelos cenários dos AVAs 3D, **aplicar** o que foi aprendido em situações concretas, **analisar, criar e avaliar**

fazendo julgamentos baseados em critérios e padrões relacionados ao tema em estudo.

Para identificar as possíveis correlações entre os dados das interações e os resultados das avaliações diagnósticas, considerou-se a Correlação de *Pearson*, cuja classificação foi apresentada na seção 4.8.

As variáveis consideradas na comparação dos três experimentos são: i) interações capturadas durante o processo de aprendizagem no AVA 3D, que inclui interações do tipo “manipulação”, “navegação”, “controle”, “seleção” e o total de interações gerais; ii) tempo de exploração no AVA 3D; iii) nota resultante da fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste e iv) evolução das notas entre ambas as fases (nota do pós-teste – nota do pré-teste).

A Tabela 35 apresenta a matriz de correlações entre os dados das interações e a nota obtida pelos participantes na fase de Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

Tabela 35 - Correlações encontradas entre as variáveis dos experimentos *versus* variável “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste”

Variáveis / Experimento	1 – VIDA tipos de aprendizado (recordar/memorizar)	2 – Portugal 1111 tipos de aprendizado (recordar, compreender, aplicar, analisar, sintetizar, avaliar)	3 – CONSTRUFIG3D tipos de aprendizado (recordar, compreender, aplicar, analisar, sintetizar, avaliar)
Interação Geral	Inexistente $r(0,168) - p(0,265)$	Moderada $r(0,416) - p(0,020)$	Inexistente $r(0,070) - p(0,626)$
Interação Seleção	Não se aplica	Inexistente $r(0,244) - p(0,187)$	Inexistente $r(0,058) - p(0,684)$
Interação Manipulação	Forte $r(0,890) - p(0)$	Forte $r(0,766) - p(0)$	Forte $r(0,863) - p(0)$
Interação Navegação	Não se aplica	Moderada $r(0,408) - p(0,023)$	Não se aplica
Interação Controle	Inexistente $r(0,024) - p(0,879)$	Inexistente $r(-0,294) - p(0,108)$	Inexistente $r(-0,248) - p(0,079)$
Tempo exploração no AVA 3D	Moderada $r(0,482) - p(0,001)$	Inexistente $r(0,310) - p(0,090)$	Moderada $r(0,538) - p(0)$
N	44	31	51

Fonte: Autor

Entre os resultados apresentados na Tabela 35, destacam-se:

- correlação forte da nota do pós-teste com os dados de interação do tipo “manipulação”, confirmada nos três experimentos;
- correlação moderada entre a nota do pós-teste e o tempo de exploração no AVA 3D, confirmada em dois experimentos (“VIDA” e “CONSTRUFIG3D”).

Dessa forma, considerando o coeficiente de determinação dado por r^2 %, há indícios de que as interações “manipulação” explicam 79% das notas do pós-teste no experimento com o ambiente “VIDA”; 59% no experimento com o jogo “Portugal 1111” e 74% no experimento com o ambiente “CONSTRUFIG3D”. O tempo de exploração parece explicar 23% das notas do pós-teste no experimento com o ambiente “VIDA” e 29% no experimento com o ambiente “CONSTRUFIG3D”.

Alguns resultados apresentados na Tabela 35 são considerados como correlação inexistente, pelo fato de apresentarem coeficientes de correlação (r) fracos e nível de confiança (p) < 95%. Também são observados coeficientes de correlação moderados, mas com nível de confiança < 95%, os quais estatisticamente representam um resultado não significativo para o estudo.

A Tabela 36 apresenta a matriz de correlações entre os dados das interações e a variável que armazena a evolução das notas entre as fases de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste. Salienta-se que a evolução das notas é calculada pela subtração da nota obtida na fase de pós-teste da nota obtida na fase de pré-teste, para cada participante.

Observando os resultados apresentados na Tabela 36, há indícios de que as interações “manipulação” explicam 37% da evolução das notas (evolução da aprendizagem) no experimento realizado com o ambiente virtual “VIDA”. No mesmo experimento, 78% da evolução da aprendizagem foram esclarecidas pelo tempo de exploração no ambiente virtual. No experimento com o ambiente “CONSTRUFIG3D”, 42% da evolução das notas são explicadas pela quantidade de manipulações no ambiente e 62% são explicadas pelo tempo de exploração no ambiente virtual. Tais valores são calculados pelo coeficiente de determinação dado por r^2 %.

As demais correlações são consideradas inexistentes, pelo fato de apresentarem coeficientes de correlação (r) fracos e nível de significância (p) muito superior a 5%.

Tabela 36 - Correlações encontradas entre variáveis dos experimentos *versus* variável “evolução das notas” entre as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste

Variáveis / Experimento	1 – VIDA tipos de aprendizado (recordar/memorizar)	2 - Portugal 1111 tipos de aprendizado (recordar, compreender, aplicar, analisar, sintetizar, avaliar)	3 – CONSTRUIFIG3D tipos de aprendizado (recordar, compreender, aplicar, analisar, sintetizar, avaliar)
Interação Geral	Inexistente $r (0,247) - p (0,097)$	Inexistente $r (0,088) - p (0,637)$	Inexistente $r (0,133) - p (0,354)$
Interação Seleção	Não se aplica	Inexistente $r (0,067) - p (0,721)$	Inexistente $r (0,155) - p (0,278)$
Interação Manipulação	Moderada $r (0,611) - p (0)$	Inexistente $r (0,087) - p (0,641)$	Moderada $r (0,652) - p (0)$
Interação Navegação	Não se aplica	Inexistente $r (-0,014) - p (0,939)$	Não se aplica
Interação Controle	Inexistente $r (0,177) - p (0,250)$	Inexistente $r (0,199) - p (0,283)$	Inexistente $r (-0,246) - p (0,082)$
Tempo exploração no AVA 3D	Forte $r (0,882) - p (0)$	Inexistente $r (-0,153) - p (0,412)$	Forte $r (0,786) - p (0)$
N	44	31	51

Fonte: Autor

Em ambas as Tabelas 35 e 36, são encontrados alguns tipos de interações que não se aplicam a um ou mais experimentos, pelo fato dos ambientes não disporem de todos os tipos de interações.

Vale ressaltar que no experimento com o jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure” encontrou-se correlação relevante apenas entre as interações do tipo “manipulação” e a “nota do pós-teste” (Tabela 35). Em relação à evolução das notas, não foram encontradas correlações com os dados das interações (Tabela 36). Isto pode ter ocorrido pela evolução pequena entre as notas obtidas nas fases de pré-teste e pós-teste.

Observando a Tabela 37 verifica-se que no experimento com o jogo “Portugal 1111” a média de evolução das notas não foi significativa se comparada aos demais experimentos. Na sequência calculou-se a média, desvio padrão, menor e maior valor sobre os valores calculados da evolução das notas.

Tabela 37 - Análise descritiva dos resultados a partir das avaliações diagnósticas

	1 – VIDA			2 – Portugal 1111			3 – CONSTRUFIG3D		
	Pré-Teste	Pós-Teste	Evolução Notas	Pré-Teste	Pós-Teste	Evolução Notas	Pré-Teste	Pós-Teste	Evolução Notas
Média	2,7	7,9	5,2	4,1	4,9	0,8	2,2	5,6	3,5
Desvio Padrão	2,1	1,9	2,6	0,8	0,8	0,6	1,6	1,7	1,9
Mínimo	0,0	3,0	-1,0	2,0	3,2	-0,5	0,0	1,0	0,75
Máximo	7,0	10,0	10,0	6,0	6,6	1,8	7,3	9,5	7,5
N		44			31			51	

Fonte: Autor

O resultado da pequena evolução das notas no experimento com o jogo “Portugal 1111” pode estar relacionado às características específicas do perfil dos participantes, apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38 - Comparação do perfil dos participantes em cada experimento

1 – VIDA				
	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito Experiente
Habilidade com computador	0%	7%	16%	77%
Habilidade em navegar na Internet	0%	2%	2%	96%
Experiência com Ambientes Virtuais 3D	41%	27%	23%	9%
Experiência no domínio de conhecimento (média)	23%	41%	32%	4%
2 – Portugal 1111 – A Conquista de Soure				
	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito Experiente
Habilidade com computador	0%	3%	58%	39%
Habilidade em navegar na Internet	0%	3%	42%	55%
Experiência com Ambientes Virtuais 3D	26%	35%	39%	0%
Experiência no domínio de conhecimento (média)	4%	22%	53%	21%
3 – CONSTRUFIG3D				
	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito Experiente
Habilidade com computador	0%	33%	51%	16%
Habilidade em navegar na Internet	0%	6%	63%	31%
Experiência com Ambientes Virtuais 3D	14%	53%	23%	10%
Experiência no domínio de conhecimento (média)	34%	50%	16%	0%

Fonte: Autor

Observando o perfil dos participantes nos três experimentos, percebe-se que o nível de conhecimento dos participantes na faixa de “experiente” a “muito experiente” é de 74% no experimento com o jogo “Portugal 1111 – A Conquista de

Soure”; 36% no experimento que fez uso do Atlas Anatômico Virtual “VIDA” e 16% no experimento que usou o ambiente virtual “CONSTRUFIG3D”. Dessa forma, o nível de conhecimento inicial sobre o domínio de estudo no experimento com o jogo “Portugal 1111” era muito maior em relação aos demais experimentos, o que pode justificar a baixa evolução entre as notas das Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste.

Adicionalmente, buscando verificar a validade da metodologia adotada no processo de aprendizagem, aplicou-se o teste t - amostras pareadas.

O teste t - amostras pareadas tem como propósito verificar se existe diferença entre desempenho/comportamento quando se tem um mesmo grupo de sujeitos testado em momentos diferentes. Neste estudo verificou-se o efeito do AVA 3D no processo de aprendizagem, no qual o grupo de sujeitos foi submetido à Avaliação Diagnóstica Pré-Teste antes do processo de aprendizagem com o AVA 3D e após o processo de aprendizagem foi submetido à Avaliação Diagnóstica Pós-Teste.

Os resultados do teste t – amostras pareadas confirmaram que os AVAs 3D aplicados nos experimentos atingiram o objetivo proposto, uma vez que a média de acertos após o uso do AVA 3D em cada experimento foi significativamente melhor do que antes do treinamento (“VIDA” – média de evolução das notas 5,2 pontos e “CONSTRUFIG3D” – média de evolução das notas 3,5 pontos), mesmo no experimento com o jogo “Portugal 1111” que apresentou uma pequena evolução entre as fases (média de 0,8 pontos). Os resultados do teste apresentaram nível de confiança $> 95\%$. Portanto, há indícios da aquisição de conhecimento entre as fases.

A Figura 38 apresenta o gráfico *boxplot* que representa a distribuição do conjunto de dados englobando os três experimentos (notas do pré-teste e pós-teste), mostrando que a distribuição das notas do pós-teste se aproxima da média de acertos, isto é, se aproxima de uma distribuição normal, sendo que o mesmo não ocorre com as notas do pré-teste. Dessa forma, é possível verificar que houve aquisição de conhecimento tendo como meio de aprendizagem o AVA 3D.

Figura 38 - Gráfico *boxplot* representando a distribuição das notas nas fases de Pré-Teste e Pós-Teste

Fonte: Autor

6.3 ANÁLISE DESCRITIVA INCLUINDO OS TRÊS EXPERIMENTOS

Ao englobar os dados dos três experimentos foi verificado se a amostra apresenta distribuição normal, tendo em vista que cada experimento apresenta especificidades em relação aos tipos de interações disponíveis no ambiente, tempo de exploração no ambiente virtual e características diferenciadas no domínio de conhecimento.

Verificar a normalidade dos dados é uma etapa necessária na análise estatística porque a maioria dos métodos estatísticos paramétricos supõe que a amostra observada é proveniente de uma distribuição normal.

Logo, este estudo avaliou a normalidade dos dados por meio de uma análise descritiva apresentada na Tabela 39 e os histogramas ilustrados nas Figuras 39 a 47.

Os resultados apresentados na Tabela 39 mostram que o conjunto de dados não é simétrico (normal), tendo em vista que:

- o desvio padrão apresenta valores altos em relação à média, o que indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores;

▪ os valores da média, mediana e moda são diferentes. Logo, o conjunto de dados apresenta uma distribuição assimétrica positiva, uma vez que o valor da média é superior ao da mediana.

Tabela 39 - Análise descritiva dos dados considerando os três experimentos

Variáveis/experimento	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Interação Geral (0-∞)	314,4	250,5	170	170,9	117	1.242
Interação Seleção (0-∞)	164,7	112,5	0	184	0	971
Interação Manipulação (0-∞)	101,4	90	38	65,5	14	255
Interação Navegação (0-∞)	3,9	0	0	8	0	40
Interação Controle (0-∞)	43,3	34,5	2	40	0	233
Tempo exploração no AVA 3D (min/seg de 0-∞)	32:14	26:19	05:21	23:58	02:00	76:00
Nota Pós-Teste (0-10)	6,2	6,0	10,0	2,0	1,0	10,0
Nota Pré-Teste (0-10)	2,8	2,8	0,0	1,9	0,0	7,2
Evolução das notas (-10 a 10)	3,5	3,0	4,0	2,6	-1,0	10,0

Fonte: Autor

Para visualizar a distribuição dos dados, as Figuras 39 a 47 apresentam o histograma de cada variável do experimento. A curva normal, conhecida também como “curva de *Gauss*” adicionada aos histogramas ajuda a visualizar a distribuição dos dados e a assimetria em relação à média, com exceção da nota do pós-teste que parece se aproximar da normalidade, como ilustra a Figura 46.

Figura 39 - Histograma “interação geral”

Fonte: Autor

Figura 40 - Histograma interação “seleção”

Fonte: Autor

Figura 41 - Histograma interação “manipulação”

Fonte: Autor

Figura 42 - Histograma interação “navegação”

Fonte: Autor

Figura 43 - Histograma interação “controle”

Fonte: Autor

Figura 44 - Histograma “tempo de exploração”

Fonte: Autor

Figura 45 - Histograma “nota pré-teste”

Fonte: Autor

Figura 46 - Histograma “nota pós-teste”

Fonte: Autor

Figura 47 - Histograma “evolução das notas” (pré-teste - pós-teste)

Fonte: Autor

O fato dos dados não apresentarem normalidade na sua distribuição pode estar relacionado a diversos fatores, como: i) especificidades do domínio de estudo explorado em cada experimento; ii) AVAs 3D não serem homogêneos quanto aos tipos de interação (seleção, manipulação, navegação e controle); iii) acentuada diferença no tempo de exploração em cada AVA 3D aplicado nos experimentos e iv) no âmbito do mesmo experimento encontram-se diferentes perfis de participantes, o que pode levar a diferentes estilos de aprendizagem.

6.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON INCLUINDO OS TRÊS EXPERIMENTOS

Uma vez realizada a análise previamente descrita com a finalidade de compreender o conjunto de dados, verificou-se a interdependência das variáveis por meio da Correlação de *Pearson*, considerando os três experimentos realizados, que totalizam 126 participantes (Tabela 40).

A Correlação de *Pearson* supõe que os dados da amostra estejam normalmente distribuídos, mas esse pressuposto é especialmente importante para amostras pequenas ($N < 30$) (FIGUEIREDO FILHO e SILVA Jr., 2009).

Na sequência apresenta-se uma breve discussão sobre a correlação das variáveis, baseada nos resultados que constam da Tabela 40.

Tabela 40 - Correlação de *Pearson* entre variáveis considerando os três experimentos

Variáveis/ Experimento	Avaliações Diagnósticas		
	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste – Pré-Teste)
Interação Geral	Fraca $r (-0,210) - p (0,018)$	Inexistente $r (-0,062) - p (0,490)$	Inexistente $r (0,100) - p (0,267)$
Interação Seleção	Inexistente $r (-0,181) - p (0,043)$	Fraca $r (-0,293) - p (0,001)$	Inexistente $r (-0,102) - p (0,257)$
Interação Manipulação	Inexistente $r (0,107) - p (0,231)$	Forte $r (0,713) - p (0)$	Moderada $r (0,482) - p (0)$
Interação Navegação	Moderada $r (0,411) - p (0)$	Fraca $r (-0,284) - p (0,001)$	Moderada $r (-0,511) - p (0)$
Interação Controle	Fraca $r (-0,318) - p (0)$	Inexistente $r (-0,040) - p (0,659)$	Fraca $r (0,193) - p (0,030)$
Tempo exploração no AVA 3D	Fraca $r (0,249) - p (0,005)$	Moderada $r (-0,413) - p (0)$	Moderada $r (-0,498) - p (0)$
N	126	126	126

Fonte: Autor

▪ **Variável interação geral** - não apresenta correlações significativas, pois a correlação fraca apresenta nível de confiança $< 95\%$, ou seja, $(p) > 5\%$. Vale salientar que a “interação geral” representa a quantidade total de interações realizadas pelos participantes, que corresponde à soma das interações “seleção”, “manipulação”, “navegação” e “controle”.

▪ **Variável interação seleção** - nota-se uma correlação negativa fraca com a variável “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste”. Isto significa que quanto maior a quantidade de seleções no ambiente virtual, menor é o resultado da nota obtida na fase de pós-teste e vice-versa, o que explica aproximadamente 8,5% das notas obtidas.

No entanto, esta correlação negativa pode ser justificada pelo fato do primeiro experimento realizado com o ambiente virtual “VIDA” não oferecer o tipo de interação “seleção” e ter obtido as maiores notas em relação aos demais experimentos. A Tabela 41 apresenta a correlação da variável “interação seleção” englobando os três experimentos e o resultado obtido excluindo-se os dados relacionados ao experimento com o ambiente “VIDA”.

Tabela 41 - Comparação das correlações de *Pearson* considerando o tipo de interação “seleção”

Variáveis / Experimento	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste – Pré-Teste)
Resultado com dois experimentos (Portugal 1111 e “CONSTRUFIG3D”)			
Interação Seleção	Moderada $r (-0,437) - p (0)$	Fraca $r (0,216) - p (0,051)$	Moderada $r (0,523) - p (0)$
Resultado com os três experimentos, incluindo o “VIDA”			
Interação Seleção	Inexistente $r (-0,181) - p (0,043)$	Fraca $r (-0,293) - p (0,001)$	Inexistente $r (-0,102) - p (0,257)$

Fonte: Autor

Nota-se que os resultados das correlações sofreram alterações consideráveis quando se excluiu dos dados o experimento com o ambiente “VIDA”, destacando-se a correlação positiva moderada com a variável “evolução das notas”, o que fornece indícios de que houve aquisição de conhecimento com o uso dos AVAs 3D.

Uma correlação negativa com a variável “nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste” foi confirmada, porém com um coeficiente maior, tornando-se uma correlação negativa moderada. Tal correlação denota que quanto maior a nota do pré-teste, menor foi o número de seleções no ambiente virtual e vice-versa. Considerando o contexto dos experimentos conduzidos, há indícios de que quanto maior o conhecimento do aprendiz sobre o domínio em estudo, menor a necessidade do mesmo em realizar tentativas de seleções nos ambientes virtuais.

Por fim, a correlação com a nota do pós-teste se manteve fraca, porém, positiva pelo fato de não incluir os dados do experimento com o ambiente “VIDA”, o que é coerente tendo em vista que o mesmo não dispõe de interações do tipo “seleção”.

Logo, acredita-se que as interações do tipo “seleção” também podem colaborar com a aquisição de conhecimento, por terem apresentado uma contribuição na evolução das notas. Entretanto, esta contribuição não é confirmada pela nota do pós-teste. As Figuras 48 e 49 ilustram os diagramas de dispersão que ajudam a compreender o comportamento dos dados e a visualizar as correlações com as interações “seleção”, que incluiu os dados de apenas dois experimentos (“Portugal 1111” – pontos azuis e “CONSTRUFIG3D” – pontos vermelhos).

Figura 48 - Gráfico de dispersão “seleção” versus “notas pós-teste” (experimentos “Portugal 1111” e “CONSTRUFIG3D”)

Fonte: Autor

Figura 49 - Gráfico de dispersão “seleção” versus “evolução das notas” (experimentos “Portugal 1111” e “CONSTRUFIG3D”)

Fonte: Autor

Observando a inclinação das linhas de tendência exibidas nos diagramas de dispersão (Figuras 48 e 49) é visível a correlação fraca em relação às notas do pós-teste e a correlação moderada com a evolução das notas. Nota-se também que a distribuição dos dados não é linear, uma vez que os dados não estão agrupados próximos da linha de tendência.

▪ **Variável interação manipulação** - os dados apresentados na Tabela 40 mostram que existe uma forte interdependência entre as interações do tipo “manipulação” e as “notas da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste”, o que explica 51% das notas do pós-teste. Uma interdependência moderada é encontrada entre as interações “manipulação” e a “evolução das notas”, o que explica aproximadamente 23% dos resultados.

Verificando os diagramas de dispersão exibidos nas Figuras 50 e 51, percebe-se que há um conjunto de dados que tem o seu valor elevado, conforme aumenta a quantidade de interações do tipo “manipulação”, o que confirma as correlações encontradas. No entanto, os dados não estão agrupados em torno da linha de tendência, o que representa uma distribuição não linear.

Figura 50 - Gráfico de dispersão “manipulação” versus “notas pós-teste”

Fonte: Autor

Figura 51 - Gráfico de dispersão “manipulação” versus “evolução das notas”

Fonte: Autor

Considerando que o tipo de interação “manipulação” está presente nos três experimentos, é possível que as correlações encontradas sejam significativas para a conclusão dos estudos.

▪ **Variável interação navegação** - observa-se na Tabela 40 que há correlações negativas entre a “nota do pós-teste” e a “evolução das notas”. Isto representa que quando a nota do pós-teste e/ou a evolução das notas aumentam, a quantidade de interações diminui. Por conseguinte, quando se eleva o número de interações do tipo “navegação”, o valor das notas diminui.

No contexto dos experimentos conduzidos, isto ocorre em decorrência da correlação ter sido medida incluindo os três experimentos, sendo que a interação “navegação” está disponível em apenas um deles, no jogo “Portugal 1111”. É importante lembrar que, conforme mostrado na subseção 5.3.2.3 (Tabela 24), neste experimento (“Portugal 1111”) em específico, foi encontrada uma correlação moderada entre as interações “navegação” e a “nota do pós-teste”.

A Figura 52 apresenta o diagrama de dispersão considerando a relação entre as interações do tipo “navegação” e a “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste”.

Figura 52 - Gráfico de dispersão “navegação” versus “notas pós-teste”

Fonte: Autor

Os pontos verdes no diagrama se referem ao experimento com o jogo “Portugal 1111” e se concentram entre os valores de 3,2 e 6,6, apresentando uma correlação fraca, que pode ser percebida pela linha de tendência. Também se

observa que a distribuição dos pontos não é linear, pois são encontrados pontos distantes da linha de tendência. Os demais pontos nas cores azul e vermelha que aparecem com zero de navegação referem-se aos experimentos que não oferecem o tipo de interação “navegação”.

O diagrama de dispersão apresentado na Figura 53 esclarece que há uma correlação negativa moderada entre as variáveis (interação “navegação” e “evolução das notas”). Esta correlação é percebida observando-se apenas os pontos verdes que representam o experimento com o jogo “Portugal 1111”, cuja evolução das notas tem uma variação entre -0,5 e 1,8. Os demais pontos se referem aos experimentos com os AVAs 3D “VIDA” e “CONSTRUFIG3D” que não apresentam o tipo de interação “navegação”.

Figura 53 - Gráfico de dispersão “navegação” versus “evolução das notas”

Fonte: Autor

Dessa forma, a Tabela 42 apresenta as correlações obtidas apenas com o experimento que usou o jogo “Portugal 1111”, buscando verificar a real contribuição da interação do tipo “navegação” para a aquisição de conhecimento.

A correlação negativa entre as interações do tipo “navegação” e as “notas do pós-teste” é condizente ao contexto quando se incluem os três experimentos na análise (Tabela 42), tendo em vista que este tipo de interação encontra-se disponível apenas no experimento com o jogo “Portugal 1111”, tendo sido nula nos demais experimentos.

Tabela 42 - Comparação das Correlações de *Pearson* considerando a interação “navegação”

Variáveis / Experimento	Nota Pré-Teste	Nota Pós-Teste	Evolução das Notas (Pós-Teste – Pré-Teste)
Resultado apenas do experimento com AVA 3D “Portugal 1111”			
Interação Navegação	Moderada $r(0,391) - p(0,030)$	Moderada $r(0,408) - p(0,023)$	Inexistente $r(-0,014) - p(0,939)$
Resultado com os três experimentos			
Interação Navegação	Moderada $r(0,411) - p(0)$	Fraca $r(-0,284) - p(0,001)$	Moderada $r(-0,511) - p(0)$

Fonte: Autor

Contudo, verificando a correlação resultante da análise que considerou apenas os dados do experimento com o jogo (Tabela 42) nota-se que a interação do tipo “navegação” pode ter uma contribuição no aprendizado, por apresentar uma correlação positiva moderada com as notas do pós-teste, porém não apresenta nível de significância (p) superior a 5%, o que estatisticamente é um resultado não confiável.

▪ **Variável tempo de exploração** - apresenta correlação moderada entre as variáveis “nota da Avaliação Diagnóstica Pós-Teste” e “evolução das notas” (Pré-Teste – Pós-Teste). No entanto, a correlação é negativa em virtude da análise de correlação ter sido realizada de forma global incluindo os resultados dos três experimentos, sendo que os mesmos apresentam tempos de exploração estimados pelos especialistas, muito diferentes entre si, conforme apresenta a Tabela 43.

Tabela 43 - Resultado da análise descritiva do tempo de exploração (segundos) nos três experimentos

	VIDA	Portugal 1111	CONSTRUFIG3D
Média	506,16	4102,16	1848,84
Desvio Padrão	243,41	389,46	561,72
Mínimo	120	2869	706
Máximo	958	4560	2718

Fonte: Autor

Logo, a variável “tempo de exploração” é um parâmetro particular de cada experimento. Conforme metodologia adotada, o tempo deve ser estimado pelo especialista no domínio, que considera o contexto, a população e o AVA 3D a ser aplicado no processo de aprendizagem.

Para ilustrar a disparidade entre os tempos de exploração aplicados em cada experimento apresenta-se na Figura 54 o diagrama de dispersão. O conjunto de pontos verdes se refere ao experimento com o jogo “Portugal 1111” que exigiu um tempo de exploração bem maior em relação aos demais experimentos; os pontos vermelhos se referem ao experimento com o ambiente virtual “CONSTRUFIG3D” e os pontos azuis ao experimento com o Atlas Anatômico Virtual – “VIDA” que exigiu o menor tempo de exploração.

Figura 54 - Gráfico de dispersão “tempo de exploração” versus “notas do pós-teste”

Fonte: Autor

Na seção 6.2, na qual foi apresentada uma comparação das correlações encontradas nos três experimentos, percebeu-se que o tempo de exploração apresentou uma contribuição na evolução do aprendizado. Porém, considerar esta variável como sendo um dos parâmetros de avaliação da aquisição de conhecimento, de forma isolada, pode tornar o método frágil, tendo em vista que cada domínio de conhecimento, cada contexto e, conseqüentemente, cada AVA 3D aplicado no processo de aprendizado, pode apresentar variações expressivas em relação ao tempo de exploração e comprometer conclusões futuras sobre o aprendizado.

Além disso, os aprendizes apresentam estilos de aprendizagem diferenciados, ou seja, alguns podem ter a necessidade de explorar o ambiente

virtual por um tempo maior, enquanto outros não. Outra questão a ser considerada é a possibilidade do aprendiz estar com o AVA 3D em execução, mas não estar necessariamente interagindo. Assim, sugere-se que tempo de exploração seja considerado na avaliação da aprendizagem em conjunto com outros parâmetros, como por exemplo, as interações realizadas no ambiente e a intensidade dessas interações.

6.5 Inferência do Modelo Matemático

Dando continuidade à análise estatística, aplicou-se o método da Regressão Linear Múltipla ou Multivariável buscando identificar as variáveis relevantes e seus coeficientes, como forma de descrever o conjunto de dados empíricos de modo genérico na forma $y = f(x)$. Com isto, procurou-se formular um equacionamento genérico para apresentar a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D de forma automática.

A equação da regressão linear múltipla apresentada na Equação (3) descreve uma relação entre k variáveis independentes (ou regressores), x_j , e a variável dependente y .

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3)$$

Os métodos de regressão linear *forward*, *backward* e *stepwise* foram testados com os dados brutos e também com os dados transformados, com a finalidade de determinar os melhores coeficientes da equação, observando-se parâmetros estatísticos tais como: i) coeficiente de determinação (R^2); ii) nível de significância estatística dos coeficientes; iii) erro padrão; iv) coerência da equação e v) análise de resíduos. Os dados brutos referem-se aos dados originais coletados a partir dos experimentos, sem terem sofrido o menor tratamento. Quanto aos dados transformados, aplicou-se a transformação logarítmica natural nos dados originais como forma de padronizar os dados ou colocá-los em uma escala coerente ao método estatístico a ser aplicado na análise.

Ainda para validar a análise da regressão linear, é verificado se a forma paramétrica estabelecida para o modelo está adequada, ou seja, se a relação funcional entre as variáveis dependentes e independentes é conhecida, passíveis de serem estimadas a partir do conjunto de treinamento. Assim, por meio de simulações com a equação gerada e os dados da amostra, é possível verificar se o

comportamento das variáveis independentes é satisfatório para a amostra coletada, isto é, se o comportamento das variáveis é similar ao desempenho dos aprendizes que participaram dos experimentos realizados.

Inicialmente foi aplicada a regressão linear multivariável no conjunto de dados que incluiu os resultados dos três experimentos, buscando uma equação genérica que pudesse ser aplicada em qualquer AVA 3D que possua características semelhantes aos AVAs 3D adotados nos experimentos. A subseção 6.5.1 apresenta os resultados da regressão linear com os dados brutos e a subseção 6.5.2 apresenta os resultados com os dados transformados.

Na subseção 6.5.3 são apresentados os resultados da regressão linear separadamente, por experimento, a fim de encontrar um equacionamento por experimento. Isto se deve ao fato dos AVAs 3D aplicados nos experimentos não disporem de todos os tipos de interações considerados neste estudo (manipulação, seleção, navegação e controle).

6.5.1 Equacionamento Geral – dados brutos

A Tabela 44 apresenta os resultados da regressão linear multivariável com os dados brutos considerando os três métodos: *forward*, *backward* e *stepwise*.

Tabela 44 - Coeficientes da equação geral

Método	Coeficientes da Equação <i>y = nota_pós_teste</i>	R ²	R ² ajustado	p- value	Erro padrão
<i>Backward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 = \text{controle}; \beta_4 = \text{interação_geral}$ $\alpha = 2,661; x_1 = 0,026; x_2 = -0,084; x_3 = -0,018; x_4 = 0,006$	0,677	0,666	0,000	1,1789
<i>Stepwise</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{seleção}; \beta_3 = \text{navegação}; \beta_4 = \text{interação_geral}$ $\alpha = 2,672; x_1 = 0,045; x_2 = 0,018; x_3 = -0,067; x_4 = -0,012$	0,677	0,666	0,000	1,1788
<i>Forward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 = \text{controle}; \beta_4 = \text{interação_geral}$ $\alpha = 2,287; x_1 = 0,028; x_2 = -0,104; x_3 = -0,016; x_4 = 0,006$	0,680	0,667	0,000	1,1769

Fonte: Autor

O método *forward* apresentou o melhor resultado na obtenção dos coeficientes da equação geral, tendo em vista que o coeficiente de determinação

(R^2) se aproxima mais do valor 1,0 (conceituado na seção 4.8) e também pelo erro padrão apresentar menor valor. Entretanto, percebe-se uma diferença mínima em relação aos demais métodos.

Considerando os três métodos apresentados na Tabela 44, os coeficientes que melhor representam a equação é o método *forward* apresentado na Equação (4):

$$nota_pos_teste = 2,287 + \beta_1 0,028 + \beta_2 (-0,104) + \beta_3 (-0,016) + \beta_4 0,006 + \varepsilon \quad (4)$$

onde, $\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{navegação}$; $\beta_3 = \text{controle}$; $\beta_4 = \text{interação_geral}$

A Tabela 45 apresenta os dados da regressão linear multivariável com os dados brutos, quando se inclui a nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste como uma das variáveis independentes.

Tabela 45 - Coeficientes da equação geral incluindo a “nota do pré-teste” como variável independente

Método	Coeficientes da Equação $y = nota_pós_teste$	R^2	R^2 ajustado	p - value	Erro padrão
<i>Backward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{navegação}$; $\beta_3 = \text{controle}$; $\beta_4 = \text{interação_geral}$; $\beta_5 = \text{nota_pré}$ $\alpha = 2,177$; $x_1 = 0,026$; $x_2 = -0,100$; $x_3 = -0,017$; $x_4 = 0,006$; $x_5 = 0,192$	0,701	0,688	0,000	1,1389
<i>Stepwise</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{seleção}$; $\beta_3 = \text{navegação}$; $\beta_4 = \text{controle}$; $\beta_5 = \text{nota_pré}$ $\alpha = 2,182$; $x_1 = 0,032$; $x_2 = 0,006$; $x_3 = -0,094$; $x_4 = -0,011$; $x_5 = 0,191$	0,701	0,688	0,000	1,1389
<i>Forward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{navegação}$; $\beta_3 = \text{controle}$; $\beta_4 = \text{interação_geral}$; $\beta_5 = \text{nota_pré}$ $\alpha = 1,734$; $x_1 = 0,027$; $x_2 = -0,123$; $x_3 = -0,015$; $x_4 = 0,006$; $x_5 = 0,197$	0,706	0,691	0,000	1,1341

Fonte: Autor

Considerando os três métodos apresentados na Tabela 45, os coeficientes que melhor representam a equação é o método *forward* apresentado na Equação (5):

$$nota_pos_teste = 1,734 + \beta_1 0,027 + \beta_2 (-0,123) + \beta_3 (-0,015) + \beta_4 0,006 + \beta_5 0,197 + \varepsilon \quad (5)$$

onde, $\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{navegação}$; $\beta_3 = \text{controle}$; $\beta_4 = \text{interação_geral}$; $\beta_5 = \text{nota_pré}$

A nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste é um coeficiente relevante, uma vez que representa o conhecimento prévio do aprendiz sobre o domínio de estudo, o que pode influenciar nas tomadas de decisão durante o processo de aprendizagem no AVA 3D.

As Equações (4) e (5) apresentam coeficientes positivos e negativos. Os coeficientes positivos indicam que, quanto maior o valor da variável correspondente, maior é a nota predita pela regressão linear. Em relação aos coeficientes negativos, quanto maior o valor da variável correspondente, menor é o valor da nota predita.

Considerando os resultados dos experimentos, o comportamento das variáveis e seus coeficientes atendem o esperado, com exceção da variável “navegação”. A interação do tipo “navegação” se apresenta disponível apenas no experimento com o jogo “Portugal 1111”, então há dúvidas sobre a sua real contribuição na avaliação da aquisição de conhecimento, uma vez que considerando seu coeficiente negativo na equação, quanto maior a quantidade de interações do tipo navegação menor é o valor da nota predita.

Por outro lado, ao se analisar a correlação de tal variável no experimento com o jogo “Portugal 1111” esta apresenta interdependência com a nota do pós-teste, mas com nível de significância não confiável ($p > 5\%$), o que também não confirma a sua contribuição positiva no aprendizado.

Adicionalmente, são analisados os erros do modelo (resíduos), buscando verificar a média, variância e distribuição dos dados a fim de validar a análise da regressão linear.

Os resíduos de um modelo de regressão representam a diferença entre os resultados obtidos nos experimentos e o modelo estimado por meio da equação de regressão, ou seja, a quantidade de informação relativa à variável dependente y que a equação de regressão não foi capaz de explicar.

Dessa forma, analisando graficamente a distribuição dos resíduos (Figuras 55 a 58) referentes às Equações (4) e (5), observa-se que os erros apresentam distribuição normal, média zero e variância razoavelmente constante. Aproximadamente 95% dos resíduos estão no intervalo $[-2, 2]$, como se observa nos gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 56 e 58.

Figura 55 - Representação dos resíduos da Equação (4) - Tabela 44

Fonte: Autor

Figura 56 - Gráfico de dispersão dos resíduos da Equação (4) – Tabela 44

Fonte: Autor

Observa-se que os resíduos referentes à equação geral que incluiu a nota do pré-teste estão mais próximos de zero (Figura 57) quando comparados com os resíduos representados no gráfico da Figura 55 que tem uma parcela dos resíduos afastados de zero. Isto confirma o fato do R^2 ajustado ser maior para a equação que incluiu a nota do pré-teste como variável independente.

Figura 57 - Representação dos resíduos da Equação (5) – Tabela 45

Fonte: Autor

Figura 58 - Gráfico de dispersão dos resíduos da Equação (5) – Tabela 45

Fonte: Autor

6.5.2 Equacionamento Geral – dados transformados

Na seção 6.2 foi constatado que a distribuição dos dados brutos não apresenta distribuição normal. Dessa forma, aplicou-se uma transformação nos dados antes da análise da regressão linear múltipla, buscando verificar se os resíduos terão seus valores melhorados e mais aproximados de zero. A

transformação dos dados estabiliza a variância e aproxima os dados da normalidade.

Existem diversos métodos de transformação para linearizar o modelo, sendo neste estudo aplicado o método de transformação logarítmica, apenas nos dados das variáveis independentes (interação geral, tempo de exploração, manipulação, navegação, seleção, controle, nota do pré-teste).

A Tabela 46 apresenta os resultados da regressão linear multivariável com os dados transformados por meio da transformação logarítmica.

Tabela 46 - Coeficientes da equação geral (após transformação dos dados)

Método	Coeficientes da Equação $y = \text{nota_pós_teste}$	R^2	R^2 ajustado	p - value	Erro padrão
<i>Backward/ Stepwise</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 =$ $\text{tempo_exploração}; \beta_4 = \text{seleção}$ $\alpha = -16,023; x_1 = 3,879; x_2 = -1,526; x_3 = 0,634;$ $x_4 = 0,503$	0,800	0,793	0,000	0,9274
<i>Forward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{tempo_exploração}; \beta_3$ $= \text{navegação}$ $\alpha = -17,549; x_1 = 3,552; x_2 = 0,693; x_3 = -1,512$	0,803	0,793	0,000	0,9274

Fonte: Autor

Os valores do coeficiente de regressão ajustado R^2 e o erro padrão resultantes de cada método são muito semelhantes (Tabela 46). Logo, a Equação (6) considera os coeficientes obtidos por meio do método *forward*, por ter excluído das variáveis independentes a interação do tipo “seleção”, visto que esta apresentava nível de confiança $< 95\%$ e uma correlação fraca com a nota do pós-teste quando aplicada a Correlação de *Pearson*.

$$\text{nota_pós_teste} = (-17,549) + \beta_1 3,552 + \beta_2 0,693 + \beta_3 (-1,512) + \varepsilon \quad (6)$$

onde, $\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{tempo_exploração}; \beta_3 = \text{navegação}$

A Tabela 47 apresenta os dados da regressão linear multivariável com os dados transformados, quando se inclui a nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste como uma das variáveis independentes.

Tabela 47 - Coeficientes da equação geral incluindo a “nota do pré-teste” como variável independente (após transformação dos dados)

Método	Coeficientes da Equação $y = \text{nota_pós_teste}$	R^2	R^2 ajustado	p - value	Erro padrão
<i>Forward</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 = \text{tempo_exploração}; \beta_4 = \text{nota_pré}$ $\alpha = -21,915; x_1 = 2,758; x_2 = -1,818; x_3 = 1,505; x_4 = 0,990$	0,851	0,842	0,000	0,8110
<i>Backward/ Stepwise</i>	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 = \text{tempo_exploração}; \beta_4 = \text{interação_geral}; \beta_5 = \text{nota_pré}$ $\alpha = -21,335; x_1 = 2,994; x_2 = -1,754; x_3 = 1,430; x_4 = 0,792; x_5 = 0,961$	0,849	0,843	0,000	0,8091

Fonte: Autor

Os resultados da Tabela 47 também são muito semelhantes em relação aos valores do coeficiente de regressão ajustado R^2 e do erro padrão apresentados para cada método. Logo, a Equação (7) considera os coeficientes obtidos por meio do método *forward*, por ter excluído das variáveis independentes a “interação geral”, que apresenta nível de confiança $< 95\%$ e não apresenta interdependência com a “nota do pós-teste” quando aplicada a Correlação de *Pearson* englobando os três experimentos.

$$\text{nota_pós_teste} = (-21,915) + \beta_1 2,758 + \beta_2 (-1,818) + \beta_3 1,505 + \beta_4 0,990 + \varepsilon \quad (7)$$

onde, $\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 = \text{navegação}; \beta_3 = \text{tempo_exploração}; \beta_4 = \text{nota_pré}$

Comparando-se as Equações (6) e (7) – resultantes dos dados transformados com as Equações (4) e (5) – resultantes dos dados brutos, nota-se que as interações do tipo “navegação” se mantiveram em ambas. As variáveis que se referem às interações do tipo “controle” e “interação geral” foram eliminadas da equação resultante dos dados transformados, o que é coerente, tendo em vista que tais variáveis não apresentaram correlação com a “nota do pós-teste” (Tabelas 35 e 40).

A variável “tempo de exploração” foi considerada pela regressão linear como um resultado bem aceitável, visto que apresentou correlação moderada com a nota do pós-teste em dois experimentos (“VIDA” e “CONSTRUFIG3D” – Tabela 35). Observa-se também que a nota do pré-teste se manteve na Equação (7), quando

considerada na análise da regressão linear, reafirmando a sua contribuição na avaliação da aquisição de conhecimento.

Observando os resultados apresentados nas Tabelas 46 e 47, percebe-se que após a transformação dos dados houve uma melhora no coeficiente de regressão ajustado R^2 , como também uma redução no erro padrão. As Figuras de 59 a 62 apresentam a análise dos resíduos de forma gráfica, nas quais se percebe que os erros se aproximam em torno de zero e aproximadamente 95% dos dados estão entre o intervalo $[-2, 2]$, o que é satisfatório estatisticamente.

Figura 59 - Representação dos resíduos - com a variável “nota do pré-teste”

Fonte: Autor

Figura 60 - Gráfico de dispersão dos resíduos - com a variável “nota do pré-teste”

Fonte: Autor

Figura 61 - Representação dos resíduos - sem a variável “nota do pré-teste”

Fonte: Autor

Figura 62 - Gráfico de dispersão dos resíduos - sem a variável “nota do pré-teste”

Fonte: Autor

Dessa forma, os resultados indicam que a Equação (7) obtida com os dados transformados é a mais apropriada para se considerar neste estudo.

$$nota_pós_teste = (-21,915) + \beta_1 2,758 + \beta_2 (-1,818) + \beta_3 1,505 + \beta_4 0,990 + \varepsilon \quad (7)$$

onde, β_1 = manipulação; β_2 = navegação; β_3 = tempo_exploração; β_4 = nota_pré

Vale ressaltar que a regressão linear foi também aplicada ao conjunto de dados que incluiu os três experimentos, isolando-se as interações “seleção” e “navegação”, buscando verificar se a equação gerada seria mais adequada, tendo em vista que tais interações não estão disponíveis em todos os experimentos. No entanto, os resultados não foram satisfatórios.

Na subseção 6.5.3 são apresentados os resultados do equacionamento específico por experimento, considerando as especificidades de cada AVA 3D.

6.5.3 Equacionamento Específico por Experimento

Considerando que dos três AVAs 3D aplicados nos experimentos dois deles (“VIDA” e “CONSTRUFIG3D”) não dispõem de todos os tipos de interações, aplicou-se a regressão linear multivariável por experimento, de forma a retirar da análise as variáveis independentes que não se aplicam ao ambiente virtual. Em cada experimento, a regressão linear multivariável foi aplicada considerando os dados brutos, uma vez que individualmente os dados de cada experimento apresentam distribuição normal, não havendo necessidade de transformação dos dados. As Tabelas 48 e 49 apresentam os resultados obtidos.

Vale salientar que a análise de regressão linear foi aplicada para cada um dos três métodos (*forward*, *backward* e *stepwise*), sendo que o método *backward* obteve os melhores resultados e os coeficientes são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 - Coeficientes da equação gerados por experimento

Id Experimento	Coeficientes da Equação $y = nota_pós_teste$	R ²	R ² ajustado	p- value	Erro padrão
VIDA (manipulação e controle)	$\beta_1 = manipulação$	0,822	0,808	0,000	0,8366
	$\alpha = -0,682; x_1 = 0,0494$				
	Nota do Pré-Teste incluída como variável independente				
	$\beta_1 = manipulação; \beta_2 = tempo_exploração; \beta_3 = nota_pré$ $\alpha = -1,020; x_1 = 0,039; x_2 = 0,003; x_3 = 0,318$	0,867	0,853	0,000	0,7323
Portugal 1111 (manipulação, controle, navegação e seleção)	$\beta_1 = manipulação$	0,587	0,572	0,000	0,5444
	$\alpha = 1,723; x_1 = 0,034$				
	Nota do Pré-Teste incluída como variável independente $\beta_1 = manipulação; \beta_2 = nota_pré$ $\alpha = 1,238; x_1 = 0,022; x_2 = 0,393$	0,688	0,665	0,000	0,4816

	$\beta_1 = \text{manipulação}$	0,744	0,739	0,000	0,8855
CONSTRUFIG3D	$\alpha=2,010; x_1 = 0,092$				
(manipulação,	Nota do Pré-Teste incluída como variável independente				
seleção e	$\beta_1 = \text{manipulação}; \beta_2 =$	0,861	0,852	0,000	0,6659
controle)	$\text{tempo_exploração}; \beta_3 = \text{nota_pré}$				
	$\alpha=0,157; x_1 = 0,066; x_2 = 0,001; x_3 = 0,414$				

Fonte: Autor

Observando-se os resultados da regressão linear multivariável apresentados na Tabela 48, alguns pontos são considerados:

- os coeficientes de regressão ajustado (R^2) nos experimentos com os ambientes “VIDA” e “CONSTRUFIG3D” se mantiveram fortes como nas equações gerais;
- no experimento com o jogo “Portugal 1111” os coeficientes de regressão ajustados (R^2) são menores se comparados com as equações gerais e também se comparados com os demais experimentos. Isto pode estar relacionado pelo fato dos participantes do experimento com o jogo não terem apresentado evolução acentuada entre as fases de Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste. Outra hipótese é o fato do jogo apresentar cenário e estratégias mais complexos em relação aos demais AVAs 3D aplicados nos experimentos, o que dificultou uma maior interação no ambiente virtual, pois o tempo também foi dedicado a compreender o cenário e as estratégias do jogo;
- destaca-se que R^2 ajustado é maior quando se inclui a “nota do pré-teste” como variável independente;
- quando se inclui como variável independente a “nota do pré-teste”, o resultado se torna mais coerente, uma vez que considera na equação a variável “tempo de exploração”, confirmando a correlação forte encontrada com a “nota do pós-teste” nos experimentos com os ambientes “VIDA” e “CONSTRUFIG3D” (Tabela 35). No experimento com o jogo “Portugal 1111”, mesmo incluindo a “nota do pré-teste”, a variável “tempo de exploração” não é considerada na equação, o que é aceitável, tendo em vista que tal variável não apresentou correlação com a “nota do pós-teste” (Tabela 35);
- a variável que armazena as interações do tipo “manipulação” é considerada como relevante em todos os resultados obtidos com a regressão linear

aplicada por experimento, confirmando a forte correlação de tal variável com a “nota do pós-teste” em todos os experimentos.

A partir dos coeficientes apresentados na Tabela 48 as Equações (8), (9), (10), (11), (12) e (13) foram determinadas para cada experimento e são apresentadas na Tabela 49.

Tabela 49 - Equações geradas por experimento

Experimento	Equações	R ² ajustado
	$\text{nota_pos_teste} = -0,682 + \beta_1 * 0,0494 + \varepsilon$	(8) 0,808
VIDA	Incluindo a nota do pré-teste Equação (9)	
	$\text{nota_pos_teste} = -1,020 + \beta_1 * 0,039 + \beta_2 * 0,003 + \beta_3 * 0,318 + \varepsilon$	(9) 0,853
	Onde, $\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{tempo_exploração}$; $\beta_3 = \text{nota_pre_teste}$	
	$\text{nota_pos_teste} = 1,723 + \beta_1 * 0,034 + \varepsilon$	(10) 0,572
Portugal 1111	Incluindo a nota do pré-teste Equação (11)	
	$\text{nota_pos_teste} = 1,238 + \beta_1 * 0,022 + \beta_2 * 0,393 + \varepsilon$	(11) 0,665
	Onde, $\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{nota_pre_teste}$	
	$\text{nota_pos_teste} = 2,010 + \beta_1 * 0,092 + \varepsilon$	(12) 0,739
CONSTRUFIG3D	Incluindo a nota do pré-teste Equação (13)	
	$\text{nota_pos_teste} = 0,157 + \beta_1 * 0,066 + \beta_2 * 0,001 + \beta_3 * 0,414 + \varepsilon$	(13) 0,852
	Onde, $\beta_1 = \text{manipulação}$; $\beta_2 = \text{tempo_exploração}$; $\beta_3 = \text{nota_pre_teste}$	

Fonte: Autor

Observando a Tabela 48, verifica-se que os coeficientes considerados relevantes pela análise da regressão linear aplicada em cada experimento são, de fato, as variáveis que apresentaram correlação forte e moderada na análise da Correlação de *Pearson* apresentada na Tabela 35. Ao incluir a “nota do pré-teste” como variável independente verifica-se que a regressão linear a considerou como relevante em todos os experimentos, o que parece confirmar que o conhecimento prévio do aprendiz é importante para predizer a nota do participante na fase de pós-teste.

Os resíduos da equação de regressão linear obtidos no experimento com o ambiente virtual “VIDA” são ilustrados nas Figuras 63 a 66 e nota-se que quando inclui a “nota do pré-teste” na análise da regressão os resíduos apresentam uma variância menos constante, pois uma parcela se afasta do valor zero, como pode ser observado na Figura 63.

Porém, observando os gráficos de dispersão (Figuras 64 e 66) os valores estão mais próximos do intervalo $[-2, 2]$. Analisando o gráfico de dispersão da Figura 66 nota-se um resíduo afastado do extremo do intervalo, o que representa um *outlier*, ou seja, os resíduos que se encontrem muito afastados dos extremos deste intervalo, são denominados *outliers*, isto é, observações que não seguem os “padrões” dos demais dados.

Figura 63 - Representação dos resíduos do experimento “VIDA” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (7)

Fonte: Autor

Figura 64 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “VIDA” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (7)

Fonte: Autor

Figura 65 - Representação dos resíduos do experimento “VIDA” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (6)

Fonte: Autor

Figura 66 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “VIDA” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (6)

Fonte: Autor

As Figuras de 67 a 70 apresentam os resíduos do experimento do jogo “Portugal 1111”, mantendo aproximadamente 95% dos erros no intervalo $[-2, 2]$.

Figura 67 - Representação dos resíduos do experimento “Portugal 1111” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (9)

Fonte: Autor

Figura 68 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “Portugal 1111” com a “variável nota do pré-teste” – Equação (9)

Fonte: Autor

Figura 69 - Representação dos resíduos do experimento “Portugal 1111” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (8)

Fonte: Autor

Figura 70 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “Portugal 1111” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (8)

Fonte: Autor

As Figuras 71 a 74 apresentam os resíduos do experimento com o ambiente virtual “CONSTRUFIG3D”, mantendo também aproximadamente 95% dos erros no intervalo entre $[-2, 2]$, mas com alguns resíduos afastados dos extremos deste intervalo que indicam presença de *outliers*.

Figura 71 - Representação dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (11)

Fonte: Autor

Figura 72 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” com a variável “nota do pré-teste” – Equação (11)

Fonte: Autor

Figura 73 - Representação dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (10)

Gráfico P-P Normal de Regressão Resíduos padronizados

Fonte: Autor

Figura 74 - Gráfico de dispersão dos resíduos do experimento “CONSTRUFIG3D” sem a variável “nota do pré-teste” – Equação (10)

Fonte: Autor

Considerando todas as discussões apresentadas, tanto para os modelos das equações específicas obtidas para cada experimento quanto para o modelo da equação geral, especialmente a Equação (7) que se mostrou mais apropriada, notam-se diversas soluções de equacionamento para a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma automática, com base na amostra coletada. Deste modo, é provável que não exista um único modelo adequado, mas vários modelos possíveis de serem adotados, tendo em vista que não foram declarados incorretos por meio dos dados.

Vale salientar que tais modelos se mostraram adequados para as amostras coletadas nos experimentos, mas não é possível afirmar que os equacionamentos encontrados sejam válidos para qualquer tipo de AVA 3D. Porém, é possível deduzir que para AVAs 3D com características similares aos que foram aplicados nos experimentos, os equacionamentos encontrados são possíveis de prever a nota do participante após o treinamento virtual. Isso significa que há indícios de que é possível eliminar a fase de pós-teste do Modelo Teórico de Avaliação proposto e inferir a nota do aprendiz a partir do monitoramento das interações do aprendiz com o AVA 3D.

Dessa forma, a hipótese desta pesquisa é confirmada, ou seja, **é possível estabelecer um método automático para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, como forma de verificar o quanto o aluno aprendeu com o uso do ambiente virtual**. Entretanto, salienta-se que o equacionamento obtido como forma de avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma automática, não tem como propósito substituir a avaliação diagnóstica tradicional, mas pode atuar como um indicador ou termômetro para identificar diferentes estilos e níveis de aprendizagem, a partir dos parâmetros considerados na avaliação da aquisição de conhecimento, tornando-se assim um complemento à avaliação diagnóstica.

A partir das experiências adquiridas no desenrolar desta investigação, apresentam-se na seção 6.6 sugestões de novas pesquisas, visando sua continuidade.

6.6 TRABALHOS FUTUROS

A partir das experiências adquiridas com este estudo é possível dar continuidade à pesquisa por meio das seguintes propostas:

- desenvolver um módulo de equacionamento no Sistema de Avaliação da Aprendizagem – SAAp, de forma a realizar a avaliação automática. Este módulo poderia incluir a análise de regressão linear multivariável, considerando-se um algoritmo específico, como por exemplo, o algoritmo *forward*, que apresentou melhores resultados na análise da regressão linear na geração dos coeficientes da equação geral. Assim, as variáveis relevantes para o modelo e seus coeficientes seriam calculados, a partir do SAAp, e a nota do participante seria automaticamente calculada pelo equacionamento gerado pelo sistema, considerando os dados de interações e a nota da Avaliação Diagnóstica Pré-Teste coletados por meio do SAAp;

- ainda em relação ao Sistema de Avaliação da Aprendizagem sugerem-se estudos que incluam outras funcionalidades em relação à criação dos questionários que compõem as Avaliações Diagnósticas Pré-Teste e Pós-Teste, como a possibilidade de se incluir imagens no enunciado das questões, como também nas alternativas e/ou afirmativas;

- durante o cadastro das interações, incluir uma opção para o próprio avaliador classificar as interações por tipo (navegação, manipulação, controle e seleção);

- categorizar as interações em termos de relevância da aprendizagem que está sendo realizada;

- migrar o SAAp para uma aplicação *web*, tendo em vista que a sua versão atual foi desenvolvida para *desktop*. As vantagens de uma aplicação *web* são muitas, como: i) possibilidade de acessar o SAAp sem a necessidade de se instalar outros *softwares* no computador, utilizando apenas o navegador para acessar a aplicação; ii) a atualização do sistema é mais rápida, uma vez que qualquer alteração realizada na aplicação é atualizada em um único servidor, eliminando a necessidade de uma instalação máquina por máquina; iii) o acesso pode ser realizado remotamente, *on-line*; iv) escalabilidade no processamento, se por algum motivo for necessário aumentar os recursos basta acionar o servidor de hospedagem e realizar o processo de *upgrade*; v) melhora a segurança, pois depende apenas de um servidor *web*, enquanto que em uma aplicação *desktop* é necessária uma rotina de *backup* de dados;

- implementar um banco de dados distribuído, buscando otimizar a atualização do banco de dados;
- realizar novos experimentos com AVAs 3D que apresentem, igualmente, os quatro tipos de interações (manipulação, navegação, seleção e controle) a fim de identificar outros parâmetros relevantes que auxiliem na avaliação automática da aquisição de conhecimento;
- conduzir estudos de caso para comparar a influência de diferentes meios e técnicas de interação (por exemplo: *mouse*, dispositivo háptico, interação natural com o próprio corpo);
- investigar a contribuição dos algoritmos de redes neurais, como forma de prever com maior precisão a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, baseada em padrões de comportamento dos aprendizes nos ambientes virtuais. Cada padrão de comportamento pode estar relacionado a um estilo de aprendizagem;
- investigar a possibilidade de desenvolver um *framework* com propósito de avaliar a aquisição de conhecimento em qualquer AVA 3D, independentemente da tecnologia utilizada na implementação do ambiente;
- realizar estudos longitudinais acerca da retenção dos conhecimentos adquiridos em AVAs 3D, ou seja, investigar se, de fato, o conhecimento adquirido fica retido na Memória de Longo Prazo. Pois, apesar deste trabalho ter realizado vários experimentos, nada foi investigado sobre a retenção do conhecimento na MLP;
- eliminar do Modelo Teórico para Avaliação da Aquisição de Conhecimento a fase de pré-teste, talvez analisando a fase de ambientação/capacitação no AVA 3D como forma de identificar o padrão de interação e relacioná-lo com nível de conhecimento sobre o domínio de estudo;
- aplicar técnicas/ferramentas de Mineração de Dados Educacionais, a fim de identificar padrões nos dados e verificar se há relação entre os padrões encontrados e o aprendizado do aluno. Esse tipo de estudo pode agregar ferramentas, como *Learning Analytics*, que está sendo empregada para apontar tendências a partir de *big data* disponível sobre o aprendizado de alunos e entender quais são as necessidades de cada estudante, tornando assim o ensino mais personalizado. Estas ferramentas permitem também, a implementação de processo

de diagnóstico precoce, com vistas a suportar ações preventivas e que proporcionem a retenção de conhecimento dos estudantes.

6.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou as discussões gerais a partir dos resultados dos experimentos realizados com base no Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento.

A partir dos resultados obtidos, foi possível inferir um modelo matemático para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma automática. Porém, verificou-se que não existe um único modelo adequado, mas vários modelos que podem ser aplicados em AVAs 3D, tendo em vista que não foram considerados incorretos por meio dos dados dos experimentos realizados.

Apesar dos modelos se mostrarem adequados à amostra coletada, não é possível afirmar que as equações encontradas sejam válidas para qualquer contexto e tipos de AVAs 3D. Porém, é possível deduzir que para AVAs 3D com características similares aos que foram empregados nos experimentos, as equações encontradas são possíveis de prever a nota do participante após a exploração no ambiente virtual.

As conclusões finais deste estudo se encontram no próximo capítulo.

7. CONCLUSÕES

Diante do levantamento bibliográfico realizado nesta pesquisa é possível concluir que os AVAs 3D apresentam um importante papel como ferramenta de apoio ao ensino. Mas, apesar da comunidade científica demonstrar interesse em conceber AVAs 3D em diferentes contextos e domínios de conhecimento, percebeu-se pela revisão bibliográfica realizada que a avaliação da aprendizagem em tais ambientes ainda é incipiente. Percebeu-se também que os trabalhos que se preocupam em avaliar a aprendizagem não adotam um método sistematizado de avaliação, nem consideram na avaliação as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente virtual.

Considerando essa lacuna, o objetivo do trabalho que visa estabelecer um método para avaliar, de forma automática, a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, considera no método de avaliação, as próprias tecnologias interativas disponíveis no ambiente virtual, como forma de evidenciar a hipótese levantada na pesquisa - **“É possível estabelecer um método automático para avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma a verificar o quanto o aluno aprendeu com o uso do ambiente virtual”**.

Os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com o Modelo Teórico de Avaliação da Aprendizagem proposto nesta pesquisa mostraram que o modelo de avaliação é viável e eficiente para sistematizar a coleta dos dados de avaliação da aprendizagem em AVAs 3D, como forma de subsidiar o avaliador a fazer os julgamentos necessários acerca da evolução da aquisição de conhecimento, baseado em critérios e padrões.

Os dados experimentais obtidos por meio do SAAp também mostraram que o sistema de avaliação é eficiente na coleta dos dados, realizada de forma automática, uma vez que inclui instrumentos de avaliação diagnóstica e registro das interações do usuário no ambiente virtual implementados computacionalmente com base no Modelo Teórico de Avaliação. Dessa forma, ao analisar os dados coletados pelo SAAp, o avaliador pode medir como e quanto os AVAs 3D colaboram com o processo de aquisição de conhecimento.

Os resultados confirmaram que o uso da POA foi adequado ao desenvolvimento do módulo de monitoramento das interações, devido as suas características, e por ser possível executar o módulo de registro das interações dos

usuários em um maior número possível de AVAs 3D. No entanto, há limitações, pois a solução adotada é válida para ambientes implementados na plataforma de programação Java, mas os conceitos podem ser expandidos para outras plataformas.

Vale ressaltar que o monitoramento das interações, que ocorre de forma automática, não intrusiva ao código fonte da aplicação é um objetivo difícil de ser alcançado completamente, visto que certas particularidades do código fonte podem confundir os métodos responsáveis pelo monitoramento. No entanto, verificou-se que nos AVAs 3D utilizados como estudo de caso, o módulo de monitoramento mostrou-se adequado.

A partir da análise estatística dos dados experimentais, constatou-se ser possível avaliar a aquisição de conhecimento, de forma automática, considerando as interações do aprendiz no ambiente virtual. Contudo, a análise revelou que o conhecimento prévio do aprendiz é um parâmetro relevante que deve ser considerado no equacionamento. No decorrer da análise, foram identificadas variadas soluções de equacionamento para a avaliação da aquisição de conhecimento em AVAs 3D, de forma automática, com base na amostra coletada. Como já ressaltado nas discussões apresentadas no capítulo 6, é possível que não exista um ou outro modelo mais adequado, mas sim modelos possíveis de serem adotados, tendo em vista que não foram declarados incorretos por meio dos dados.

Vale salientar que tais modelos se mostraram adequados para as amostras coletadas nos experimentos, mas não é possível afirmar que os equacionamentos encontrados sejam válidos para qualquer contexto de AVAs 3D. Porém, é possível concluir que para AVAs 3D com atributos parecidos aos que foram aplicados nos experimentos, os equacionamentos encontrados são possíveis de prever o nível de aquisição de conhecimento após o treinamento virtual. No entanto, recomenda-se que o equacionamento seja um complemento aos instrumentos de avaliação diagnóstica, como forma de evidenciar a colaboração do AVA 3D para o processo de aprendizagem.

Mesmo sem identificar um modelo único, no contexto considerado foi inferido um equacionamento considerado como o mais adequado (Equação (7) apresentada no capítulo 6) que é capaz de medir o aprendizado do aluno ao usar um AVA 3D a partir das interações realizadas. Este equacionamento constitui uma

das principais contribuições deste estudo, pois ratifica a hipótese levantada nesta pesquisa.

Salienta-se ainda que por meio dos experimentos realizados, foi possível validar as contribuições geradas nesta pesquisa e a hipótese foi comprovada dentro do contexto dos experimentos conduzidos, que envolvem diversos tipos de aquisição de conhecimento, diferentes contextos de AVAs 3D e diferentes perfis de estudantes. Dessa forma, atingiu-se o objetivo principal desta pesquisa.

Dentre as contribuições mais relevantes deste trabalho cita-se também o Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento a ser empregado em AVAs 3D, a Arquitetura do Sistema de Avaliação constituída com base no Modelo Teórico de Avaliação e a implementação da arquitetura, a qual gerou o Sistema de Avaliação da Aprendizagem – SAAp.

Outra contribuição que merece destaque é o Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários que se encontra integrado ao SAAp, uma vez que realiza o registro das interações, de forma não intrusiva ao código fonte da aplicação.

Deste modo, é estabelecida uma contribuição inédita para a comunidade científica das áreas de Realidade Virtual e Aumentada que tem concebido ambientes virtuais com propósito educacional, como também áreas correlatas que fazem uso de AVAs 3D, visto que a literatura não apresenta metodologias estabelecidas para avaliar a aquisição de conhecimento de forma automatizada e aplicável a diversos contextos de AVAs 3D.

As contribuições da tese são ressaltadas pelos artigos publicados/submetido, que são apresentados nas seções 7.1 e 7.2.

7.1 ARTIGOS PUBLICADOS

As contribuições científicas produzidas no decorrer do trabalho estão listadas a seguir:

1. NUNES, E. P. S; NUNES, F. L. S; ROQUE, L. G. Feasibility Analysis of an Assessment Model of Knowledge Acquisition in Virtual Environments: A Case Study using a Three-dimensional Atlas of Anatomy. 19th Americas Conference on Information Systems – AMCIS 2013, Chicago, EUA.

2. NUNES, E. P. S.; TESTA, R.; NUNES, F. L. S. Sistema de Coleta de Dados para Avaliação da Aprendizagem em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais. VI Workshop sobre Avaliação e Acompanhamento da Aprendizagem em Ambientes Virtuais - WAAVALIA. Campinas, SP: Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2013.
3. TESTA, R.; NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S. Uma Revisão Sistemática sobre o Registro das Interações do Usuário em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA'2013. Jataí/GO, 2013.
4. NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; KENSKI, V. M. A Model of Assessment of Knowledge Acquisition in Three-Dimensional Learning Virtual Environments. XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR 2012), SBC, Niterói-RJ, 2012.
5. NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Avaliação da Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais 3D para Treinamento Médico. XI Workshop de Informática Médica. Natal, RN: XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2011.
6. NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; NUNES, C. Definindo Parâmetros para Avaliação da Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais 3D. III Workshop sobre Avaliação e Acompanhamento da Aprendizagem em Ambientes Virtuais. João Pessoa, PB: XXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE, 2010.
7. NUNES, E. P. S.; FILGUEIRAS, L. V. L.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Desafios e Oportunidades da Engenharia Cognitiva na Concepção de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada. VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA'2010, São Paulo, 2010.

7.2 ARTIGO SUBMETIDO

Artigo intitulado ***“Study Feasibility of an Assessment Model of Knowledge Acquisition in Three-Dimensional Virtual Environments: A case study with serious games”*** referente ao experimento realizado com o jogo “Portugal 1111” foi submetido no periódico *Computer & Education* – Qualis A2 nas Engenharias IV – aguardando parecer.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R. **Language, memory and thought**. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1976. Disponível em http://books.google.com/books?id=4t5TGaHnfwC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em 20 abr. 2011.
- ANDERSON, J. R. **The Architecture of Cognition**. Cambridge, MA: Erlbaum, 1983. Disponível em http://books.google.com/books?id=Uip3_g7zIAUC&printsec=frontcover&source=gbs_hp#v=onepage&q&f=false. Acesso em 24 abr. 2011.
- ANDERSON, J. R. **Cognitive Psychology and Its Implications**. 3rd. New York: W H Freeman & Co, 1990. ISBN 9781429221047. Disponível em <http://books.google.com/books?id=McdpPgAACAAJ>. Acesso em 21 abr. 2011.
- ANDERSON, L. W. et al. **A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing - a revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives**. USA: Longman, 2001. 302 p.
- ANGELOV, A. N.; STYCZYNSKI, Z. A. **Computer-aided 3D Virtual Training in Power System Education**. In: Engineering Society General Meeting, IEEE: Proceedings Power Engineering Society General Meeting, IEEE, 2007, p. 1-4.
- ANNETTA, L. A.; FOLTA, E.; KLESATH, M. **V Learning - Distance Education in the 21 st Century Through 3D Virtual Learning Environments**. New York: Springer, 2010. 182 p.
- ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. Human Memory: A Proposed System and its Control Process. In: SPENCE, K. W. e SPENCE, J. T. (Ed.). **The Psychology of Learning and Motivacion: Advances in Research and Theory**. New York: Academic Press, v.2, 1968. p. 89-195.
- AYALA, A. P. **Acquisition, representation and management of user knowledge**. Expert Systems with Applications. Elsevier, v. 37, n. 3, p. 2255-2264, 2010.
- AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R. **Recent Advances in Augmented Reality**. IEEE Computer Graphics and Applications, v. 21, n. 6, 2011. p. 34-47.
- BADDELEY, A. D. **The Psychology of Memory**. The Essential Handbook of Memory Disorders for Clinicians: John Wiley & Sons, 2004. cap. 1, p.1-13.
- BASSANEZI, R. C.. Modelagem matemática - Uma disciplina emergente nos programas de formação de professores. In: XXII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 1999, Santos. Biomatemática IX. Campinas: IMECC, 1999. v. 9. p. 9-22.
- BATEMAN, S. et al. **Interactive usability instrumentation**. In: 1st ACM SIGCHI Symposium on Engineering interactive computing systems. Proceedings of the 1st

ACM SIGCHI Symposium on Engineering interactive computing systems. Pittsburgh, PA, USA: ACM, 2009.

BEGOSSO, L. C. S. **Perere: uma ferramenta apoiada por arquiteturas cognitivas para o estudo da confiabilidade humana**. 2005. 203 p. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BIOLCHINI, J. et al. **Systematic Review in Software Engineering**. Technical Report, RT-ES 679/05 System Engineering and Computer Science Dept., COPPE/UFRJ, 2005. Disponível em <<http://alarcos.inf-cr.uclm.es/doc/MetoTecInfInf/Articulos/es67905.pdf>>. Acesso em 10 out. 2009.

BLOOM, B. S. et al. **Taxonomy of educational objectives**. New York: David Mckay, 1956. 208 p.

BOFF, L. H. **Processo Cognitivo de Trabalho de Conhecimento: um estudo exploratório sobre o uso da informação no ambiente de análise de investimentos**. 2000. 218 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOWMAN, D. A. et al. **3D User Interfaces: Theory and Practice**. Boston (USA): Pearson Education, 2005.

BRUYN, E.; MOSTERT, E.; SCHOOR, A. V. **Computer-based testing - the ideal tool to assess on the different levels of Bloom's taxonomy**. In: 14th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL 2011), 11th International Conference Virtual University (VU'11), Anais eletrônico IEEE, 2011. p. 444-449.

BUDI, R. **Sobre ACT-R**. Carnegie Mellon University, 2011. Disponível em <<http://act-r.psy.cmu.edu/about/>>. Acesso em 30 ago. 2013.

CARD, S.; MORAN, T.; NEWELL, A. **The Psychology of Human-Computer Interaction**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.

CARDOSO, S. H. **Memória: O que é como melhorá-la**. 2011. Disponível em <<http://www.cerebromente.org.br/n01/memo/memoria.htm>>. Acesso em 08 jun. 2011.

CARRUTH, D. W. et al. **Symbolic Model of Perception in Dynamic 3D Environments**. In: 25th Army Science Conference, 2006, Orlando-USA. Proceedings of the 25th Army Science Conference. 2006.

CARVALHO, C. V. A. et al. **CONSTRUFIG3D: Novas possibilidades de atividades didáticas para a representação e visualização de formas geométricas espaciais**. Revista EducaOnline, v. 4, n. 3. p. 73-89. 2010. ISSN 1983-2664. Disponível em

<<http://www.latec.ufrj.br/revistas/index.php?journal=educacaoonline&page=article&op=view&path%5B%5D=222&path%5B%5D=343>>. Acesso em 07 jun. 2013.

CARVALHO, J. V.; CARVALHO, C. V. A.; VILLELA, L. M. A. **A utilização do software CONSTRUFIG3D no processo de construção do significado da**

relação de euler. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 8, n. 3, p. 1-9, 2010. Disponível em <<http://seer.ufrgs.br/renote/article/viewFile/18101/10673>>. Acesso em 05 jun. 2013.

CHAPANIS, A. **The Chapanis Chronides: 50 years of human factors research, education and design.** Aegean Park, 1999. 255 p.

CHEN, J. X.; WECHSLER, H. **Human computer intelligent interaction using augmented cognition and emotional intelligence.** In: Proceedings of the 2nd international conference on Virtual reality. Beijing, China: Springer-Verlag. 2007.

CHENG, G. **Exploring students' learning styles in relation to their acceptance and attitudes towards using Second Life in education: A case study in Hong Kong.** Computers & Education, v. 70, p. 105-115, Jan 2014. ISSN 0360-1315.

COCEA, M.; HERSHKOVITZ, A.; BAKER, R. S. J. D. **The Impact of Off-task and Gaming Behaviors on Learning: Immediate or Aggregate?** In: Proceeding of the Conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling: IOS Press. 2009.

COELHO, H. **Teoria da Agência: Arquitetura e Cenografia.** Lisboa. 2008. Disponível em <http://www.cin.ufpe.br/~in1100/2010-1/HELDER_COELHO_SMA_TeoriaDaAgenciaArquiteturaECenografia.pdf>. Acesso em 20 abr. 2011.

COUTINHO, C. P. **A influência das teorias cognitivas na investigação em Tecnologia Educativa. Pressupostos teóricos e metodológicos, expectativas e resultados.** Revista Portuguesa de Educação. Portugal: Revista Portuguesa de Educação. v. 21, n. 1, p.101-127. 2008.

CHRISTENSEN, H. I.; NAGEL, H. H. Cognitive Vision Systems. ERCIM News nº. 53, 2003. p. 17-18. Disponível em <http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw53/EN53.pdf>. Acesso em 16 mar. 2011.

CUNHA, L. M. A. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes.** 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Estatística e Investigação Operacional, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências.** 6a. edição. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 692 p.

DUNWELL, I. et al. **Guiding Intuitive Learning in Serious Games: An Achievement-Based Approach to Externalized Feedback and Assessment.** Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2012 Sixth International Conference on, 2012. p. 911-916.

ECLIPSE, F. **The AspectJ.** 2012. Disponível em <<http://www.eclipse.org/aspectj/>>. Acesso em 28 mar. 2012.

FARIA, G. **Uma Arquitetura de Controle Inteligente para Múltiplos Robôs**. 2006. 114p. Tese (Doutorado). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

FELDER, R. M.; SOLOMAN, B. A. **Index of learning styles**. 1994. Disponível em <<http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/ILS.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2013.

FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais Gestão & Produção (online)**, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010. ISSN 0104-530X (versão impressa).

FERRAZ, G. M. **Análise da Interface com o aluno de um Sistema de Gerenciamento de Cursos aplicando conceitos de cognição**. 2007. 161 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da USP, São Paulo.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JR., J. A. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje. Recife-PE: UFPE. v. 18, 2009.

FILATRO, A. **Design Instrucional na prática**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008. 173 p.

FOURNIER-VIGER, P.; NKAMBOU, R.; MAYERS, A. **Evaluating Spatial Knowledge through Problem-Solving in Virtual Learning Environments**. In: Proceedings of the 3rd European conference on Technology Enhanced Learning: Times of Convergence: Technologies Across Learning Contexts. Maastricht, The Netherlands: Springer-Verlag, 2008.

FRANCESCO, B. et al. **Exploring gaming mechanisms to enhance knowledge acquisition in virtual worlds**. In Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts, DIMEA' 08, vol. 349, ed. Athens, Greece: ACM, 2008, p. 77-84.

GELLER, M.; TAROUCO, L. M. R.; FRANCO, S. R. K. **Educação a Distância e Estilos Cognitivos: Construindo a Adaptação de Ambientes Virtuais**. In: VII Congresso Iberoamericano de Informática Educativa. Monterrey, México, 2004.

GOEBEL, P. M.; VINCZE, M. **Vision for Cognitive Systems: A New Compound Concept Connecting Natural Scenes with Cognitive Models**. In: Industrial Informatics, 2007, 5th IEEE International Conference on, v. 2, p. 705-710.

GONZALEZ, C.; LERCH, J. F.; LEBIERE, C. **Instance-based learning in dynamic decision making**. Cognitive Science, v. 27, n. 4, 2003, p. 591-635, ISSN 0364-0213. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021303000314>>. Acesso em 20 mar. 2009.

GREITZER, F.; KUCAR, O.; HUSTON, K. **Cognitive science implications for enhancing training effectiveness in a serious gaming context**. Journal on Educational Resources in Computing (JERIC), v. 7, n. 3, 2007.

GUTIERREZ, F. et al. **The Effect of Degree of Immersion upon Learning Performance in Virtual Reality Simulations for Medical Education**. In: Medicine Meets Virtual Reality 15, v. 125, p. 155-160, 2007. ISSN 0926-9630.

HAFNER, P. et al. **The impact of motion in virtual environments on memorization performance**. In: Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA). Proceedings IEEE International Conference. 2013. p.104-109.

HUANG, H.; CHEN, Y.; CHEN, K. **Investigation of three-dimensional human anatomy applied in mobile learning**. In: Computer Symposium International (ICS). Tainan: IEEE. 2010. p. 358-363.

HUMMEL, J. H.; HUITT, W. G. **What You Measure Is What You Get**. Valdosta, USA 1994.

IBM, Software. **SPSS - Software Estatístico**. 2013. Disponível em <<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/downloads.html>>. Acesso em 30 ago. 2013.

JUAREZ-ESPINOSA, O. **CAEVA: cognitive architecture to evaluate visualization applications**. In: Seventh International Conference on Information Visualization (IV'03), 2003. Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization, IEEE. p. 589-594.

JUAREZ-ESPINOSA, O.; GONZALEZ, C. **Situation Awareness of Commanders: A Cognitive Model**. In: Conference of Behavior Representation in Modeling and Simulation. Proceedings Conference of Behavior Representation in Modeling and Simulation. 2004.

JUNG, Y.; PARK, H.; CHOI, Y.; MYAENG, S. **Designing a Cognitive Case-Based Planning Framework for Home Service Robots**. In: Robot and Human interactive Communication. RO-MAN 2007. Proceedings of the 16th IEEE International Symposium on, 2007, p. 827-832.

KIERAS, D. E. **GOMS Models for Task Analysis**. In: DIAPER, D. e STANTON, N. (Ed.). The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2003. p. 83-116.

KIERAS, D. E. **Control of Cognition**. In: GRAY, W. D. (Ed.). Integrated Models of Cognitive Systems. New York: Oxford University Press, 2007. cap. 23, p.327-355.

KIERAS, D. E.; MEYER, D. E. **An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction**. Human-Computer Interaction, v. 12, n. 4, p. 391-438, 1997. ISSN 0737-0024.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Department of Computer Science - Keele University. Australia. 2004.

KOTRANZA, A. et al. **Real-time in-situ visual feedback of task performance in mixed environments for learning joint psychomotor-cognitive tasks**. Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality: IEEE Computer Society. 2009.

LAIRD, J. E.; CONGDON, C. B.; COULTER, K. J. **The Soar User's Manual Version 9.1**. Electrical Engineering and Computer Science Department - University of Michigan. Michigan. 1998.

LAMBROPOULOS, N.; MYSTAKIDIS, S. **Learning experience+ within 3D immersive worlds**. In: Computer Science and Information Systems (FedCSIS). Proceedings Federated Conference on, 2012. p. 857-862.

LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. **Research Methods in Human-Computer Interaction**. Great Britain: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 426 p.

LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 479 p.

LEFTHERIS, I. et al. **Design and Evaluation of a 3D Collaborative Game to Support Game Based Learning**. Proceedings of the 6th European Conference on Games Based Learning. 2012. p. 269-277.

LEIDEN, K. et al. **A Review of Human Performance Models for the Prediction of Human Error**. Moffett Field, CA: National Aeronautics and Space Administration System Wide Accident Prevention Program Ames Research Center. 2001.

LIN, T. J. et al. **An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system**. Computers & Education, v. 68, 2013. p. 314-321, ISSN 0360-1315.

LUCIA, A. et al. **Development and evaluation of a virtual campus on Second Life: The case of SecondDMI**. Computers & Education, v. 52, n. 1, p. 220-233, 2009. ISSN 0360-1315. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VCJ-4TGGCKR-1/2/b7a76e15ede1c82b93c1c081cd5eb1ba>>. Acesso em 23 jan. 2011.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem - componente do ato pedagógico**. São Paulo: Cortez, 2011. 448 p.

MADAUS, G. F.; BLOOM, H. **Manual de Avaliação Formativa e Somativa do Aprendizado Escolar**. São Paulo: Thomson Pioneira, 1983.

MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. **Estudos Primários e Secundários apoiando a busca por evidência em Engenharia de Software**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.

MARTINS, J. G. et al. **Usando interfaces online na avaliação de disciplinas semipresenciais no ensino superior**. São Paulo: Loyola, 2006. 537 p.

MASETTO, M. T. **Competência Pedagógica do Professor Universitário**. São Paulo: Summus, 2003.

MAYERS, A.; BERNARD, L.; FRASSON, C. **MIACE - a human cognitive architecture**. SIGCUE Outlook, v. 27, n. 2, 2001. p. 61-77. ISSN 0163-5735.

MAYRHAUSER, V.; VANS, A. M. **Program comprehension during software maintenance an evolution**. Computer, v. 28, n. 8, 1995. p. 44-45.

MCKIMM, J.; JOLLIE, C.; P., C. **ABC of learning and teaching - Web based learning**: BMJ. 326, 2003. p.870-873 p.

MENDES, J. L. S.; CARVALHO, C. V. A.; CARVALHO, J. V. **CONSTRUFIG3D: Uma Ferramenta Computacional para apoio ao ensino da Geometria Plana e Espacial**. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 5, p. 1-10, 2007.

MIKROPOULOS, T. A.; NATSIS, A. **Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009)**. Computers & Education, v. 56, n. 3, p. 769-780, 2011. ISSN 0360-1315.

MILGRAM, P. et al. **Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum**. Telemanipulator and Telepresence Technologies, v. 2351, p. 282-292, 1994.

MILLIGAN, C. **Delivering Staff and Professional Development Using Virtual Learning Environments**. 1999. Disponível em <<http://www.icbl.hw.ac.uk/jtap-573/573r2-3.html>>. Acesso em 20 out. 2010.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MORGANTI, F., CARASSA, A., GEMINIANI, G. **Planning optimal paths: A simple assessment of survey spatial knowledge in virtual environments**. Computers in Human Behavior, vol. 23, 2007. p. 1982-1996. Disponível em <<http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&NEWS=N&PAGE=fulltext&AN=9511916&D=insp7>>. Acesso em 02 out. 2010.

NASA-AMES, R. C. **Man-machine Integration Design and Analysis System (MIDAS)**. 2011. Disponível em <<http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/midas/>>. Acesso em 20 mai. 2011.

NEWELL, A. **Unified Theories of Cognition**. USA: Harvard University Press, 1990. Disponível em <http://books.google.com/books?id=1lbY14DmV2cC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 11 nov. 2010.

NORMAN, D. **The Design of Everyday Things**. New York: Currency-Doubleday, 1988.

NUNES, E. P. S. et al. **Desafios e Oportunidades da Engenharia Cognitiva na Concepção de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. In: VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA'2010. São Paulo: Proceedings VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2010.

NUNES, E. P. S. et al. **A Model of Assessment of Knowledge Acquisition in Three-Dimensional Learning Virtual Environments**. In: XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR 2012). Niterói, RJ, 2012. p. 1-9.

NUNES, E. P. S.; TESTA, R.; NUNES, F. L. S. **Sistema de Coleta de Dados para Avaliação da Aprendizagem em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais**. In: VI Workshop sobre Avaliação e Acompanhamento da Aprendizagem em Ambientes Virtuais - WAAVALIA. Campinas-SP, 2013. p. 1-10.

NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; TORI, T.; NUNES, C. **Definindo Parâmetros para Avaliação da Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais 3D**. In: III Workshop sobre Avaliação e Acompanhamento da Aprendizagem em Ambientes Virtuais. João Pessoa, PB: XXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE, 2010.

NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; TORI, T. **Avaliação da Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais 3D para Treinamento Médico**. In: XI Workshop de Informática Médica. Natal, RN: XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2011.

NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S.; ROQUE, L. G. **Feasibility Analysis of an Assessment Model of Knowledge Acquisition in Virtual Environments: A Case Study using a Three-dimensional Atlas of Anatomy**. In: 19th Americas Conference on Information Systems – AMCIS 2013, Chicago, EUA.

PELLEGRINO, J. W.; CHUDOWSKY, N.; GLASER, R. **Knowing What Students Know: The Science and Design of Educational Assessment**. Washington: National Academy Press, 2001. 383 ISBN ISBN 0-309-07272-7. Disponível em <http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10019&page=357>. Acesso em 13 out. 2010.

PENICHEIRO, F.; CARVALHO, J.; ROQUE, L. G. **Contributos metodológicos para a implementação de uma aprendizagem baseada em jogos na aula de história**. In: X Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment - SBGames. Salvador-BA, 2011. p.1-9.

PEREIRA, A. T. C.; SCHMITT, V.; DIAS, M. R. A. C. **Ambientes Virtuais de Aprendizagem**. In: PEREIRA, A. T. C. (Ed.). **Ambientes Virtuais de Aprendizagem - em diferentes contextos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007. cap. 1, p. 210.

PEW, R. W. Some History of Human Performance Modeling. In: GRAY, W. D. (Ed.). **Integrated Models of Cognitive Systems**. New York: Oxford University Press, 2007. cap. 3, p.29-44.

PIMENTEL, E. P. **Um Modelo para Avaliação e Acompanhamento Contínuo do Nível de Aquisição de Conhecimento do Aprendiz**. 2006. 218 p. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

PREECE, J. **Design de Interação: além da interação homem-computador**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

RASMUSSEN, J. **Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. SMC-13, n. 3, p. 257-266, 1983. Disponível em <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0020749236&partnerID=40&md5=bcaea3ed6f38d9d3dcad85fc8f037c8f>>. Acesso em 20 mar. 2010.

RODRIGUES, H. F.; MACHADO, L. S.; VALENÇA, A. M. G. **Uma Proposta de Serious Game Aplicado à Educação em Saúde Bucal**. In: VI Workshop de Realidade Virtual e Aumentada. Santos, SP. Proceedings VI Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA 2009.

RODRIGUES JR., J. F. **A taxonomia de objetivos educacionais: um manual para o usuário**. Ed. UnB, 2007. 66 p. ISBN 9788523003531. Disponível em <<http://books.google.com.br/books?id=DMUUSQAACAAJ>>. Acesso em 05 abr. 2013.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. **Estudos de Revisão Sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. São Carlos, SP: Revista Brasileira de Fisioterapia, v 11, nº 1, 2007. p. 83-89.

SÁNCHEZ, J.; SALINAS, A. **Science problem solving learning through mobile gaming**. In: 12th international Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era - MindTrek' 08. Tampere, Finland: ACM, 2008. p. 49-53.

SCHACTER, D. L.; NORMAN, K. A.; KOUTSTAAL, W. **The Cognitive Neuroscience of Constructive Memory**. Annual Review of Psychology, v. 49, p. 289-318, 1998.

SCHLEMMER, E.; BACKES, L. **Metaversos: novos espaços para construção do conhecimento**. Revista Diálogo Educacional. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná. v. 8, nº. 24, 2008. p. 519-532.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: interface, application, and design**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

SIEGL, H., HANHEIDE, M., WREDE, S. E PINZ, A. 2007. **An augmented reality human-computer interface for object localization in a cognitive vision system**.

Image and Vision Computing, v. 25, nº 12 (Dezembro 3): p. 1895-1903. doi:10.1016/j.imavis.2006.04.027.

SIMÕES, J. **Educação e e-learning 2.0: reflexões e apontamentos de apoio a trabalho de investigação em e-learning, Redes Sociais e Web 2.0**. 2010. Disponível em <<http://edulearning2.blogspot.com/2010/10/mundos-virtuais-realidade-aumentada-e.html>>. Acesso em 21 dez. 2010.

SOBOTTA, J. **Atlas da Anatomia Humana**. 21 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000, 405 p.

SOLER, L. et al. **Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Laparoscopic and Notes Procedures**. 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro - ISBI 2008: Proc. 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro (ISBI 2008). p.1399-1402.

SQUIRE, L. R. **Declarative and non-declarative memory: multiple brain systems supporting learning and memory**. Journal of Cognitive Neuroscience, v. 4, p. 232-243, 1989.

STANKIEWICZ, B. J.; KALIA, A. A. Acquisition of structural versus object landmark knowledge. **Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance**, v. 33, n. 2, p. 378-390, 2007. ISSN 0096-1523.

TAATGEN, N. A. et al. **The Acquisition of Robust and Flexible Cognitive Skills**. Journal of Experimental Psychology: General, v. 137, 2008, p. 548-565.

TESTA, R.; NUNES, E. P. S.; NUNES, F. L. S. **Uma Revisão Sistemática sobre o Registro das Interações do Usuário em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais**. In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA'2013. Jataí-GO: Anais X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA 2013), 2013.

THOMAS, M. D. et al. **Modeling human bipedal navigation in a dynamic three dimensional virtual environment**. In: Proceedings of the 1st international conference on Digital human modeling. Beijing, China: Springer-Verlag, 2007.

TORI, R. **Educação sem Distância: as tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem**. São Paulo: Senac, 2010. 254 p.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém, PA: VIII Symposium on Virtual Reality, 2006.

TORI, R. et al. **VIDA: Atlas Anatômico 3D Interativo para Treinamento a Distância**. XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Bento Gonçalves, Porto Alegre: SBC, 2009. p. 1-10.

TRAN, T. Q. et al. **Cognitive virtualization: combining cognitive models and virtual environments**. In: Human Factors and Power Plants and HPRCT 13th Annual Meeting, 2007. Proceedings IEEE 8th, Monterey, CA, 2007. p.195-200.

TORO-TROCONIS, M. et al. **Design and Delivery of Game-Based Learning for Virtual Patients in Second Life: Initial Findings**. In: (Ed.). *Researching Learning in Virtual Worlds*. London: Springer, 2010. p.111-138. (Human-Computer Interaction Series). ISBN 978-1-84996-047-2.

TULVING, E. **Remembering and Knowing the past**. *American Scientist*, v. 77, p. 361-367, 1989. Disponível em <<http://alicekim.ca/AmSci89.pdf>>. Acesso em 15 fev. 2010.

VALENTE, C.; MATTAR, J. **Second Life e WEB 2.0 na Educação: o potencial revolucionário das novas tecnologias**. São Paulo: Novatec, 2007. 279 p.

VENDRUSCOLO, F. et al. **Escola TRI-Legal - Um Ambiente Virtual como Ferramenta de Apoio ao Ensino Fundamental através de Jogos Educacionais: Colabor@** - Revista Digital da CVA - RICESU, v. 3, 2005. Disponível em <<http://pead.ucpel.tche.br/revistas/index.php/colabora/article/view/118>>. Acesso em 10 abr. 2010.

WANG, Y. **The OAR Model for Knowledge Representation**. In: *Electrical and Computer Engineering - CCECE' 06*, IEEE, 2006, Ottawa. p.1727-1730.

WANG, Z.-W.; ZHANG, R.-B. **Research on Robot Cognitive Model Based on Tacit Knowledge**. In: *Workshop on Intelligent Systems and Applications - ISA 2009*. Wuhan: *Proceedings Workshop on Intelligent Systems and Applications*, 2009. p. 1-4.

WATANUKI, K.; KOJIMA, K. **Knowledge Acquisition and Job Training for Advanced Technical Skills Using Immersive Virtual Environment**. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing*, v. 1, n. 1, 2007, p. 48-57.

WENJU, W.; GUANGYAE, L. **Virtual Reality in the Substation Training Simulator**. In: *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*. Shanghai, China: *Proceedings 14th Conference International on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, 2010. p. 438-443.

WICKENS, C. D. et al. **An Introduction to Human Factors Engineering**. Second Edition. New Jersey: Pearson Education, 2004.

WINN, W.; SNYDER, D. **Cognitive Perspectives in Psychology**. In: (Ed.). In D.Jonassen (Ed.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*. New York: Macmillan, 1996. p.112-141.

YAP, J. **Virtual fun and challenge: Case study of learning cybercrime in second life**. In: *Defense Science Research Conference and Expo (DSR)*, 2011. p.1-7.

YUCHUL, J. et al. **Designing a Cognitive Case-Based Planning Framework for Home Service Robots**. In: *16th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive*. *Proceedings 16th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive*. Jeju, Korea, 2007. p. 827-832.

APÊNDICE A - Protocolo de Revisão Sistemática

Objetivo

Compreender os principais modelos cognitivos, assim como os métodos existentes para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem que utilizam técnicas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Formulação da Questão de Pesquisa

- 1) *Quais são os principais modelos cognitivos que descrevem o processo de aquisição de conhecimento?*
- 2) *Quais são os métodos existentes para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem desenvolvidos com técnicas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada?*

Itens relacionados ao escopo e especificidades da questão de pesquisa:

- **Intervenção:** métodos para avaliação da aquisição de conhecimento nos AVAs 3D.
- **Controle:** coleção de artigos e outros trabalhos levantados e relacionados em revisões bibliográficas de dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros relacionados à área da pesquisa.
- **População:** pesquisadores que realizam trabalhos de avaliação do conhecimento nos diferentes paradigmas de Ambientes Virtuais de Aprendizagem e também pesquisadores de outras áreas de conhecimento que apresentam metodologias de avaliação em outros tipos de sistemas e que podem servir como referência.
- **Resultados:** métodos e parâmetros para avaliar a aquisição de conhecimento nos AVAs com uso de tecnologias interativas.
- **Aplicação:** desenvolvimento de uma metodologia inédita de avaliação da aquisição de conhecimento nos AVAs 3D usando tecnologias interativas, durante e após a interação com o ambiente de aprendizagem.

Estratégias para busca e seleção de estudos primários:

Os recursos e estratégias para busca e seleção de estudos foram definidos e selecionados com base em quatro itens fundamentais, são eles:

- **Fontes de busca:** base de dados eletrônicas indexadas (IEEE, ACM, *ISI Web of Knowledge*, Google Acadêmico), anais de conferências relacionadas ao assunto, biblioteca digital da Sociedade Brasileira de Computação, biblioteca de teses e dissertações das universidades USP, Unicamp e Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.
- **Idioma:** preferencialmente a língua inglesa, por ser considerado o idioma mais aceito internacionalmente para artigos científicos na área do trabalho, mas artigos relevantes encontrados na língua portuguesa, publicados em eventos nacionais relacionados à área de pesquisa, também serão considerados.
- **Palavras-chave:** “*evaluation*”, “*assessment*”, “*cognition models*”, “*cognitive models*”, “*cognitive theories*”, “*cognitive architectures*”, “*virtual environment*”, “*user performance*”, “*knowledge acquisition*”, “*virtual reality*”, “*augmented reality*”, “*learning*”

styles”, “knowledge evaluation”, “assessment”, “interactive learning environments”, “knowledge assessment”, “learning”, “knowledge structure”.

A escolha dos termos e suas relações se justificam pelo objetivo principal da revisão, que é identificar como ocorre o processo de aquisição de conhecimento nos AVAs 3D e os métodos existentes para avaliar se ocorre de fato esta aquisição de conhecimento.

• **Data de publicação:** para realizar a RS referente à primeira questão de pesquisa são considerados artigos publicados a partir do ano 2000, porém para a RS referente à segunda questão de pesquisa são considerados artigos publicados a partir do ano 2006, para se buscar novas abordagens de avaliação. Mas eventualmente podem-se encontrar fontes clássicas com definições (livros com conceitos clássicos dos filósofos da educação e da psicologia) que também serão considerados.

Critérios e Procedimentos para Seleção dos Estudos

Critérios de inclusão

Os seguintes critérios de inclusão de trabalhos foram definidos:

- a) descrições de aplicações que abordam como é realizada a aquisição de conhecimento em AVA 3D;
- b) descrições de aplicações que utilizam de diversos modelos cognitivos para avaliar a aquisição de conhecimento nos AVAs;
- c) abordagem de técnicas computacionais que visam avaliar a aquisição de conhecimento nos AVAs 3D;
- d) apresentação de metodologias que avaliam as características cognitivas dos usuários;
- e) estudos experimentais que validam a aquisição de conhecimento;
- f) apresentação de metodologias de avaliação em outros tipos de sistemas, podendo ser até mesmo em outras áreas de conhecimento, mas que sejam metodologias já estabelecidas pelos pesquisadores da área de conhecimento;
- g) descrições de aplicações que utilizam das tecnologias interativas disponíveis nos AVAs para avaliar a aquisição de conhecimento dos usuários.

Critérios de exclusão

Os seguintes critérios de exclusão foram definidos:

- a) trabalhos que simplesmente descrevam uma aplicação de um ambiente virtual de aprendizagem 3D, sem abordar a questão da avaliação da aquisição do conhecimento;
- b) artigos cujo foco não corresponda à questão de pesquisa.

Processo de Seleção dos Estudos

- Processo de Seleção Preliminar

Construir uma *string* de busca formada pela combinação das palavras-chave identificadas e submetê-las às máquinas de busca relacionadas. Os trabalhos recuperados das bases serão inicialmente armazenados em um *software* de organização de referências bibliográficas, em seguida será realizada a leitura dos resumos dos trabalhos armazenados. Constatando-se a relevância de um trabalho, já destacada no resumo, ele será selecionado para ser lido na íntegra. Em seguida, serão documentados em um formulário de condução da revisão e selecionados com base nos critérios previamente definidos. Obras repetidas devem ser documentadas uma única vez.

- Processo de Seleção Final

O processo de seleção final consiste na leitura completa dos trabalhos selecionados na etapa de seleção preliminar. O revisor se encarregará de fazer uma síntese geral e algumas considerações sobre os resultados observados nos trabalhos selecionados, destacando-se como ocorre a aquisição de conhecimento nos AVAs 3D, como também os métodos existentes para avaliar se ocorre de fato esta aquisição e os conceitos subjacentes envolvidos. Para conceitos clássicos provenientes de livros, teses de doutorado e dissertações de mestrado da área, serão realizadas fichamentos de conteúdo acompanhado de um fichamento de citações.

- Sumarização dos resultados

Por meio dos critérios definidos para seleção dos estudos, os artigos encontrados durante a revisão, sejam eles incluídos ou excluídos, serão todos agrupados em uma tabela, primeiramente organizados pelo método de avaliação da aquisição de conhecimento aplicado, e em segundo, pelas técnicas computacionais empregadas para avaliar a aquisição de conhecimento.

APÊNDICE B – Programação Orientada a Aspectos

A POA tem como objetivo modularizar interesses transversais, que com a Programação Orientada a Objetos (POO) ficam misturados e distribuídos dentro do próprio código orientado a objetos. Assim, a POA permite que os módulos sejam organizados de forma independente, devido ao conceito de Aspecto, permitindo que o código seja encapsulado e modularizado (CAMARGO e MASIERO, 2006).

Aspecto é o termo usado para denotar a abstração da POA que dá suporte a um melhor isolamento de interesses transversais. Em outras palavras, um aspecto corresponde a um interesse transversal e constitui uma unidade modular projetada para afetar um conjunto de classes e objetos do sistema (CAMARGO e MASIERO, 2006).

De acordo com Camargo e Masiero (2006), a POA permite implementar separadamente os interesses-base, que referem-se à funcionalidade principal do sistema e os interesses transversais que se referem às restrições globais e requisitos não funcionais, como persistência, distribuição, autenticação, controle de acesso e concorrência.

Em um sistema computacional é possível identificar diversos interesses, geralmente divididos em classes. Com a POA é possível modularizar os interesses transversais espalhados nas classes, ou seja, os interesses que estão ao longo de muitas classes podem ser encapsulados em um único módulo chamado Aspecto, o que não é possível quando se utiliza a POO.

A separação de interesses (*concerners*) é um conceito aplicado pela Engenharia de Software, com propósito de separar fisicamente (em termos de código) os interesses do sistema.

A separação de interesses busca melhorar a inteligibilidade do sistema, a manutenção, reuso e evolução (CAMARGO e MASIERO, 2006), que é justamente o propósito da arquitetura do Sistema de Avaliação da Aprendizagem.

Em POA os principais conceitos são:

- **Pontos de junção (*join points*)**: são pontos identificáveis do sistema, como por exemplo, chamada de um método, execução de um método, lançamento de uma exceção, construtores, entre outros.
- **Ponto de corte (*pointcuts*)**: os pontos de corte são agrupamentos de um conjunto de pontos de junção (MASUHARA e KAWAUCHI, 2003).
- **Adendos (*adivices*)**: é a estrutura que permite adicionar comportamento dinâmico em um ponto de junção. Existem três tipos de

adendos: anteriores (*before*), posteriores (*after*) e substituição (*arround*). Um adendo do tipo anterior é executado antes, o posterior depois e o de substituição no lugar de um ponto de junção.

Para exemplificação dos principais conceitos, a Figura 1 exibe um código que grava os dados de interação do usuário cada vez que este executa um evento na aplicação, como por exemplo, um clique com o botão esquerdo do *mouse*. Neste aspecto denominado *Mouse*, definiu-se um ponto de corte chamado *botaoEsquerdo*, depois dos dois pontos definiu-se o ponto de junção, e por fim um adendo no restante do código.

Figura 1 - Exemplo de Aspecto

```
public aspect Mouse {
    pointcut botaoEsquerdo(MouseEvent e) : call(void *(MouseEvent)) && args(e);

    before(MouseEvent e) : botaoEsquerdo(e) {
        if(e.getID()==MouseEvent.MOUSE_RELEASED)
        {
            if(e.getButton()==MouseEvent.BUTTON1)//Botão esquerdo do mouse
            {
                //Grava interação
            }
        }
    }
}
```

Fonte: Autor

O Aspecto apresentado na Figura 1 intercepta a chamada do método que ocorre na API de gerenciamento de eventos do dispositivo *mouse* da linguagem Java, e então o adendo adicionado grava o movimento antes do método ser invocado.

Para o registro das interações é preciso identificar o ponto de junção desejado, ou seja, precisa-se saber a assinatura dos métodos que serão interceptados. Entretanto, para esta ação é preciso conhecer dentro do código de cada AVA 3D o trecho de código que ocorre a interação desejada, o que torna a identificação do ponto de junção inviável, tendo em vista que cada implementação segue um modo diferente para utilizar uma mesma interação. Outro motivo que torna essa tarefa inviável é o fato de nem todos os AVAs 3D terem o código fonte disponível e aberto para identificar a localização de uma interação específica.

Para contornar o problema de definir o ponto de junção, identificam-se trechos de códigos das APIs de manipulação de eventos do Java, que por ser de código aberto, as assinaturas dos métodos para interceptação são conhecidas, e

também por ser utilizada por todas as aplicações escritas em Java que precisem manipular os eventos gerados pelos dispositivos.

Vale ressaltar que a POA permite a obtenção dos dados sem adicionar complexidade ao código da aplicação entrecortada (BATEMAN *et al.*, 2009). Ou seja, essa operação pode ser feita de forma não intrusiva ao código da aplicação, visto que o módulo que agrupa o interesse entrecortante está separado da aplicação monitorada.

Dessa forma, considerando as especificidades da arquitetura do sistema e os métodos/técnicas para monitoramento das interações identificados na RS, desenvolveu-se o Módulo de Monitoramento das Interações dos Usuários com base na POA, por meio da extensão AspectJ (ECLIPSE, 2013).

Referências

- BATEMAN, S.; GUTWIN, C.; OSGOOD, N.; MCCALLA, G. **Interactive usability instrumentation**. Proceedings of the 1st ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems. Anais: EICS'09. New York, USA: ACM, 2009. Disponível em <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1570433.1570443>>. Acesso em 22 abr. 2012.
- CAMARGO, V. V.; MASIERO, P. C. **Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos**. In: Ildeberto Rodello, Kalinka Castelo Branco, José Remo. (Org.). II Escola Regional de Informática do Oeste Paulista. 1ed. Marília - SP: Omnigráfica, 2006, p. 138-164.
- ECLIPSE, F. **The AspectJ**. 2012. Disponível em <<http://eclipse.org/aspectj/>>. Acesso em 28 mar. 2012.
- MASUHARA, H.; KAWAUCHI, K. Dataflow pointcut in aspect-oriented programming. Programming Languages and Systems, p. 105–121, 2003. Disponível em <<http://scholar.google.com/citations?user=tq4dtkUAAAJ&hl=en>>. Acesso em 30 jul. 2012.

APÊNDICE C – Diagrama Entidade-Relacionamento (DER)

APÊNDICE D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, _____,
RG _____, sexo _____, nascido em ____/____/____,
residente na (Rua/Av.) _____,
cidade: _____, estado: _____, telefone _____,
profissão _____, declaro que concordo em participar do
experimento que investiga a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da
Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem
Tridimensionais (AVAs 3D).

Fui informado(a) sobre os detalhes da pesquisa, conforme instruções em anexo.

Estou ciente que os dados coletados serão utilizados na pesquisa e minha
identidade não será divulgada.

Estou ciente que posso desistir de participar das atividades quando quiser.

Estou ciente de que a pesquisa apresenta riscos mínimos ao sujeito, conforme
descritos nas instruções anexas.

Estou ciente que não vou receber nenhuma remuneração por participar desta
pesquisa.

Autorizo divulgar os resultados, incluindo as informações prestadas pelo sujeito de
pesquisa, em eventos e artigos científicos.

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e tendo
entendido o que me foi explicado, consinto em participar desta pesquisa.

Local

Data

Assinatura do pesquisador

Assinatura do participante

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Prezado(a) Voluntário(a),

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário, em uma pesquisa acadêmica intitulada “**Um Modelo para Avaliar a Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais Interativos**”, que tem como objetivo principal de estabelecer um Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de Conhecimento, sob a ótica das Teorias Cognitivas, como também a sua arquitetura computacional, como forma de viabilizar experimentos que busquem verificar como e em que medida os Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais (AVAs 3D) colaboram com o processo de obtenção de conhecimento.

O experimento encontra-se dividido em quatro fases, conforme o Modelo Teórico de Avaliação proposto nesta pesquisa. Primeiramente, o experimento será conduzido a partir do módulo de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, que tem como função diagnosticar o quanto você conhece sobre o tema que será abordado no treinamento virtual. Esta fase é importante para conhecer o grau cognitivo do aprendiz; além de que nesse módulo também será avaliada a fluência tecnológica, buscando identificar suas características e habilidades em relação ao uso da tecnologia.

Após a fase de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste, você será capacitado a utilizar o ambiente virtual em estudo. Após a fase de capacitação no AVA 3D, a próxima etapa será realizar o treinamento virtual, sendo que durante a exploração no ambiente virtual serão capturadas as suas ações e interações.

Por fim, após realização do treinamento virtual, você será submetido à Avaliação Diagnóstica Pós-Teste, que tem como função avaliar o quanto você adquiriu de conhecimento após o treinamento virtual no AVA 3D, buscando verificar se, de fato, o ambiente virtual colaborou com a aprendizagem.

Alguns riscos aos sujeitos, que merecem atenção especial, são descritos a seguir.

Constrangimento pelo confronto do conhecimento – o experimento não trata de avaliação com propósito de conceito ou nota a ser atribuído ao sujeito, e sim o que está sendo avaliado, é se o AVA 3D em questão colabora com a aquisição de conhecimento do sujeito.

Constrangimento por dificuldade de utilização do ambiente virtual – o treinamento será acompanhado por um assessor, que estará disponível para esclarecimento de quaisquer dúvidas em relação à utilização do ambiente.

Constrangimento por enfrentamento de situação inesperada – todas as situações que deverão ser enfrentadas pelos sujeitos serão previamente informadas, e no caso de falha do sistema ou de qualquer outra eventualidade que cause o surgimento de uma situação inesperada ao usuário, o experimento será interrompido imediatamente.

Constrangimento pela violação do anonimato – os dados coletados em cada sessão de experimentos receberão uma identificação associada ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, para rastreabilidade da identidade do participante, caso haja interesse do mesmo em obter acesso aos dados de seus testes ou caso ocorra retirada do consentimento por parte deste. Para todos os demais efeitos, os dados serão tratados sem qualquer associação à identidade do participante.

Sentimento de obrigação de participar – a participação na pesquisa é de caráter voluntário.

Medidas de higiene – como precaução adicional visando à prevenção de contágio de doenças qualquer natureza entre os sujeitos, todo o equipamento que tiver contato direto com os mesmos será higienizado a cada teste por lenços descartáveis embebidos em álcool gel antisséptico.

Desconforto visual – poderá surgir desconforto com o uso de óculos 3D para visualização dos objetos tridimensionais, o que pode ser comunicado pelo participante ao avaliador e este irá interromper imediatamente o experimento, caso o participante assim deseje.

Informamos que não haverá filmagens. Apenas os dados obtidos serão publicados em uma tese de doutorado e em artigos científicos sem identificação dos participantes.

Mais informações sobre a pesquisa ou dúvidas sobre a utilização do ambiente virtual poderão ser solicitadas a qualquer momento, assim como seu pedido de desistência de participação na pesquisa.

Os endereços e telefones de contato com os pesquisadores responsáveis encontram-se no final desta carta.

Finalmente, ressaltamos que sua participação é voluntária e que você não receberá nenhum valor pela sua participação.

Se você concordar em participar, solicitamos a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Atenciosamente

Pesquisadora: Eunice Pereira dos Santos Nunes

Orientadora: Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da USP -
Telefone: (11) 3091-5282 / (65) 8129-6100 – Email: eunice.poli@usp.br

Obs: Em caso de dúvida você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, situado na Av. Arlindo Béttio, nº. 1000 – Ermelino Matarazzo – São Paulo/SP – CEP: 03828-000
Telefone: (11) 3091-1037 – Email: cep-each@usp.br

APÊNDICE E – Questionario de Perfil (Experimento com ambiente “VIDA”)

22/1/2014

QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL

QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL

Esse questionário visa investigar o nível de fluência tecnológica do voluntário que está participando da pesquisa acadêmica, como também investigar o nível de conhecimento sobre o tema a ser abordado no experimento.

* Required

3) Possui experiência em Ambientes Virtuais de Aprendizagem? *

1 2 3 4 5

Item 1 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

1) Possui habilidade de usar o computador? *

1 2 3 4 5

Leigo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Experiente

2) Possui habilidade para conectar-se a internet e navegar por diferentes páginas da web? *

1 2 3 4 5

Leigo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Experiente

4) Possui experiência em ambientes de Realidade Virtual? *

são ambientes virtuais 3D

1 2 3 4 5

Leigo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Experiente

5) Nível de conhecimento de Anatomia Humana *

1 2 3 4 5

Nenhum ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Especialista

6) Nível de conhecimento de anatomia do esqueleto pélvico feminino *

1 2 3 4 5

Nenhum ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Especialista

7) Possui dificuldade em memorizar a elevada quantidade de termos das estruturas anatômicas? *

1 2 3 4 5

Muito difícil ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito fácil

22/1/2014

QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL

8) Comentários e sugestões

se você identificou alguma pergunta que seria importante na nossa investigação ou qualquer outra questão que possa contribuir com esta pesquisa, por favor deixe registrado.

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

APÊNDICE F – Questionario de *Feedback* (Experimento com ambiente “VIDA”)

22/1/2014

QUESTIONÁRIO DE FEEDBACK

QUESTIONÁRIO DE FEEDBACK

Esse questionário visa avaliar a adequação do uso do Atlas Virtual 3D (VIDA) como Ambiente Virtual de Aprendizagem para o estudo de Anatomia Humana.

* Required

1) Você teve a sensação de que o objeto se projetava à frente da tela (efeito 3D)? *

Ou seja, você teve a sensação de profundidade ou o objeto permaneceu na tela como uma imagem comum.

1 2 3 4 5

Nenhuma ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sensação Plena

2) Os recursos de interação (rotação, translação e escala do objeto, visualização por camadas) disponíveis no ambiente, proporcionaram a sensação de estar manipulando o esqueleto pélvico feminino? *

1 2 3 4 5

Nenhuma ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sensação plena

3) A experiência vivenciada no ambiente virtual pareceu de fato, com a sua experiência do mundo real? *

Ou seja, o ambiente virtual retratou com fidelidade o estudo de um modelo da pelve humana, geralmente encontrado em um laboratório real de anatomia?

1 2 3 4 5

Pouco similar ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito similar

4) Os recursos de interação do sistema contribuíram para o seu aprendizado? *

1 2 3 4 5

Discordo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo plenamente

5) As legendas estavam bem posicionadas no ambiente, permitindo a memorização das partes da pelve feminina? *

1 2 3 4 5

Discordo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo plenamente

6) Sobre a contribuição do ambiente virtual 3D no estudo de anatomia, este recurso computacional se mostrou motivador? *

Por exemplo, se comparado com o estudo de anatomia por meio de livros.

1 2 3 4 5

Discordo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo plenamente

22/1/2014

QUESTIONÁRIO DE FEEDBACK

7) Caso você já tenha participado de aulas práticas de anatomia utilizando peças físicas, considera o ambiente virtual proposto útil como uma fase de pré-estudo antes de usar o laboratório físico? *

1 2 3 4 5

Discordo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo plenamente

8) Se você conhece algum Atlas Anatômico Virtual, indique-o.

9) Comentários e sugestões

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

APÊNDICE G – Questionário de Perfil (Experimento com jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”)

22/1/2014

Caracterização do Perfil da População

Caracterização do Perfil da População

Experiência realizada na Escola Martim de Freitas em Coimbra, Portugal, tendo como objectivo estudar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da Aprendizagem a ser aplicado em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D (AVAs 3D)

Nome

Turma

Género

- ☐ Feminino
☐ Masculino

Qual a sua idade?

Possui computador em casa?

- ☐ Sim
☐ Não

Experiência com a Tecnologia

	Inexperiente	Pouco Experiente	Experiente	Muito experiente
Como classifica a sua habilidade com o computador	☐	☐	☐	☐
Como classifica a sua habilidade em navegar na internet	☐	☐	☐	☐
Como classifica a sua experiência com uso do Moodle	☐	☐	☐	☐

Com que frequência joga videojogos

- ☐ Diariamente

22/1/2014

Caracterização do Perfil da População

- ☐ Semanalmente
☐ Mensalmente
☐ Raramente

Qual o tipo de videojogos que joga com mais frequência

- ☐ Jogos 2D
☐ Jogos 2D com efeito perspectiva 3D
☐ Jogos 3D

Qual a última vez que jogou um videojogo 3D ou com efeito 3D?

- ☐ Há menos de 1 semana
☐ Há menos de 1 mês
☐ Há menos de 3 meses
☐ Há mais de 3 meses
☐ Nunca

Domínio de Conhecimento

	Nenhum	Pouco	Bom	Muito Bom
Qual o seu conhecimento sobre Portugal na Reconquista?	☐	☐	☐	☐
Qual o seu nível de conhecimento sobre o papel dos camponeses durante a Reconquista?	☐	☐	☐	☐
Qual o seu nível de conhecimento sobre o papel dos mouros durante a Reconquista?	☐	☐	☐	☐
Qual o seu nível de conhecimento sobre o papel dos cristãos durante a Reconquista?	☐	☐	☐	☐

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

APÊNDICE H – Questionário de *Feedback* (Experimento com jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”)

22/1/2014

Questionário Feedback

Questionário Feedback

Experiência realizada na Escola Martim de Freitas em Coimbra, Portugal, tendo como objectivo estudar a viabilidade do Modelo Teórico de Avaliação da Aprendizagem a ser aplicado em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D (AVAs 3D)

Identificação Computador

Nome

Turma

- ☐ 6o. A
☐ 6o. E

Satisfação com o Jogo Portugal 1111

	Discordo Totalmente	Discordo	Concordo	Concordo Totalmente
A experiência com o jogo Portugal 1111 retratou a Reconquista.	☐	☐	☐	☐
O Portugal 1111 contribuiu para a minha aprendizagem sobre a Reconquista.	☐	☐	☐	☐
Depois de jogar o Portugal 1111 fiquei interessado em aprender mais sobre a Reconquista.	☐	☐	☐	☐
Consegui explorar o jogo satisfatoriamente.	☐	☐	☐	☐
Consegui realizar as minhas estratégias no jogo.	☐	☐	☐	☐

As estratégias que utilizaste no jogo são semelhantes ao que aconteceu na Reconquista?

- ☐ Sim
☐ Não

22/1/2014

Questionário Feedback

Quais as estratégias que utilizaste?

explique quais as principais estratégias de defesa, ataque e conquista de território.

Qual foi a civilização que escolheste?

- ☐ Mouros
- ☐ Cristãos

Explique o porquê da sua escolha. **Submit**

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

APÊNDICE I – Questionario de Perfil (Experimento com ambiente “CONSTRUFIG3D”)

22/1/2014

Caracterização Perfil da População

Edit this form

Caracterização Perfil da População

Experiência realizada no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT (campus Cuiabá), tendo como objetivo verificar a viabilidade do Sistema de Avaliação da Aprendizagem em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais (AVAs 3D). Estudo de caso da experiência - Matemática no ensino médio, especificamente Geometria Plana e Espacial.

Turma

Nome

Gênero

Assinale somente uma das alternativas

☐ Feminino

☐ Masculino

Qual a sua idade?

Possui computador em casa?

Assinale somente uma das alternativas

☐ Sim

☐ Não

Experiência com a Tecnologia

Assinale apenas uma das colunas em cada linha

	Inexperiente	Pouco experiente	Experiente	Muito Experiente
Como classifica a sua habilidade com o computador	☐	☐	☐	☐
Como classifica a sua habilidade em navegar na internet	☐	☐	☐	☐
Como classifica a sua experiência com uso de Ambientes Virtuais Tridimensionais	☐	☐	☐	☐

Domínio de Conhecimento

Assinale apenas uma das colunas em cada linha

22/1/2014

Caracterização Perfil da População

	Nenhum	Pouco	Bom	Muito Bom
Qual o seu conhecimento sobre Geometria Plana	☐	☐	☐	☐
Qual o seu conhecimento sobre Geometria Espacial	☐	☐	☐	☐

Já usou algum software sobre o conteúdo de Geometria Plana e Espacial?
Assinale somente uma das alternativas

☐ Sim

☐ Não

Se positivo, indique quais:

Never submit passwords through Google Forms.

Powered by This content is neither created nor endorsed by Google.

[Report Abuse](#) [Terms of Service](#) [Additional Terms](#)

APÊNDICE J – Questionario de *Feedback* (Experimento com ambiente “CONSTRUFIG3D”)

22/1/2014

Feedback do Experimento

Edit this form

Feedback do Experimento

Experiência realizada no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT (campus Cuiabá), tendo como objetivo verificar a viabilidade do Sistema de Avaliação da Aprendizagem em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais (AVAs 3D). Estudo de caso da experiência - Matemática no ensino médio, especificamente Geometria Plana e Espacial.

Turma

Identificação do computador

Nome

Gênero
Assinale somente uma das alternativas

☐ Feminino

☐ Masculino

Qual a sua idade?

Satisfação com o CONSTRUFIG3D (AVA 3D)

	Discordo Totalmente	Discordo	Concordo	Concordo Totalmente
Foi possível construir e manipular as geometrias espaciais usando o CONSTRUFIG3D	☐	☐	☐	☐
Os recursos de interação do CONSTRUFIG3D contribuíram para o meu aprendizado	☐	☐	☐	☐
Foi possível visualizar os vértices, faces e arestas dos poliedros construídos no CONSTRUFIG3D	☐	☐	☐	☐
Depois de usar o				

22/1/2014

Feedback do Experimento

CONSTRUFIG3D
fiquei interessado
em aprender
mais sobre
Geometria Plana
e Espacial

Qual a vantagem de observar pelo computador em relação ao desenho no papel?

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

Drawn and by
Google Drive

This content is neither created nor endorsed by Google.

[Report Abuse](#) [Terms of Service](#) [Additional Terms](#)

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética

Plataforma Brasil - Ministério da Saúde

Escola de Artes, Ciências e Humanidades - EACH/USP

PROJETO DE PESQUISA

Título: Um Modelo para Avaliar a Aquisição de Conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais Interativos

Área Temática:

Pesquisador: Eunice Pereira dos Santos Nunes

Versão: 1

Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - EACH/USP

CAAE: 02849612.3.0000.5390

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Número do Parecer: 81022

Data da Relatoria: 13/08/2012

Apresentação do Projeto:

Trata-se de pesquisa experimental na área de Conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais Interativos. Com dois polos de pesquisa - Portugal e MS- Brasil. A análise dos resultados será quali-quantitativa.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo desta pesquisa visa estabelecer um modelo de avaliação, na ótica das Teorias Cognitivas, para avaliar a aquisição de conhecimento do aprendiz obtida por meio de Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais Interativos.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O pesquisador relata os riscos ao participante da pesquisa e os benefícios advindos de sua participação na pesquisa, tanto no projeto de pesquisa quanto no TCLE.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa é relevante para a área de informação, educação e pesquisa.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos foram anexados ao projeto de pesquisa.
O TCLE condiz com a Normatização da Ética em Pesquisa em Seres Humanos determinada pelo CNS 196/69.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Considero o projeto aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

23 de Agosto de 2012

Assinado por:

Beatriz Aparecida Ozello Gutierrez

ANEXO B – Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste (experimento com ambiente “VIDA”)

ANATOMIA HUMANA - PELVE FEMININA

Observe a Figura 1 que apresenta a estrutura anatômica da pelve feminina e identifique nos espaços indicados abaixo, os nomes das partes da estrutura que estão indicadas pelos números.

Figura 1 - vista frontal da estrutura pélvica feminina

Escreva cada nome das partes indicadas pelos números:

- 1 –
- 2 –
- 3 –
- 4 –
- 5 –
- 6 –
- 7 –
- 8 –
- 9 –
- 10 –

ANEXO C – Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste (experimento com jogo “Portugal 1111 – A Conquista de Soure”)

1. Explique por palavras tuas o que entendes por Fronteira.
2. A Reconquista foi um processo lento, com avanços e recuos, de recuperação de terras. Concordas com a afirmação? Justifica.
3. Explica por palavras tuas o que entendes por Reconquista.
4. Das seguintes palavras escolhe aquela que, para ti, é a mais importante para descrever o período da Reconquista: Guerra, Comércio, Tolerância, Cristianismo, Muçulmano, Fronteira, Território. Justifica tua escolha.
5. Explica como pensas que se organizaria o comércio durante o período da Reconquista.

ANEXO D – Avaliação Diagnóstica Pré-Teste e Pós-Teste (experimento com ambiente “CONSTRUFIG3D”)

Domínio Geometria Plana e Espacial

Objetivo: Construir poliedros para descobrir a relação entre o número de arestas, vértices e faces. Identificar o sólido a partir da visualização dos poliedros.

1. [Nível Fácil] Considerando a planificação de um cubo, assinale a alternativa correta que corresponde a tal planificação.

2. [Nível Moderado] Um poliedro convexo apresenta uma face hexagonal e seis faces triangulares. A quantidade de vértices que apresenta esse poliedro é igual a:

- a) 11
- b) 10
- c) 9
- d) 8
- e) 7

3. [Nível Moderado] Um poliedro convexo tem 6 faces triangulares e 4 faces hexagonais. A quantidade de arestas que apresenta esse poliedro é igual a:

- a) 10
- b) 42
- c) 21
- d) 13
- e) 18

4. [Nível Difícil] Considerando os poliedros, assinale **V** para as afirmativas verdadeiras e **F** as afirmativas falsas.

- a) () O tetraedro é um poliedro composto por 4 faces triangulares.
- b) () Um tetraedro contém 4 vértices e 7 arestas.
- c) () Num poliedro convexo, o número de vértices é 6 e de arestas é 9, então este poliedro apresenta 6 fases.
- d) () Todo poliedro convexo satisfaz a relação de Euler igual à $V - A + F = 2$.
- e) () Uma caixa de sapatos sem a tampa é uma superfície poliédrica aberta, vale a relação $V - A + F = 2$.

5. [Nível Fácil] Considerando a planificação de um prisma, assinale a alternativa correta que corresponde a tal planificação.

6. [Nível Moderado] Assinale **V** para as afirmativas verdadeiras e **F** as afirmativas falsas.

a) () A planificação dada a seguir corresponde à construção de um cone.

b) () A planificação apresentada é o esboço da pirâmide hexagonal regular.

c) () Podemos afirmar que a planificação do poliedro composto de oitos faces iguais ao triângulo equilátero corresponde a duas pirâmides de base quadrada unidas pela base.

d) () A planificação dada a seguir forma um poliedro de tronco de cilindro.

7) [Nível Moderado] Identifique o nome de cada poliedro:

ANEXO E – Atividades aplicadas no Processo de Aprendizagem (experimento com ambiente “CONSTRUFIG3D”)

Atividades a serem realizadas no AVA 3D - CONSTRUFIG3D

Atividade 1 (Sá, 2011):

Denomina-se poliedro uma forma geométrica espacial formada por diversos polígonos planos (triângulos, retângulos, quadrados, etc.). Os polígonos são as faces do poliedro, os lados e os vértices do polígono são as arestas e os vértices do poliedro. O poliedro da Figura 1, que se chama Octaedro, é um dos cinco tipos de poliedros denominados regulares.

Figura 1 - Forma geométrica apresentada na Atividade 1

Observando aqui nessa folha de papel, você consegue identificar quais os tipos de polígonos que formam esse poliedro. Quantos são os polígonos que constituem esse poliedro?

Tente reproduzir esse poliedro no CONSTRUFIG3D. Consegue agora “enxergar” melhor o poliedro?

Atividade 2 (Sá, 2011):

Será possível construir um poliedro com um retângulo e dois círculos (Figura 2)? Tente desenhar no CONSTRUFIG3D. Será que é um poliedro? Dê o nome desse poliedro?

Figura 2 - Formas geométricas para compor a Atividade 2

Atividade 3 (Sá, 2011):

A Figura 3 representa a “planificação” de um importante tipo de poliedro. Você saberia dizer que tipo de poliedro gerou essa planificação? A partir da planificação apresentada, tente construir o respectivo poliedro no CONSTRUFIG3D.

Figura 3 - Planificação da forma geométrica apresentada na Atividade 3

Um poliedro é sempre formado por vértices, faces e arestas. Visualize esses elementos principais no poliedro que você construiu no CONSTRUFIG3D rotacionando o objeto virtual (poliedro criado) na área de desenho 3D.

Atividade 4:

A forma geométrica espacial denominada cubo (Figura 4) é formada por quantas faces? Construa o poliedro regular Cubo, também denominado Hexaedro usando o CONSTRUFIG3D.

Figura 4 - Forma geométrica apresentada na Atividade 4

Atividade 5:

Na Figura 5 tem-se a planificação de um poliedro. Forme-o no CONSTRUFIG3D e visualize na área de desenho 3D. Identifique o seu nome.

Figura 5 - Planificação da forma geométrica apresentada na Atividade 5

Atividade 6: Construa os poliedros a seguir e informe os nomes

Atividade 7 (Desafio): Construa no CONSTRUFIG3D, se for possível, os poliedros: esfera, tronco de cilindro, tronco de pirâmide.

Referências

CARVALHO, C. V. A.; BARBOSA, S. T.; VEIGA, J; SÁ, I. L. **CONSTRUFIG3D: Novas possibilidades de atividades didáticas para a representação e visualização de formas geométricas espaciais**. Revista EducaOnline, v. 4, n. 3, p. 73-89, 2010. ISSN 1983-2664.

SÁ, I. P. **A Magia da Matemática**. Disponível em <www.magiadamatematica.com>. Acesso em 10 mai. 2011.