

Métodos de Avaliação em Ambientes Virtuais Tridimensionais: aspectos cognitivos e habilidades sensório-motoras

Assessment Methods in Three-dimensional Virtual Environments: cognitive aspects and sensory-motor skills

Alexandre Martins dos ANJOS¹
Rosana Abutakka V. dos ANJOS²
Eunice Pereira dos Santos NUNES³

Resumo

A crescente utilização de Ambientes Virtuais Tridimensionais (AVs 3D) em contextos educativos evidencia a importância de delinear pesquisas em relação à avaliação da aprendizagem e de Habilidades Sensório-Motoras (HSM), como forma de verificar se tais ambientes colaboram com o processo de ensino e treinamento virtual. Assim, este trabalho apresenta métodos de avaliação da aprendizagem e HSM em AVs 3D, em contextos educacionais, pautados em Nunes (2014) e Anjos (2014), validados a partir de estudos experimentais e análises estatísticas. Os resultados revelaram que é possível medir o nível de aquisição de conhecimento e de HSM a partir dos modelos propostos.

Palavras-chave: Ambientes Virtuais Tridimensionais. Avaliação da Aprendizagem. Avaliação de Habilidades Sensório-Motoras.

Abstract

The increasing use of Three-dimensional Virtual Environments (VEs 3D) in educational contexts highlights the importance of outlining researches in order to evaluate learning and sensory-motor skills, as a way to verify if such environments contribute to the teaching process and to virtual training. This work presents methods to assess learning and sensory-motor skills in 3D VEs in educational contexts proposed by Nunes (2014) and Anjos (2014), validated by experimental studies and statistical analyses. The results authors showed that it is possible to measure knowledge and sensory-motor skills acquisition through these models.

Keywords: Three-dimensional Virtual Environments. Learning Assessment. Sensory-Motor Skills Assessment.

-
- 1 Doutor em Ciências, área de concentração: Engenharia de Computação. Professor no Instituto de Educação da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Participante do Grupo de pesquisa Laboratório de Ambientes Virtuais Interativos (LAVI). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cuiabá/MT. Tel.: (65) 3615-8028. Email: <dinteralexandre@gmail.com>.
 - 2 Mestra em Educação. Técnica Administrativa da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Participante do Grupo de Pesquisa Laboratório de Estudos sobre Tecnologias da Informação e Comunicação na Educação (LêT-ec). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cuiabá/MT. Tel.: (65) 3615-6224. Email: <rosanaabutakka@gmail.com>.
 - 3 Doutora em Ciências, área de concentração: Engenharia de Computação. Professora no Instituto de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Participante do Grupo de pesquisa Laboratório de Ambientes Virtuais Interativos (LAVI). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cuiabá/MT. Tel.: (65) 3615-8791. Email: <eunice@ic.ufmt.br>.

Introdução

O uso de Ambientes Virtuais Tridimensionais (AVs 3D) em cenários educacionais tem despertado como um recurso possível para galgar novos preceitos educativos de caráter inovador e criativo, perpassando as diversas dimensões pedagógicas, tais como a didática e a aprendizagem. Os AVs 3D promovem contributos significativos para a educação, pois podem dinamizar o processo de ensinar e aprender, bem como possibilitar o desenvolvimento de diversas habilidades no espaço virtual.

Embora esse panorama de aplicabilidade de AVs 3D na educação possa remeter ao entendimento de algo integralizado e absoluto, evidencia-se, no campo científico e acadêmico, a ausência de pesquisas e estudos relativos aos aspectos estritos da avaliação, em especial a necessidade de estruturar métodos que norteiem, sistematicamente, os processos avaliativos referentes às aquisições de conhecimento e habilidades sensório-motoras (HSM).

De maneira mais ampla, a frequente utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) em contextos educacionais possibilitou uma nova configuração de atividades virtuais e trouxe à tona novos desafios para profissionais que atuam na área da educação. Esse fato é notável, especialmente no Brasil, quando se observa o crescimento de cursos a distância que se utilizam de TICs para agregar valor às suas estratégias de ensino-aprendizagem.

Por outro lado, atividades educacionais que têm como modalidade a educação presencial também passaram a beneficiar-se dessas experiências com a adoção das novas práticas.

Para explicar o surgimento do fenômeno de convergência entre o virtual e o presencial na educação, Tori (2010) destaca em sua obra o termo conhecido como *Blended Learning*, que considera tanto as modalidades de ensino presenciais quanto a distância e adota sistemas de gerenciamento de conteúdo e aprendizagem em contextos híbridos de educação, como os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) ou *Learning Management System* (LMS).

Com inúmeras denominações de Ambientes Virtuais (AVs) com propósito educacional, essas soluções ganharam destaque à medida que se observou a sua utilização de forma pontual em diferentes contextos, como formas de ensinar e aprender. Especialmente em relação aos AVs 3D que, inicialmente, destacaram-se na área do entretenimento e, depois, passaram a ser amplamente adotados no campo educacional, é preciso verificar se, de fato, tais ambientes estão colaborando com o processo de aquisição de conhecimento e de habilidades sensório-motoras do aprendiz.

Nesse cenário, o objetivo deste trabalho é apresentar métodos de avaliação em diferentes dimensões da aprendizagem utilizando AVs 3D. Para isto, serão apresentados métodos de avaliação de aquisição de conhecimento e de habilidades sensório-motoras.

Em termos metodológicos, este trabalho está embasado nas investigações de Nunes (2014) e Anjos (2014). Para avaliar a aquisição do conhecimento em AVs 3D, Nunes (2014) realizou uma Revisão Sistemática (RS) na literatura especializada, buscando identificar métodos de avaliação da aprendizagem. A partir dos resultados obtidos, propôs um modelo conceitual para avaliar a aquisição de conhecimento, automatizou o modelo e realizou estudos experimentais com potenciais usuários em diferentes níveis de aprendizagem (ensino fundamental, ensino médio e ensino superior) e em diferentes contextos de conteúdos curriculares.

Para avaliar a aquisição de HSM em AVs 3D, Anjos (2014) utilizou métodos de revisão

exploratória, condução de RS, proposição de modelos conceituais, matemáticos e estatísticos, que originou um método semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM em AVs 3D, de modo articulado com a realização de experimentos com usuários.

O trabalho está organizado em seis seções. Além da Introdução, a seção 2 apresenta conceitos norteadores acerca dos AVAs e Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais (AVAs 3D). Na seção 3, são apresentados alguns trabalhos relacionados com o uso de AVs 3D em situações de aprendizagem e desenvolvimento de habilidades. A seção 4 contempla o método de Avaliação da Aprendizagem em AVs 3D constituído por Nunes (2014). Na seção 5, vislumbra-se o estudo de Anjos (2014), no qual é apresentado o método para Avaliação de HSM em contextos de AVs 3D. Por fim, em considerações finais, o trabalho expõe um panorama sobre as possibilidades de avaliar, em AVA 3D, a aquisição de conhecimento e HSM pelos métodos propostos.

Ambientes Virtuais de Aprendizagem – Conceitos Iniciais

De maneira geral, os AVAs são conceituados como sistemas informacionais, dotados de instrumentos e ferramentas que visam a apoiar os processos educativos. No entanto, cabe ressaltar que sua utilização não é exclusiva do setor educacional, haja vista que o setor corporativo ou ainda o terceiro setor têm recorrido aos AVAs para fomentar capacitações e treinamentos, disseminar informações, como também estabelecer processos comunicacionais entre equipes de trabalho (ANJOS, 2015).

De acordo com Tori (2010), a denominação AVA é dada aos sistemas de gerenciamento de conteúdo e aprendizagem, mas há outras nomenclaturas. No entanto, Tori (2010, p. 27) afirma 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 [...]”.

Com a evolução da *web*, especialmente, da *web 2.0*, marcada pela interatividade e colaboração entre os usuários, os AVAs evoluíram e passaram a agregar cenários tridimensionais alinhados às diversas estratégias de interação e colaboração. Essa evolução foi possível devido ao interesse da comunidade científica, principalmente das áreas de Jogos, Realidade Virtual⁴ (RV) e Realidade Aumentada⁵ (RA) em conceberem AVs 3D com propósito educacional, o que fez emergirem os AVAs 3D. Nesse contexto, um AV 3D que tem sido aplicado com propósito educacional é o *Second Life*⁶ que, apesar de ter sido desenvolvido para prover o relacionamento entre pessoas por meio de avatares, mas sem cunho pedagógico, evoluiu e passou a ser adotado no meio acadêmico, profissional e social (VALENTE; MATTAR, 2007).

4 Trabalha unicamente com o mundo virtual; transfere o usuário para o ambiente virtual; e prioriza as características de interação do usuário (TORI; KIRNER; SISCOUTTO, 2006, p. 24).

5 Possui um mecanismo para combinar o mundo real com o mundo virtual; mantém senso de presença do usuário no mundo real; e enfatiza a qualidade das imagens e a interação do usuário (TORI; KIRNER; SISCOUTTO, 2006, p. 24).

6 Disponível em: <www.secondlife.com>. Acesso em: 30 abr. 2015.

Para Nunes (2014), os AVAs 3D permitem o treinamento efetivo e a familiarização rápida, proporcionados pela interatividade de alta qualidade existente no espaço virtual, possibilitando recriar cenários diferenciados para situações específicas de aprendizagem. A autora enfatiza que, por meio dos AVAs 3D, o processo de ensino-aprendizagem tem potencial para tornar-se mais ativo, dinâmico e personalizado.

Assim, no contexto deste trabalho, um AVA 3D é um *software* baseado em recursos tecnológicos diversos que inclui, obrigatoriamente, interatividade e cenários/objetos tridimensionais no ambiente virtual, com propósito de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de forma mais próxima da realidade do sujeito.

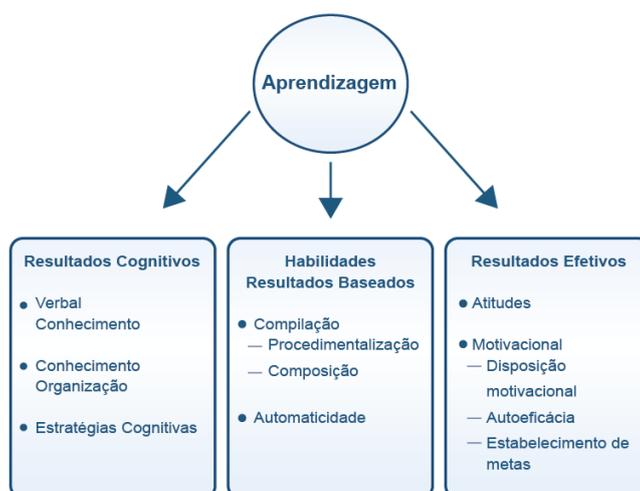
Não obstante as concepções de AVAs 3D estarem relacionadas de forma mais abrangente ao campo da aprendizagem, é imprescindível analisar a contribuição desses ambientes para contextos específicos de ensino e treinamento virtual.

Nesse sentido, Hounsell, Filho e Silva (2008) identificam e diferenciam tendências características de Ambientes Virtuais Educacionais (AVEd) e de Ambientes Virtuais de Treinamento (AVTr). AVEd está relacionado a ambientes voltados à educação, ao aprender a aprender e à reflexão. Em relação ao AVTr, este tem foco nos aspectos voltados ao treinamento, propiciando um aprender específico com tempo determinado, que busca a obtenção de habilidades específicas para a execução de tarefas bem delimitadas em um contexto.

Com objetivo de contextualizar a aplicação de AVAs 3D em contextos de educação e treinamento, Kraiger, Ford e Salas (1993) apresentam uma taxonomia de classificação que tem por objetivo servir como ponto de partida para o desenvolvimento de uma abordagem multidimensional da aprendizagem.

Os pressupostos subjacentes dos pesquisadores referem-se à abordagem de avaliação, que deve considerar mudanças evidenciadas em diferentes campos, como aqueles relacionados à cognição, ao desenvolvimento de habilidades ou situados no campo da aprendizagem afetiva. Kraiger, Ford e Salas (1993) defendem uma perspectiva multidimensional de resultados do processo de aprendizagem, conforme se observa na Figura 1.

Figura 1-Classificação de um esquema de resultados de aprendizagem



Fonte: Adaptado de Kraiger, Ford e Salas (1993, p. 312, tradução nossa).

A avaliação de resultados cognitivos é apresentada por Kraiger, Ford e Salas (1993, p. 313), tomando a própria concepção da palavra cognição, entendida como “[...] uma classe de variáveis relacionadas à quantidade, ao tipo de conhecimento e às relações entre os elementos do conhecimento”.

Os resultados no campo afetivo consideram fatores motivacionais e de atitudes como relevantes para o processo de ensino-aprendizagem. Esses fatores são medidos por indicadores, como disposição motivacional, autoeficácia e metas aferidas durante o processo de ensino-aprendizagem.

A dimensão de avaliação centrada na aquisição de habilidades tem como objetivo verificar se determinados aprendizes alcançaram certos resultados no processo de aquisição de habilidades desenvolvidas em ambientes previsíveis de realização de uma tarefa.

Diante disso, uma discussão que é delineada neste contexto se refere à contribuição que os AVAs 3D efetivamente oferecem para a aquisição de conhecimento e de habilidades do sujeito, e como é possível avaliar, sistematicamente, tal aprendizado ou habilidade no espaço virtual 3D.

Trabalhos Relacionados

O crescente interesse da comunidade científica, mais especialmente das áreas de RV, RA, Jogos e Multimídia, em conceberem AVs 3D com propósito educacional, evidencia a necessidade de investigar e propor métodos de avaliação da aquisição de conhecimento e de habilidades sensório-motoras.

É notável na literatura que a utilização crescente de AVs 3D para fins educativos tem provocado movimentos paralelos no incremento de estudos e pesquisas acerca desses recursos, que intencionam analisar e compreender os limites e as possibilidades dos AVs 3D, com vistas ao aprimoramento de seu uso, no campo da educação e áreas correlatas.

Com base na RS estruturada por Nunes (2014), é possível coletar algumas pesquisas desenvolvidas acerca de AVs 3D na dimensão educacional, como os trabalhos de Lambropoulos e Mystakidis (2012), Leftheris et al. (2012) e Cheng (2014).

No trabalho de Lambropoulos e Mystakidis (2012), os autores realizaram um experimento aplicando o *Second Life* com propósito de aprendizagem colaborativa com um grupo de estudantes, a fim de acelerar a aprendizagem sobre determinado objeto de estudo. O curso proposto no AV 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 os mundos virtuais imersivos, como o *Second Life*, oferecem múltiplas opções para alavancar a aprendizagem, porém o estudo não aplicou instrumentos de avaliação da aprendizagem do aprendiz após usar o AV 3D como meio de estudo.

Na pesquisa de Leftheris et al. (2012), os autores examinaram a aplicação de um AV 3D baseado em um jogo colaborativo, com propósito de responder às questões de pesquisa sobre o progresso da aprendizagem, com a participação de estudantes de graduação. Os autores apresentaram o projeto de um jogo sério colaborativo 3D usando a plataforma de mundos virtuais *OpenSim*⁷,

7 Disponível em: <<http://opensimulator.org/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

que representa um cenário de caça ao tesouro com perguntas escondidas sobre o objeto de estudo. A partir dos resultados das pontuações, os autores concluíram que jogos sérios podem ajudar os estudantes a melhorar a aquisição de conhecimento e podem ser uma ferramenta poderosa para os professores superarem as dificuldades dos alunos em conteúdos complexos de serem estudados apenas com as aulas tradicionais (LEFTHERIS et al., 2012). O estudo utilizou-se de questões de múltipla escolha, inseridas no próprio ambiente de jogo para avaliar a aprendizagem, sem, contudo, figurar uma avaliação sistematizada e consolidada por um método instituído.

Pelo estudo de Cheng (2014), é possível ter uma compreensão sobre os estilos de aprendizagem dos alunos acerca da aceitação e atitudes em relação ao uso do *AVSecond Life* como AVA 3D, 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 e apresentação dos resultados no AVA 3D. As principais conclusões do estudo indicaram que aprendizes ativos valorizam a facilidade de uso e utilidade do AV, 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 AV na educação, que inclui restrições inerentes 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).

Para analisar o estado da arte sobre abordagens de avaliação de HSM em AVs 3D, Anjos (2014) conduziu dois processos de RS que identificaram diferentes métodos para avaliar a aquisição de HSM, alguns deles destacados neste trabalho.

Um dos resultados da RS de Anjos (2014) é o estudo de Chowriappa et al. (2009), cujo objetivo consistiu na modelagem e definição de comportamentos padrões de especialistas por meio da captura de informações de escrita seguindo uma convenção: três letras do alfabeto inglês, três símbolos e seis caracteres em tâmil⁸.

O método de Chowriappa et al. (2009) foi construído por meio da captura de movimentos de escrita usando um *tablet* e sua centralidade estava na abstração e comparação de padrões com base na escrita de especialistas.

Após a captura e análise dos dados e processamento do método por meio de técnicas estatísticas, os autores destacaram parâmetros que podem ser utilizados para análise de padrões de comportamento de especialistas e novatos, tais como erro de posicionamento, tempo de coerência do movimento, força, posição e velocidade.

Os resultados do estudo de Chowriappa et al. (2009) revelaram padrões de escrita apenas no grupo de especialistas e a inexistência desses padrões em grupos de usuários novatos. No entanto, o método possibilitou a análise de diferenças de habilidades de escrita pela distância entre padrões de especialistas e aprendizes novatos.

Embora o estudo de Chowriappa et al. (2009) não contemplasse a utilização de AVs 3D, a pesquisa permitiu identificar a existência de padrões que caracterizam movimentos habilidosos e não habilidosos durante a execução de tarefas envolvendo a habilidade da escrita.

8 Língua falada pelos tâmules ou tâmis, no sul da Índia.

Para verificar a eficácia de um AVA 3D, Dawei, Asim e Saeid (2009) realizaram uma experiência utilizando um AV projetado para o uso em treinamento de montadoras. Como método, foi utilizada uma abordagem multidimensional de aprendizagem baseada em resultados (*learnin GO ut comes*), que inclui a análise de três dimensões: cognitiva (*cognitive*), habilidades (*skill-based*) e afetiva (*affective*).

Considerando-se a compreensão dos pesquisadores de que não havia até aquele momento nenhum padrão otimizado para quantificar a eficácia de um AV em ações de ensino-aprendizagem, foi possível afirmar que diferentes fatores de áreas de Interface Humano Computador (IHC), tais como ergonomia e psicologia cognitiva, por exemplo, impactam na eficácia de um AV (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009).

Como contribuição relevante para a investigação de Anjos (2014), podem-se destacar as definições conceituais que envolvem as dimensões cognitivas, afetivas e de aprendizagem baseadas na aquisição de habilidades de um processo de avaliação centrada no usuário para quantificar a eficácia dos Ambientes Virtuais.

Já no campo da odontologia, Kolesnikov et al. (2009) apresentam experiências com um simulador háptico desenvolvido para auxiliar na aquisição de HSM. Uma característica importante do simulador foi a capacidade de gerar modelos de posição e trajetórias para os alunos seguirem. Além disso, o simulador tem um mecanismo de reprodução tátil para ajudar o sujeito a aprender e seguir esses modelos. Usando esse recurso, o professor pode realizar um procedimento no simulador háptico e gravar suas ações. Guiando-se pelo procedimento gravado, o aprendiz é então capaz de seguir a trajetória correta na posição e força orientada. Uma das contribuições relevantes dos autores para o método proposto por Anjos (2014) foi a análise de trajetória humana com base na captura e análise de movimentos humanos em um AV 3D.

É importante destacar que tais trabalhos disponibilizam propostas de avaliação, porém não apresentam um modelo automatizado para avaliar a aquisição de HSM, que possa ser extensível a diferentes tarefas realizadas em contextos de treinamentos que utilizam AVs 3D.

Apesar do interesse da comunidade científica em conceber AVs 3D com finalidades educacionais, seja para treinamento virtual ou aprendizagem de conceitos, os métodos de avaliação nestes ambientes figuraram de modo incipiente ou limitado. Deste modo, as próximas seções apresentam o método de avaliação de aquisição de conhecimento em AVs 3D proposto por Nunes (2014) e o método para avaliar a aquisição de HSM em AVs3D, em contextos de treinamento médico, proposto por Anjos (2014).

Método de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (MAAC)

O Modelo de Avaliação da Aquisição de Conhecimento (MAAC) proposto por Nunes (2014) está embasado na perspectiva das Teorias Cognitivas e tem como propósito verificar se houve aquisição de conhecimento do aprendiz sobre o objeto, após o uso de AVA 3D como meio de aprendizagem.

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. Salienta-se que as Teorias Cognitivas são também conhecidas por Teorias Construtivistas, pois encaram o aprendiz como um construtor do conhecimento, e consideram que é por meio das

interações com o mundo que o sujeito descobre como dar significado à experiência, além de encorajarem a aprendizagem por descoberta, o aprendizado colaborativo e a participação ativa do estudante no processo de ensino-aprendizagem (LEFRANÇOIS, 2008).

De acordo com Nunes (2014), o MAAC está embasado também no modelo cognitivo clássico de Atkinson e Shiffrin (1968), o qual prevê que o conhecimento flui a partir dos estímulos do ambiente e defende que, quanto mais uma informação reside na Memória de Curto Prazo (MCP), maior a probabilidade de sua transferência para a Memória de Longo Prazo (MLP) (BADDELEY, 2004). Logo, transferindo este conceito para o aprendizado por meio de AVAs 3D, supõe-se que, quanto mais o aprendiz interage no AV, maior a probabilidade de o conhecimento ser transferido para a MLP.

Baddeley (2004) também declara, em seus estudos acerca do modelo cognitivo clássico de Atkinson e Shiffrin (1968), que uma informação ou experiência é processada pela memória de forma mais profunda e suscetível de ser muito mais bem conservada na MLP quando se considera na experiência o conhecimento prévio do aprendiz. Desse modo, o modelo de avaliação considera medir o nível de conhecimento do aprendiz antes de realizar o processo de aprendizagem no AV.

Além disso, espera-se que o meio de aprendizagem apresente atividades relacionadas ao objeto de estudo e estratégias que estimulem os diferentes níveis de aquisição de conhecimento propostos pela Taxonomia de Bloom. Bloom et al. (1956) estruturaram 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; SCHOOR, 2011).

Entretanto, esta pesquisa aplicou a Taxonomia de Bloom revisada, a qual considera a possibilidade de intercalar as categorias (lembrar, entender, aplicar, analisar, criar, avaliar) do processo cognitivo, quando necessário.

Salienta-se que o principal objetivo do MAAC é 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. Dessa forma, o MAAC considera quatro fases importantes, conforme ilustra a Figura 2:

- a) *Avaliação Diagnóstica Pré-Teste* – avaliar o conhecimento prévio do aprendiz antes de usar o AVA 3D;
- b) *Capacitação em AVAs 3D* – capacitar/qualificar o aprendiz a usar o AVA 3D, para que o mesmo possa ambientar-se e entender o funcionamento do ambiente virtual;
- c) *Aprendizagem em AVA 3D* – processo de aprendizagem sobre o domínio de conhecimento em estudo. Durante a fase de aprendizado, o modelo prevê capturar e registrar as interações do aprendiz no AVA 3D, para posteriormente correlacionar as interações 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.
- d) *Avaliação Diagnóstica Pós-Teste* – avalia o nível de conhecimento do aprendiz após a exploração no AV, com propósito de verificar a sua evolução. Para tanto, utiliza os mesmos instrumentos de coleta de dados aplicados na fase de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste (Figura 2).

Figura 2 - Modelo de Avaliação da Aquisição de Conhecimento



Fonte: Nunes (2014).

Tanto o Módulo de Avaliação Diagnóstica Pré-Teste quanto o 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 capturem o desempenho do aprendiz e revelem o nível de aquisição de conhecimento sobre o tema abordado pelo AVA 3D (NUNES, 2014).

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 MAAC.

Os instrumentos de coleta de dados devem prever a captura dos dados em conformidade com os parâmetros de avaliação. Os parâmetros considerados nos experimentos realizados com o MAAC são apresentados no Quadro 1 e foram identificados por meio da condução da RS conduzida por Nunes (2014), que investigou os métodos de avaliação de aquisição de conhecimento em AVAs 3D. Os parâmetros são indicadores dos dados a serem considerados na avaliação da aprendizagem; no entanto, recomenda-se que sejam selecionados conforme o domínio de estudo.

Quadro 1 - 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	Interações capturadas durante a aprendizagem no AVA 3D para identificar se o participante foi ativo ou passivo ao explorar o AV
Características Individuais	Identifica o perfil do participante e suas habilidades para correlacionar com os resultados das avaliações diagnósticas

Fonte: Nunes (2014).

Além da proposição do modelo conceitual, foi definida uma arquitetura e implementado um sistema computacional capaz de registrar as interações dos usuários em AVAs 3D (NUNES et al., 2012; NUNES; TESTA; NUNES, 2013), a fim de automatizar o método e os instrumentos de avaliação.

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 AVs 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 (NUNES, 2014).

A partir dos dados coletados nos experimentos conduzidos com diversos AVAs 3D e diferentes perfis de usuários, uma análise estatística foi realizada aplicando métodos de estatística descritiva, estudo de amostras pareadas e correlação de variáveis, a fim de validar o MAAC em diferentes contextos (NUNES, 2014).

Logo, os resultados da análise estatística mostraram que é factível avaliar a aquisição de conhecimento em AVAs 3D aplicando o MAAC e revelaram indícios de que alguns tipos de interação do usuário (navegação, seleção, manipulação, controle) com os AVAs 3D mantêm correlação com o nível de aprendizado (NUNES, 2014).

A análise revelou, ainda, que o conhecimento prévio do aprendiz é um parâmetro relevante que deve ser considerado no processo de avaliação, conforme é alertado por educadores (LUCKESI, 2011; MADAUS; BLOOM, 1983).

Deste modo, foi possível concluir que, para AVAs 3D com atributos similares aos que foram aplicados nos experimentos, o MAAC é capaz de avaliar o nível de aquisição de conhecimento tendo como meio de estudo um AVA 3D (NUNES, 2014).

Avaliação de Habilidades Sensório-Motoras

O método semiautomatizado de Avaliação de Habilidades Sensório-Motoras para AVs 3D em contextos de treinamento médico proposto por Anjos (2014) foi desenvolvido com base nas contribuições sobre Aprendizagem e Performance Motora de Schmidt e Wrisberg (2010) e considera ambientes de execução previsíveis, cuja tarefa ou procedimento seja realizado com passos previamente definidos e seriados.

Com o objetivo de compreender a terminologia de Habilidades Sensório-Motoras, Magill (2000) define essas habilidades como aquelas que compreendem tarefas que são realizadas com objetivos específicos a serem atingidos e relacionam-se a aspectos de movimento, podendo subdividir-se em habilidades grossas ou finas.

Os pressupostos de avaliação de HSM são compreendidos como uma estratégia para verificação de resultados em processos de ensino-aprendizagem. Kraiger, Ford e Salas (1993, p. 311) destacam

a importância de que “[...] a avaliação seja realizada primeiramente, para determinar se o tempo e os resultados esperados em um treinamento foram atingidos”.

A partir dos resultados da RS, Anjos (2014) identificou métodos de avaliação da aquisição de HSM. No entanto, observam-se apenas trabalhos de avaliação centrados unicamente na observação humana, ou, quando implementados em AVs, estes apresentavam como finalidade única a avaliação de uma tarefa virtual específica.

Os objetivos gerais da investigação de Anjos (2014) foram delineados inicialmente com base na construção de um modelo teórico de avaliação da aquisição de HSM.

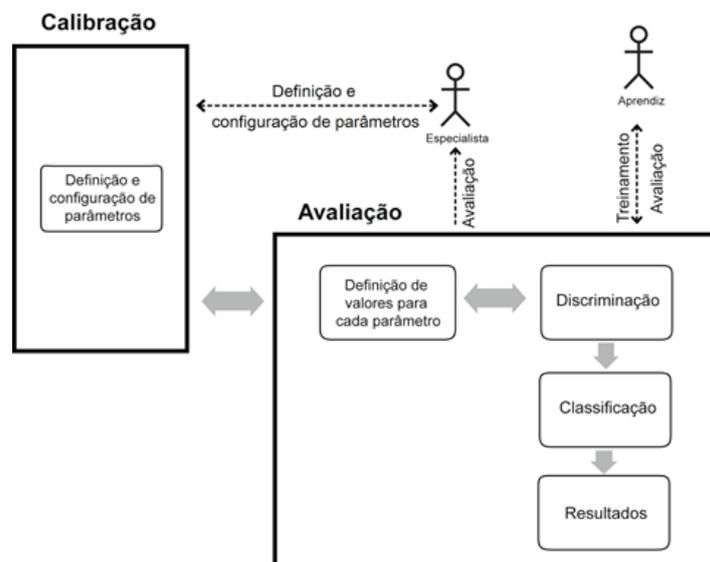
Para a realização de experimentos em AVs 3D, foi necessário adaptar uma aplicação a partir de resultados de projetos desenvolvidos pelo Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab)⁹ da Escola Politécnica da USP e do Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS)¹⁰ da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP.

Os estudos experimentais foram realizados em sessões de treinamento e avaliação, conduzidas por especialistas e alunos de um curso de Enfermagem. As especialistas eram professoras do curso de Enfermagem da Universidade Federal de Mato Grosso, com faixa etária de 37 a 49 anos e experiência profissional compreendida entre 15 a 28 anos.

Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de HSM em AV 3D

O modelo constituído e aprimorado a partir das retroalimentações dos especialistas durante a execução dos experimentos, conforme pode ser conferido na Figura 3, foi consolidado sob a perspectiva de dois blocos: a) bloco de calibração e b) bloco de avaliação.

Figura 3 - Modelo teórico de avaliação de HSM para AV 3D



Fonte: Anjos (2014).

9 Disponível em: <<http://www.interlab.pcs.poli.usp.br/>>. Acesso em: 9 maio 2015

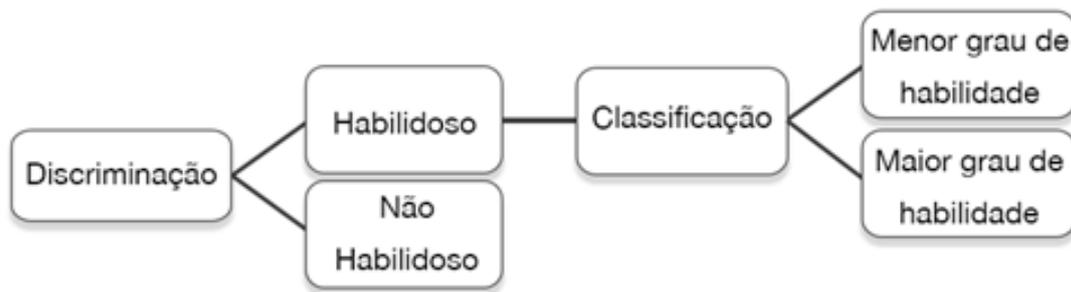
10 Disponível em: <<http://www.each.usp.br/lapis/>>. Acesso em: 9 maio 2015.

O primeiro bloco (Calibração) tem como objetivo a definição e configuração de parâmetros de avaliação, sendo estes definidos e configurados com base na experiência de especialistas do domínio de aplicação.

O segundo bloco (Avaliação) contempla uma subdivisão em quatro módulos. No primeiro módulo (Definição de valores para cada parâmetro), são observadas as informações de execução de movimentos dos indivíduos e são definidos os valores de cada parâmetro de avaliação. O módulo de Discriminação tem como objetivo discriminar tarefas virtuais segundo parâmetros e regras de avaliação definidas por especialistas. O módulo de Classificação tem como finalidade classificar graus de habilidade com base na observação da execução de tarefas virtuais. No último módulo (Resultados), são disponibilizados as métricas e os resultados de avaliação processados pelos módulos *Discriminação* e *Classificação*. Em ambos são gerados também os resultados de tarefas não habilidosas e habilidosas em diferentes graus de habilidade.

A Figura 4 detalha o módulo de Classificação. As execuções a serem classificadas são resultantes do processo de discriminação, que faz uma divisão em execuções *habilidosas* e não *habilidosas*.

Figura 4 – Processos de discriminação e classificação



Fonte: Anjos (2014).

Execuções não habilidosas podem ser identificadas quando um ou mais parâmetros de avaliação revelam uma condição inaceitável na execução de uma tarefa ou na avaliação da mesma. Além disso, a identificação de execuções não habilidosas é especialmente importante em situações de risco, quando uma determinada tarefa deve ser imediatamente interrompida para não causar riscos aos beneficiários de um procedimento ou ao próprio executante (por exemplo, a perfuração de um local de risco ao aplicar a injeção em um paciente).

Já as execuções habilidosas são compreendidas, para efeito da investigação de Anjos (2014), quando determinados objetivos de uma tarefa são atingidos de acordo com critérios de avaliação pré-definidos por especialistas (por exemplo, a realização de uma tarefa com todos os parâmetros discriminatórios julgados como execução habilidosa). No exemplo dado, diferentes graus de habilidade podem ser aferidos durante as diversas etapas na execução de uma tarefa.

O Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de HSM apresentado nesta seção foi automatizado usando técnicas que possibilitaram a captura de movimentos humanos em forma de trajetória e o processamento automatizado de métricas de avaliação (ANJOS, 2014).

Os dados foram capturados a partir de interações realizadas com um dispositivo háptico, como

ilustra a Figura 5. O dispositivo háptico utilizado foi o *Phanton Omnida Sensable*¹¹ – *Geomagic*¹². Esse dispositivo costuma ser utilizado na criação e manipulação de objetos virtuais em simulação computacional, haja vista que possibilita a realização de operações com a aplicação e retorno de forças em seis graus de liberdade (6DOF)¹³.

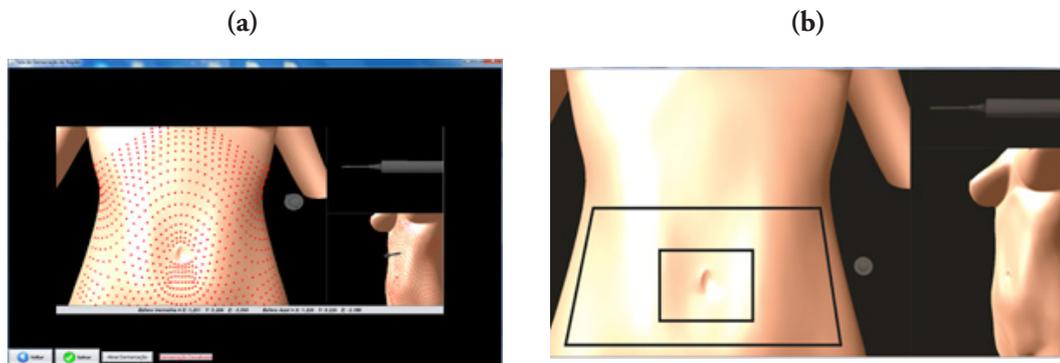
Figura 5 – Dispositivo háptico



Fonte: Anjos (2014).

Foi possível realizar a simulação de diversos procedimentos da área médica, como a aplicação de injeções subcutâneas na região abdominal (Figura 6 (a) e (b)). É possível também observar na Figura 5 a utilização do dispositivo háptico para treinamento e avaliação de um procedimento de aplicação de injeções subcutâneas na região abdominal.

Figura 6 – Demarcação de regiões



Fonte: Anjos (2014).

Na Figura 6 (a) observa-se um órgão do corpo humano (abdômen). O AV 3D concebido permite a configuração e utilização de diferentes órgãos do corpo humano modelados para a finalidade de treinamento médico. Na Figura 6 (b), observa-se o instrumento seringa em um ponto de vista na parte superior direita da ilustração.

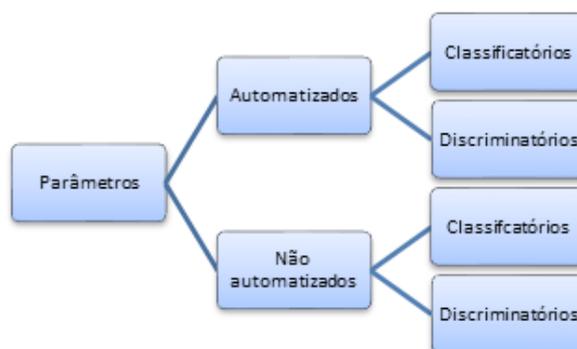
11 *SensAble technologies*. OpenHaptics Toolkit version 3.0 Programmer's Guide. Woburn (2008, p. 13-23).

12 Disponível em: <<http://www.geomagic.com>>. Acesso em: 10 maio 2015.

13 Captura de movimentos em seis graus de liberdade – três translações (movimentos de um ponto ao outro nos eixos “x”, “y” e “z”) e três rotações (movimentos em torno dos eixos “x”, “y” e “z”).

O método estatístico e matemático, desenvolvido por Anjos (2014), permite discriminar e classificar execuções habilidosas e não habilidosas por meio de parâmetros automatizados e não automatizados, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Discriminação e classificação de parâmetros automatizados e não automatizados



Fonte: Anjos (2014).

Os parâmetros automatizados referem-se a parâmetros de precisão capturados a partir do movimento do dispositivo háptico no AV 3D, como ângulo do instrumento, região, vibração da mão do aprendiz enquanto segura o instrumento e outros parâmetros que podem ser derivados com base na utilização do instrumento médico.

Os parâmetros não automatizados são parâmetros que o especialista julga importante para compor o processo de avaliação. Para efeito dos procedimentos de treinamento realizados, um especialista poderia, por exemplo, escolher um parâmetro subjetivo como *postura do aprendiz* durante o procedimento de aprendizagem e registrá-lo no sistema.

A avaliação semiautomatizada é justificada com base na possibilidade da captura de interações, discriminação e classificação de modo combinado com o julgamento de especialistas, que podem analisar a avaliação de parâmetros oriundos do método semiautomatizado e adicionar parâmetros não automatizados combinando o julgamento humano com parâmetros automatizados.

Os parâmetros capturados de modo automatizado durante a realização dos experimentos permitiram aos especialistas uma avaliação de maior precisão, especialmente quando se consideram parâmetros cuja precisão nem sempre é possível, como aqueles julgados a partir da percepção do olho humano, como, por exemplo: ângulo de uma seringa, durante o procedimento de aplicação e a observação do limítrofe ou área ideal para aplicação de injeções.

Com a validação do método, foi concebido um Sistema de Avaliação da Aquisição de HSM para AVs 3D em Anjos (2014).

Considerações Finais

Em relação aos aspectos cognitivos, o MAAC se mostrou adequado e válido para sistematizar a avaliação da aprendizagem em AVAs 3D, haja vista que os experimentos conduzidos envolveram diversos tipos de aquisição conhecimento, diferentes contextos de AVAs 3D e diferentes perfis de estudantes, contribuindo no âmbito educacional tão sobrecarregado de diferentes Tecnologias

da Informação e Comunicação presentes nas modalidades de ensino presencial e na Educação a Distância.

No que se refere à avaliação da aquisição de HSM, as contribuições dos especialistas que participaram dos experimentos com o sistema automatizado permitiram a validação e confirmação de que um método semiautomatizado é capaz de agregar valor aos processos de avaliação da aquisição de HSM em ambientes de execução de tarefas virtuais previsíveis implementadas em um AV3D.

Merece destaque, como contribuição de grande relevância para atingir tais objetivos, a definição do Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de HSM, que foi capaz de orientar a concepção do método semiautomatizado de avaliação proposto por Anjos (2014), e a concepção de um método estatístico matemático para processar e reutilizar métricas e gerar indicadores de avaliação com base na cinemática de movimentos capturados no AV 3D. É necessário, também, destacar a validação do método por meio de estudos experimentais executados em um sistema de avaliação adaptado a partir de um *framework* de treinamento médico.

Ressalta-se, ainda, a contribuição para o campo de avaliação, quando se considera um método híbrido que permite utilizar-se da precisão computacional obtida a partir de AVs 3D e de julgamento de especialistas humanos durante o processo de avaliação de uma tarefa virtual a ser realizada.

O método tem sua primeira versão limitada a ambientes previsíveis de execução de tarefas, considera apenas um instrumento médico e diferentes órgãos do corpo modelados para tarefas de treinamento no campo médico. No entanto, apesar das restrições apresentadas, trabalhos futuros poderão dar a continuidade à investigação de Anjos (2014), permitindo a extensibilidade do método, adequando-o para outras tarefas virtuais, considerando-se diferentes domínios de treinamento.

Embora haja uma discussão pontual envolvendo métodos de avaliação de aquisição de HSM e de cognição, desafios em trabalhos futuros de investigação poderiam dar continuidade à articulação de métodos de avaliação, considerando-se tanto aspectos relacionados à cognição como às habilidades, e ainda, quando possível, relacionando-se com outras dimensões apresentadas na taxonomia de Kraiger, Ford e Salas (1993).

Referências

ANJOS, A. M. **Um método para avaliar a aquisição de habilidades sensório-motoras em ambientes virtuais interativos tridimensionais para treinamento médico.** 2014. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014.

ANJOS, R. A. V. **Referencial Pedagógico para Análise de Ambientes Virtuais de Aprendizagem.** 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Instituto de Educação, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. Human Memory: a Proposed System and its Control Process. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (Ed.). **The Psychology of Learning and Motivation: advances in Research and Theory.** New York: Academic Press, 1968. v. 2. p. 89-195.

BADDELEY, A. D. **The Psychology of Memory.** The Essential Handbook of Memory Disorders for Clinicians: John Wiley & Sons, 2004. cap. 1. p.1-13.

- BLOOM, B. S. et al. **Taxonomy of educational objectives**. New York: David Mckay, 1956. 208p.
- 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 eletrônicos...** IEEE, 2011. p. 444-449.
- 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.
- CHOWRIAPPA, A. et al. Modeling and defining expert handwriting behavior systems, man and cybernetics. In: PROCEEDINGS OF THE IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS. p. 2918-2923, 11-14 Oct. San Antonio, TX, USA - October 2009.
- DAWEI, J.; ASIM B.; SAEID N. MUSTe method for quantifying virtual environment training system efficacy. In: **OZCHI '09: Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24**, november, 2009.
- HOUNSELL, M. S.; FILHO, M. R.; SILVA, L. E. Detalhando aspectos de educação e treinamento em ambientes virtuais 3d. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION. São Paulo, 2008.
- KRAIGER, K.; FORD, J. K.; SALAS, E. Application of cognitive skill-based and affective theories of learning outcomes to new methods of training evaluation. **Journal of Applied Psychology**, Washington DC, v. 78, n. 2, p. 311-328, 1993.
- KOLESNIKOV, M. et al. PerioSim: haptic virtual reality simulator for sensorimotor skill acquisition in dentistry. Robotics and Automation, 2009. In: **ICRA '09**. IEEE International Conference, Kobe, Japan, vol., no., p. 689-694, 12-17 May 2009. Disponível em: URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5152751&isnumber=5152175>>. Acesso em: 9 mar. 2010.
- 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.
- LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 479p.
- 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.
- 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.

MAGILL, R. **Aprendizagem motora:** conceitos e aplicações. Revisão de livro. Motriz, jan./jun. v. 6, n. 1, p. 35-36, (5a ed., publicado nos EUA em 1998), 2000, 369 p., ISBN 85-212-0263-6, Tradução da 5a. ed. americana, por Luis Augusto Teixeira. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

NUNES, E. P. S. **Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Tridimensionais Interativos.** 2014. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da USP, São Paulo.

NUNES, E. P. S. et al. A Model of Assessment of Knowledge Acquisition in Three-Dimensional Learning Virtual Environments. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR 2012), 14., 2012, Niterói. **Anais...** Niterói: 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: WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DA APRENDIZAGEM EM AMBIENTES VIRTUAIS – WAVALIA, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Campinas: 2013. p. 1-10.

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.; SISCOUTTO, R. (Ed.) **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada.** Livro do Pré-Simpósio da VIII Symposium on Virtual Reality, Belém, PA, 2-5 de maio de 2006. Porto Alegre: Editora SBC-Sociedade Brasileira de Computação, 2006.

VALENTE, C.; MATTAR, J. **Second Life e WEB 2.0 na Educação:** o potencial revolucionário das novas tecnologias. São Paulo: Novatec, 2007. 279 p.

Recebimento em: 15/10/2015.

Aceite em: 08/11/2015.