ALEXANDRE MARTINS DOS ANJOS

**Um método para avaliar a aquisição de habilidades sensório-
motoras em ambientes virtuais interativos tridimensionais para
treinamento médico**

São Paulo
2014

ALEXANDRE MARTINS DOS ANJOS

**Um método para avaliar a aquisição de habilidades sensório-
motoras em ambientes virtuais interativos tridimensionais para
treinamento médico**

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

Orientadora: Profª Drª Fátima de Lourdes
dos Santos Nunes Marques

São Paulo
2014

ALEXANDRE MARTINS DOS ANJOS

**Um método para avaliar a aquisição de habilidades sensório-
motoras em ambientes virtuais interativos tridimensionais para
treinamento médico**

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 Dr^a Fátima de Lourdes
dos Santos Nunes Marques

São Paulo
2014

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

São Paulo, 23 de outubro de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

Anjos, Alexandre Martins dos

**Um método para avaliar a aquisição de habilidades sensório-motoras em ambientes virtuais interativos tridimensionais / A.M. dos Anjos. – versão corr. – São Paulo, 2014.
239 p.**

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

1.Realidade virtual 2.Habilidades motoras (Avaliação) 3.Treinamento médico I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

*Dedico este trabalho a minha família, com especial
menção a meus pais, avós, irmãos e amigos do coração.*

AGRADECIMENTOS

Aos professores, colegas de trabalho, minha família e meus maravilhosos amigos, meu sincero agradecimento, pois sem vocês esta tese não teria sido possível. De forma muito especial, faço questão de citar alguns destes nomes.

A minha orientadora, Prof^a Dr^a Fátima de Lourdes dos Santos Nunes, pelo comprometimento no processo de orientação, pela paciência, pela confiança em mim depositada e pela solidariedade em todos os momentos de dificuldade, alegria, angústias e reflexões.

Ao Prof. Dr. Romero Tori, por ter acompanhado a orientação juntamente com a Prof^a. Dr^a Fátima, sempre contribuindo com a sua experiência.

Ao Prof. Dr. Anderson pelo apoio nas questões relacionadas ao campo da Matemática e Estatística e, às professoras do curso de Enfermagem da UFMT, pela contribuição durante a realização dos experimentos.

Aos amigos, colegas de trabalho e bolsistas, por compreenderem a importância desta investigação para minha formação. Aos amigos e colegas Fátima, Rosana, Lídia, Jéssika, Stephanie, Evaldo, Vinicius, Leonardo, Lucas e Eduardo, pelo apoio paciente durante este percurso.

Aos coordenadores do Doutorado Interinstitucional (DINTER), por promoverem a cooperação entre UFMT e Poli-USP e, aos professores da USP, por se deslocarem até Cuiabá para ministrar as disciplinas.

Aos membros da banca examinadora, pela predisposição para a leitura deste trabalho e por toda contribuição que certamente deixarão para a continuidade da pesquisa.

Aos amigos do Interlab, Cleber, Makouto, Ana e Mariza, por toda a colaboração no decorrer desses anos de Doutorado.

Aos colegas e amigos que também fazem parte da minha turma no Dinter EPUSP-UFMT, pelo companheirismo durante a oferta das disciplinas, e particularmente aos que passaram a integrar o círculo dileto de amigos: Eunice, Evandro, Wanessa, Raul, João Paulo, Juliana, Saulo e Obana.

Aos meus pais Zenon e Jayne, a minha avó materna Joana, aos meus queridos avós e padrinhos Felipa e José (*in memoriam*), aos meus irmãos Marcos, Carlos e Paula, as minhas cunhadas e aos meus amigos muito especiais Cadu e Petter, quando foram capazes de compreender os momentos de ausência e confortaram-me nos momentos de dificuldade.

De modo único, agradeço ainda a Deus, pela saúde, paciência, força e serenidade concedidas e por seu amparo nos momentos em que mais precisei.

RESUMO

Com a frequente utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) em contextos educacionais, uma nova configuração de atividades virtuais trouxe à tona novos desafios para profissionais da área de educação ou de treinamento. A partir das contribuições originadas no campo da Realidade Virtual, merecem atenção às soluções que se utilizam de Ambientes Virtuais Interativos 3D como uma alternativa às estratégias de treinamento conduzidas em ambientes reais de aprendizagem. Essas soluções ganham destaque à medida que se observa a utilização de diferentes métodos ou formas de se ensinar e aprender com esses ambientes. Nesse contexto o campo das Habilidades Sensório-Motoras (HSM) constitui-se um desafio no que tange à necessidade de desenvolvimento de métodos para quantificar ou qualificar a habilidade de um aprendiz ou profissional que esteja sob avaliação durante a realização de uma tarefa. Diante desse cenário, apresenta-se a pesquisa em pauta, com o objetivo de definir, implementar e validar um método para avaliação da aquisição de HSM em Ambientes Virtuais Interativos 3D no contexto de treinamento médico. O escopo da presente investigação foi definido mediante a realização de um processo de revisão de literatura sobre os principais fundamentos encontrados na área. Por meio da condução de dois processos de Revisão Sistemática, foi possível recuperar o estado da arte sobre métodos e parâmetros utilizados na avaliação da aquisição de HSM. Para atingir os objetivos da investigação, foram conduzidos experimentos com base em um modelo teórico de avaliação e em um método semiautomatizado. Os resultados dos experimentos indicaram que o método construído foi capaz de avaliar diferentes tarefas virtuais durante a aquisição de Habilidades Sensório-Motoras, assim como verificar o grau de convergência e divergência de processos de discriminação e classificação de HSM observados na avaliação de tarefas virtuais pelo método semiautomatizado e por especialistas.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Avaliação da Aquisição de Habilidades Sensório-motoras. Treinamento Médico. Ambientes Virtuais Interativos 3D.

ABSTRACT

Along with the frequent use of Information and Communication Technologies (ICTs) in educational contexts, a new configuration of virtual activities has brought up new challenges for professionals in the field of education or training. Based on contributions coming from the field of Virtual Reality, solutions used in 3-D Interactive Virtual Environments need to be highlighted as an alternative to training strategies conducted in real learning environments.

These solutions gain ground as the use of different methods or ways of teaching and learning are observed in these environments. In this context, the field of Sensory Motor Skills (SMS) becomes a challenge as far as the need for development of methods is concerned in order to quantify or qualify the skills of a learner or a professional who is being evaluated during the performance of a task. This research is set in this scenario aiming to define, implement and validate a method to evaluate the acquisition of SMS in 3-D Interactive Virtual Environments in the context of medical training.

The scope of this investigation was defined by means of a literature review on the current major founding principles in the area. Two processes of Systematic Review were conducted which produced the state of the art on methods and parameters used in the evaluation of SMS acquisition. In order to achieve the objectives of the investigation, two experimental studies were conducted based on a theoretical evaluation model and a semi-automated method. The results of the experimental studies showed that the method constructed was able to evaluate different virtual tasks during the acquisition of Sensory Motor Skills, and to verify the convergence or divergence degree of processes of discrimination and classification of SMS observed in the evaluation of virtual tasks by the semi-automated method and by human experts.

Keywords: Virtual Reality. Evaluation of Sensory Motor Skills Acquisition. Medical Training. 3-D Interactive Virtual Environments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Representação simplificada de um <i>Contínuum</i> de RV.	20
Figura 2	– Uma classificação preliminar de um esquema de resultados de aprendizagem	37
Figura 3	– Abordagens de avaliação encontradas	50
Figura 4	– Configuração de sensores na luva BSN.	55
Figura 5	– Coleta de dados: seis caracteres de tâmil, três letras de inglês e três símbolos.	57
Figura 6	– Coleta de dados: <i>tablet</i> capturando informações de escrita. .	58
Figura 7	– Arquitetura geral da plataforma de laboratório remoto telerrobótico.	60
Figura 8	– Tempo necessário para completar a tarefa Pegar e Transferir. Dificuldades: Nível 1 (N1), 2 (N2), 3 (N3); H0 - sem retroalimentação háptica; H1 – com retroalimentação háptica.	62
Figura 9	– Configuração do Simulador Dental.	64
Figura 10	– Modelo conceitual do método.	67
Figura 11	– Predominância de domínios de aplicação nos trabalhos encontrados	73
Figura 12	– Diagrama de etapas da pesquisa	91
Figura 13	– Diagrama com as classes do ViMeT.	95
Figura 14	– Interface da ferramenta ViMeTWizard.	96
Figura 15	– Aplicação gerada com o <i>framework</i> ViMeT.	96
Figura 16	– Exemplo de traçado visual de trajetória de um usuário interagindo com o <i>mouse</i>	98
Figura 17	– Diagrama com as classes do ViMeT.	99
Figura 18	– Modelo teórico de avaliação de HSM para AVI 3D.	108
Figura 19	– Processos de discriminação e classificação.	109
Figura 20	– Informações da trajetória da Tabela 23 no espaço 3D	111
Figura 21	– Parâmetros de avaliação da aquisição de HSM.	112
Figura 22	– Trajetória em relação ao plano	115
Figura 23	– Distância entre um ponto e um plano	116
Figura 24	– Ângulo entre trajetória e um plano.	116
Figura 25	– Arquitetura do método automatizado de avaliação de um AVI 3D.	121
Figura 26	– Módulo de configuração do AVI 3D (Calibração).	122
Figura 27	– Módulo de definição e configuração de parâmetros (Calibração).	123

Figura 28	– Módulo de ajuste (Calibração).	124
Figura 29	– Módulos de captura de interação e discriminação (Avaliação).	125
Figura 30	– Módulo de classificação (Avaliação).	126
Figura 31	– Módulo de resultados (Avaliação).	127
Figura 32	– Diagrama de Casos de Uso do método semiautomatizado. . .	128
Figura 33	– Interface – captura de interações.	130
Figura 34	– Dispositivo háptico.	130
Figura 35	– Interface de autenticação.	131
Figura 36	– Interface que inicia a calibração ou a avaliação.	132
Figura 37	– Interface de configuração da tarefa.	132
Figura 38	– Interface para configurar a demarcação de regiões.	133
Figura 39	– Demarcação de regiões.	134
Figura 40	– Interface de cadastro das etapas.	134
Figura 41	– Interface de regras para mudança de etapa.	135
Figura 42	– Interface de definição e configuração de parâmetros	135
Figura 43	– Interface de definição de regras para parâmetros discriminatórios.	136
Figura 44	– Ilustração de trajetórias e etapas do experimento.	139
Figura 45	– Voluntário realizando o experimento.	140
Figura 46	– Instrumento e modelo anatômico virtual em <i>wireframe</i> (a) e renderizado (b).	150
Figura 47	– Modelo anatômico (a) e seringa (b) com esferas representando a ponta e a base da agulha	154
Figura 48	– Níveis de habilidades categorizados em classes (a) Avaliação humana e (b) Avaliação de pelo método semiautomatizado.	160
Figura 49	– Aplicação de injeções em regiões limítrofes da área demarcada.	162
Figura 50	– Análise da trajetória executada por avaliação das notas atribuídas por especialistas (a e b) e método semiautomatizado (c e d)	164
Figura 51	– Aplicação com novas perspectivas de visualização.	166
Figura 52	– Instrumento e modelo anatômico virtual em <i>wireframe</i> (a) e renderizado (b).	168
Figura 53	– Posicionamento do bisel – ponta da agulha.	170
Figura 54	– Interface de execução de tarefa – indivíduo 8 – Parâmetro PP1	174
Figura 55	– Com o bisel (a) e sem o bisel (b)	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Conceito sobre treinamento	30
Tabela 2	– Vantagens de utilização de técnicas de RV para área educacional	33
Tabela 3	– Dimensões, discreta e continua de habilidade	41
Tabela 4	– Dimensões, motora e cognitiva de habilidade.	42
Tabela 5	– Dimensões aberta e fechada de habilidade	43
Tabela 6	– Trabalhos selecionados nos dois processos de RS.	47
Tabela 7	– Abordagens de avaliação.	49
Tabela 8	– Métodos em contextos reais e virtuais	70
Tabela 9	– Domínios de aplicação.	72
Tabela 10	– Parâmetros de erros	74
Tabela 11	– Parâmetros de tempo.	75
Tabela 12	– Parâmetros de esforço e orientação.	76
Tabela 13	– Parâmetros de registro de percurso em tarefas.	76
Tabela 14	– Parâmetros de destreza, sucesso ou insucesso de procedimentos.	77
Tabela 15	– Parâmetros de retroalimentação para o usuário.	78
Tabela 16	– Parâmetros de usabilidade ou de avaliação de grau de experiência do usuário.	78
Tabela 17	– Sinais fisiológicos humanos	79
Tabela 18	– Propósitos de avaliação de treinamento	85
Tabela 19	– Fragmentação entre tarefas e habilidades adquiridas.	88
Tabela 20	– Estágios e hierarquias de desenvolvimento de HSM..	88
Tabela 21	– Variáveis e delimitação do escopo do método	89
Tabela 22	– Gravação de trajetória – dados amostrais.	97
Tabela 23	– Análise de requisitos e experimentos	101
Tabela 24	– interpretação dos Valores de <i>kappa</i>	102
Tabela 25	– Exemplo de trajetória executada por um usuário em um AVI 3D	111
Tabela 26	– Caracterização do perfil dos voluntários	138
Tabela 27	– Teste de normalidade – <i>Kolmogorov-smirnov</i>	143
Tabela 28	– Valores médios das métricas obtidas de acordo com os grupos e valor-p do teste de <i>Mann-Whitney</i>	144
Tabela 29	– Número de execuções por grupo, segundo classificação da função discriminante e o real	144

Tabela 30	– Teste de normalidade – Kolmogorov-smirnov	145
Tabela 31	– Valores médios das métricas obtidas por grupos e valor-p do teste de Mann-Whitney	145
Tabela 32	– Número de indivíduos em cada grupo, de acordo com a classificação da função discriminante e o real..	146
Tabela 33	– Classificação dos três melhores no grupo mais habilidosos e três piores no grupo dos menos habilidosos.....	147
Tabela 34	– Classificação dos indivíduos por grau de habilidade, de acordo com a mão utilizada, considerando métricas de distância de ponto ao plano	147
Tabela 35	– Classificação dos indivíduos por grau de habilidade, de acordo com a mão utilizada, considerando métricas de medidas direcionais.....	148
Tabela 36	– Etapas e tipos de parâmetros	151
Tabela 37	– Regras de discriminação e técnicas de processamento de métricas	152
Tabela 38	– Resultados da avaliação de tarefas pelo método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas.....	157
Tabela 39	– Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas no grupo de alunos experientes (Grupo I).	158
Tabela 40	– Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas no grupo de alunos iniciantes (Grupo II)	158
Tabela 41	– Etapas e tipos de parâmetros	169
Tabela 42	– Regras de discriminação e técnicas de processamento de métricas do método semiautomatizado	171
Tabela 43	– Parâmetros e critérios de julgamento utilizados por especialistas	172
Tabela 44	– Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas	174
Tabela 45	– Comparação da avaliação – Oscilação de ângulos durante a inserção - método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas ...	176
Tabela 46	– Oscilação de ângulos durante a retirada - método semiautomatizado <i>versus</i> especialistas.....	177
Tabela 47	– Processo de classificação com e sem o parâmetro PP4	178
Tabela 48	– Diferença de avaliação com e sem bisel	179
Tabela 49	– Características extensíveis do método semiautomatizado durante a análise dos resultados experimentais	187

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
AE	Aprendizagem eletrônica
AV	Ambiente Virtual
AVAs	Ambiente Virtual de Aprendizagem
AVI 3D	Ambiente Virtual Interativo Tridimensional
CES	<i>Conventional Endoscopic Surgery</i>
CMS	<i>Course Management System or Content Management System</i>
EACH	Escola de Artes, Ciências e Humanidades
FLS	<i>Fundamentals of Laparoscopic Surgery</i>
GOMS	<i>Goals, Operators, Methods and Selection Rules</i>
HA	Hierarquia Avançada
HB	Hierarquia Básica
HI	Hierarquia Inicial
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
HSM	Habilidades Sensório-Motoras
IHC	Interação Humano-Computador
IMS	<i>Instructional Management Systems</i>
INTERLAB	Laboratório de Tecnologias Interativas da Escola Politécnica
LAPIS	Laboratório de Aplicação de Informática em Saúde
LCMS	<i>Learning Content and Management System</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
LO	<i>Learning Objects</i>
N	Newton
OAs	Objetos de Aprendizagem
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada
RAS	<i>Robot-Assisted Endoscopic Surgery</i>
RS	Revisão Sistemática
RV	Realidade Virtual

SGCA	Sistemas de Gerenciamento de Conteúdos de Aprendizagem
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
VA	Virtualidade Aumentada
ViMeT	<i>Virtual Medical Training</i>
VLE	<i>Virtual Learning Environments</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	19
	MOTIVAÇÃO	22
	OBJETIVOS DO TRABALHO	23
	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	24
1	ASPECTOS CONCEITUAIS	26
1.1	REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA	26
1.2	EDUCAÇÃO E TREINAMENTO.	29
1.3	AMBIENTES VIRTUAIS EM CONTEXTOS EDUCACIONAIS E DE TREINAMENTO	32
1.4	HABILIDADES SENSORIO-MOTORAS	35
1.4.1	Avaliação da aquisição de HSM	36
1.4.2	Fases de um processo de aquisição de habilidades	39
1.4.3	Aprendizagem e desempenho motor.	40
1.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
2	MÉTODOS E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HABILIDADES SENSORIO-MOTORAS.	46
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	46
2.2	ANÁLISE GLOVAL DOS TRABALHOS	48
2.2.1	Categorias de abordagens de avaliação da aquisição de HSM .	48
2.2.1.1	Abordagens de avaliação encontradas no campo da cinemática. . .	51
2.2.1.2	Abordagens de avaliação encontradas no campo da estatística	53
2.2.1.3	Abordagens de avaliação encontradas no campo da matemática . .	59
2.2.1.4	Abordagens de avaliação encontradas no campo computacional. . .	65
2.2.1.5	Abordagens de avaliação encontradas em outras áreas	66
2.2.2	Abrangência de métodos de avaliação da aquisição de HSM.	69
2.2.3	Análise do domínio de aplicação	72
2.3	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.	73
2.4	DISCUSSÕES	79

3	METODOLOGIA DO PROJETO	84
3.1	DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO	84
3.2	ETAPAS DA PESQUISA	90
3.3	ANÁLISE DE REQUISITOS	92
3.3.1	Estudo com especialistas	92
3.3.2	Análise de viabilidade tecnológica.	94
3.4	DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE HABILIDADES SENSÓRIO-MOTORAS.	100
3.5	VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.	101
3.5.1	Primeiro experimento.	103
3.5.2	Segundo experimento.	104
3.5.3	Terceiro experimento	105
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
4	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE HABILIDADES SENSÓRIOS MOTORAS EM AVIS 3D	108
4.1	DEFINIÇÃO DE UM MODELO TEÓRICO DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HSM EM AVIS 3D.	108
4.2	DEFINIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO E ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO DE TAREFAS VIRTUAIS.	110
4.2.1	Processamento de métricas de avaliação.	113
4.2.1.1	Movimento econômico de uma trajetória.	114
4.2.1.2	Análise de ângulo de posicionamento de objetos	116
4.2.1.3	Análise de firmeza	117
4.2.1.4	Análise da suavidade	117
4.2.1.5	Medidas direcionais	118
4.2.2	Técnica utilizada para classificação de HSM.	118
4.3	EQUAÇÃO GERAL DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HSM ...	119
4.4	ARQUITETURA DO MÉTODO	121
4.4.1	Componente de calibração	122
4.4.2	Componente de avaliação	125
4.5	IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SEMIAUTOMATIZADO	127
4.5.1	Tecnologias utilizadas	129
4.5.2	Sistema de avaliação da aquisição de HSM	131

5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	137
5.1	PRIMEIRO EXPERIMENTO: COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS MATEMÁTICAS E ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DE DESTREZA MANUAL	137
5.1.1	Descrição da tarefa	138
5.1.2	Análise de técnicas de processamento de métricas	142
5.1.3	Comparação dos resultados da classificação de HSM	146
5.1.4	Comparando as execuções com a mão dominante ou não dominante de um indivíduo	147
5.1.5	Discussão	148
5.2	SEGUNDO EXPERIMENTO: AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DE INJEÇÕES INTRAMUSCULARES NA REGIÃO GLÚTEA	149
5.2.1	Descrição da tarefa	150
5.2.2	Configuração do método semiautomatizado	152
5.2.3	Avaliação de HSM conduzida por especialistas	155
5.2.4	Resultados da discriminação e classificação	157
5.2.5	Discussão	160
5.2.5.1	Percepção dos especialistas	165
5.3	TERCEIRO EXPERIMENTO – AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DE INJEÇÃO SUBCUTÂNEA NA REGIÃO ABDOMINAL	167
5.3.1	Descrição e configuração da tarefa	167
5.3.2	Condução do Experimento	170
5.3.3	Resultados de avaliação com base em parâmetros automatizados e não automatizados	173
5.3.4	Discussão	179
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	180
6	CONCLUSÕES	183
6.1	LIMITAÇÕES DO MÉTODO	185
6.2	VANTAGENS E CONTRIBUIÇÕES	185
6.3	ARTIGOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS	189
6.4	TRABALHOS FUTUROS	190
	REFERÊNCIAS	192

INTRODUÇÃO

Com a frequente utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) em contextos educacionais, uma nova configuração de atividades virtuais trouxe à tona novos desafios para profissionais da área de educação.

Esse fato é notável, especialmente no caso brasileiro, quando se observa o crescimento de cursos a distância que se utilizam de TICs para agregar valor às suas estratégias de ensino-aprendizagem.

De outro lado, atividades educacionais que têm como modalidade a educação presencial também passaram a beneficiar-se dessas experiências com a adoção das novas práticas. Este fato tem provocado discussões, quando se busca discernir estratégias específicas para cursos de educação a distância e de educação presencial.

Para bem exprimir esse novo cenário educacional, convém salientar as contribuições de Tori (2010) sobre o surgimento de um fenômeno de convergência entre o virtual e o presencial na educação, também conhecido como *Blended Learning*.

O *Blended Learning* apresenta novas possibilidades educacionais, que proveem não apenas a aplicação de recursos para gerenciamento de conteúdos e processos de ensino-aprendizagem em educação a distância, mas também o uso de TICs para agregação de valor a processos de educação presencial.

Para efeito de ilustração do conceito de *Blended Learning*, Tori (2010) destaca a adoção de sistemas de gerenciamento de conteúdo e aprendizagem em contextos híbridos de educação, considerando tanto as modalidades presenciais quanto modalidades a distância, que, por sua vez, são conhecidos por diversas denominações, tais como Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) ou *Learning Management System* (LMS).

Além da aplicação em Ambientes Virtuais (AV), de forma mais abrangente no campo educacional, essas soluções ganham destaque à medida que se observa a sua utilização de forma pontual em diferentes métodos ou formas de se ensinar e aprender com esses ambientes, dentre as quais merece destaque o campo de treinamento de Habilidades Sensorio-Motoras (HSM), que compreende a principal área temática de discussão no presente trabalho.

A partir dos conceitos oriundos do campo da Realidade Virtual (RV) e da Realidade Aumentada (RA), um AVA ou um Ambiente Virtual de Treinamento (AVTr) pode constituir-se de aplicações tridimensionais e, para isso, faz-se necessário também compreender a importância dos estudos dessas áreas para contextos de educação virtual.

Burdea e Coiffet (2003) definem RV como um processo de simulação em que a computação gráfica é utilizada para criar um mundo de aparência realista e que possibilite a interatividade em tempo real.

Já o conceito de RA é definido como a possibilidade de transportar o usuário para Ambientes Virtuais (AVs), mantendo-o, porém, em seu ambiente físico, combinando objetos reais com objetos virtuais 3D (AZUMA, 1997).

Entre os extremos da realidade e da virtualidade, Milgran et al. (1994) destacam também a existência de um espaço contínuo, que se inicia no mundo real e transita até espaços virtuais, abrangendo possibilidades de mistura entre elementos ou ambientes físicos e elementos ou ambientes sintetizados digitalmente. A combinação de estratégias de RV e AV, e vice-versa, permite a discussão de um espaço intermediário, designado por Realidade Misturada (RM), conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 - Representação simplificada de um *continuum* de RV

Fonte: Milgran et al. (1994, p. 283) adaptado pelo autor, tradução nossa.

À esquerda da Figura 1, encontra-se o ambiente que irá constituir-se exclusivamente de objetos e cenas reais e, na extremidade oposta, observa-se que esses ambientes contemplarão objetos virtuais, normalmente oriundos de computadores e simuladores gráficos (MILGRAN et al., 1994). Na representação gráfica, verifica-se que os elementos dos mundos real e virtual se fundem ao centro,

o que contempla a existência de um tipo de realidade genérica misturada – *Mixed Reality* (MR) ou Realidade Misturada (RM).

Na literatura é possível encontrar uma série de aplicações oriundas dos campos de conhecimento de RV, RA e RM. Dentre elas, podem-se destacar as de RV na área educacional ou de treinamento, porque permitem um processo de imersão de aprendizes em um mundo virtual, simulado por tecnologia, do qual o usuário passa a fazer parte, utilizando ambientes sintetizados digitalmente para propósitos de ensino-aprendizagem.

Além disso, é necessário destacar as possibilidades de interação oportunizadas nos ambientes de RV, com base na concepção de Ambientes Virtuais Interativos 3D (AVIs 3D), definidos por Burdea (2003) como sistemas com interface gráfica que proveem interação em tempo real (resposta imediata para usuários).

Especialmente em áreas que envolvem necessidades de treinamento, como, por exemplo, a área médica, faz-se necessário analisar as contribuições oriundas da área de comportamento motor, que tem como objetivo o estudo dos processos de aquisição e desenvolvimento de HSM.

Magill (2000) define o conceito de habilidades motoras como aquelas que “compreendem tarefas com finalidades específicas a serem atingidas” e que se relacionam a aspectos de movimento, podendo subdividir-se em habilidades grossas ou finas.

Retomando a interação em AVIs 3D, a RV pode agregar valores a esses ambientes, ampliando as alternativas de estratégias de ensino-aprendizagem que envolvem HSM. No entanto, é preciso refletir sobre que métodos podem ser criados para apoiar os processos de avaliação dessas habilidades ou, dito de outra maneira, como podem mensurar as habilidades adquiridas pelo aprendiz em ambientes de RV.

Como base para a reflexão, deve-se considerar a necessidade de capturar as informações durante o uso desses ambientes, armazená-las e reproduzi-las em um modelo de avaliação adaptável a mais de uma tarefa virtual.

Diante disso, esse trabalho parte do pressuposto de que AVIs 3D podem colaborar com os processos de aquisição de HSM e há uma transferência de aprendizagem de contextos virtuais para reais. No entanto, não faz parte do escopo comprovar isso, mas simplesmente propor uma forma de como é possível avaliar se uma habilidade foi adquirida a partir do uso de AVIs 3D.

A ausência de pesquisas com tais propósitos traz uma lacuna como “matéria-prima” de novos processos investigatórios. Avaliar HSM, por exemplo, passa a ser uma discussão de caráter complexo, quando, especialmente, se atravessa o contínuo espaço entre a realidade e a virtualidade.

MOTIVAÇÃO

Por meio de um estudo exploratório inicial, em que foi utilizada pesquisa bibliográfica, percebeu-se certa frequência de publicações que mencionam a utilização de AVs em concepções tridimensionais ou em estratégias de ensino-aprendizagem centradas em contextos sensório-simbólicos.

Para o escopo da presente pesquisa, o termo sensório-simbólico deverá ser compreendido como mídia em formato bidimensional que armazena conhecimentos baseados em fatos, ideias ou conceitos e, além disso, utiliza preferencialmente linguagem audiovisual ou textual com base em material impresso ou gravado nas mais diversas formas de mídias, incluindo as digitais.

Consideram-se notáveis as contribuições dos processos de Revisão Sistemática (RS), a serem discutidas no Capítulo 2, provindas de autores que apresentam interesse em dimensões de ensino-aprendizagem que transcendem o debate em AVs no campo sensório-simbólico.

Esses autores destacam a necessidade de investigação de ambientes virtuais que contemplem tecnologias de RV não apenas no campo do ensino, mas também na dimensão sensório-motora, com o propósito de se avaliar a habilidade adquirida.

Diante disso, os processos de RS permitiram ainda uma categorização de parâmetros e métodos aplicáveis a um contexto particular de avaliação, e são atrelados a um único ambiente. Em geral, esses ambientes capturam as interações e um método específico construído com o propósito de avaliar uma tarefa particular é aplicado.

Não se observa, portanto, trabalhos que permitam a aplicação do mesmo método de forma extensível ou generalizável para avaliar outras tarefas simuladas em um AVI 3D em um determinado domínio.

Na análise dos resultados dos estudos de RS não foram observados métodos construídos com base em um modelo teórico que pudesse ser extensível e,

de forma automatizada, capaz de avaliar diferentes tarefas virtuais encontradas no campo de treinamento médico com propósitos restritos ao campo da aquisição de HSM em AVIs 3D.

Tendo essa perspectiva como fator de motivação, surge a presente investigação com o propósito de um novo método de avaliação de aquisição de HSM que possa ser utilizado não apenas para avaliar uma tarefa virtual específica, mas, de forma extensível, possa ser aplicado a mais que uma tarefa virtual em determinado domínio de treinamento médico.

Assim, esta proposta visa a suprir uma lacuna notória de investigação nas áreas que envolvem ambientes de RV visando a criar um novo método de avaliação, centrado na aquisição de HSM, utilizando-se de um método semiautomatizado implementado em AVIs 3D que possa avaliar diferentes tarefas virtuais.

Hipótese:

É possível estabelecer um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM em ambientes virtuais interativos 3D para treinamento médico.

A utilização do termo semiautomatizado é justificada quando se observa a possibilidade do método proposto considerar no processo de avaliação o uso tanto de parâmetros obtidos de forma automatizada quanto de parâmetros fornecidos pelo usuário e, portanto, não automatizados.

OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho é definir, implementar e validar um método para avaliação da aquisição de HSM em ambientes virtuais interativos 3D no contexto de treinamento médico.

Para validar o método proposto, foram realizados experimentos baseados em aplicações automatizadas, adaptadas a partir de resultados de projetos desenvolvidos pelo Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab¹) da Escola Politécnica da USP e do Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS²) da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP.

¹ <http://www.interlab.pcs.poli.usp.br/>

² <http://www.each.usp.br/lapis/>

O escopo do método de avaliação foi delimitado para tarefas virtuais que considera habilidades motoras adquiridas em ambientes previsíveis de avaliação.

Para atingir os objetivos gerais delineados nesta seção, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i) definir um modelo teórico de avaliação da aquisição de HSM;
- ii) definir e implementar formas de se capturar e processar parâmetros necessários à avaliação de tarefas virtuais em um AVI 3D;
- iii) definir técnicas para processar a avaliação da aquisição de HSM com base nos resultados de estudos exploratórios e experimentais que utilizam o modelo teórico concebido;
- iv) definir a arquitetura de um método de avaliação da aquisição de HSM;
- v) implementar um método para avaliar a aquisição de HSM;
- vi) validar o método de avaliação proposto com base em estudos experimentais.

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Os demais elementos textuais que compõem este trabalho, cinco capítulos e a conclusão, serão brevemente apresentados a seguir.

Para compreensão e delimitação de concepções sobre Realidade Virtual e Aumentada em ambientes educacionais, de treinamento e de avaliação da aquisição de HSM, são apresentados no primeiro capítulo estudos exploratórios com base em revisão de literatura.

O foco do segundo capítulo são os resultados de processos de RS sobre métodos e parâmetros utilizados para avaliar a aquisição de HSM, relacionados ao problema de investigação proposto.

A metodologia do projeto é tratada no terceiro capítulo, dando-se destaque para a delimitação do método proposto, ao percurso metodológico, a análise de requisitos e definições relacionadas à validação do método para avaliar a aquisição de HSM em Ambientes Virtuais Interativos 3D (AVIs 3D).

O quarto capítulo está centrado na definição de um modelo teórico de avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D, na definição de um modelo matemático e estatístico e na implementação do método semiautomatizado.

O quinto capítulo está relacionado aos resultados experimentais obtidos com o propósito de validar o método proposto.

Ao final são apresentadas as conclusões e os resultados que validam a hipótese geral delineada, considerando os objetivos da presente investigação.

1 ASPECTOS CONCEITUAIS

Para que seja possível estruturar um raciocínio em torno dos objetivos delineados no capítulo introdutório, faz-se necessário apresentar alguns conceitos que alicerçam a fundamentação teórica utilizada durante o desenvolvimento desta investigação.

Pondo em prática a resolução tomada, subdividiu-se o capítulo em seções, em que são apresentadas definições sobre realidade virtual e aumentada, ambientes virtuais educacionais e de treinamento e habilidades sensório-motoras.

1.1 REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA

Na década de 1980, um cientista da computação, conhecido como Jaron Lanier, promoveu a convergência de conceitos por meio da fusão de aspectos de realidade e aspectos de virtualidade, o que permitiu a definição de uma terminologia que hoje é conhecida por Realidade Virtual (BLOOCA e LEVY, 1995).

Mesmo antes da definição da terminologia de RV, diversos experimentos foram conduzidos, dentre os quais são passíveis de citação: a patente americana de um periscópio³ de visualização (*Head-based Periscope Display*) desenvolvido por Albert B. Pratt, em 1916; os simuladores de voo concebidos por Edward Link, em 1929; as invenções de Morton Heilig: o sensorama⁴ (1956) e o equipamento para uso individual de televisão estereoscópica (1960); o HMD (*Head-Mounted Display*) projetado pelos engenheiros Comeau e Bryan, em 1961; o projeto Sketchpad⁵ desenvolvida por Ivan Sutherland, em 1963 (CRAIG e SHERMAN, 2003).

Tanto o resultado da convergência de conceitos quanto o avanço no desenvolvimento das tecnologias permitiram a evolução de uma área de grande importância para a Ciência da Computação, que atualmente é conhecida como RV e apresenta contribuições para os mais diversos campos do conhecimento humano.

Autores como Craig e Sherman (2003) acreditam, porém, que essa área tem sua definição em “fluxo”, ou seja, ela é passível de apresentar pequenas

³ Aparelho óptico, formado de lentes e prismas de reflexão total, que permite ver por cima de um obstáculo. Fonte: <http://www.dicio.com.br/periscopio/> Dicionário Online de Português.

⁴ É um simulador no qual a "sensação de presença" era dada por uma combinação de som estéreo, visão tridimensional, vibrações e sensações de vento e aroma. Fonte: BURDEA, G. & COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1994.

⁵ Editor gráfico desenvolvido por Ivan Sutherland, no MIT, em 1963, durante o curso de Doutorado (PhD). Fonte: GUZDIAL, M. *Squeak: Object-Oriented Design with Multimedia Applications*; Prentice Hall, 2001.

diferenças de interpretação nas áreas correlatas ou, também, faz-se necessário considerar as mudanças provenientes da evolução da própria tecnologia.

Para aproximarem-se da elaboração de um conceito sobre RV, Craig e Sherman (2003) apresentam quatro constructos que alicerçam a compreensão: o mundo virtual, a imersão, a resposta sensorial ou *feedback* sensorial e a interatividade.

Ao primeiro constructo – mundo virtual – atribuíram a seguinte definição: “espaço imaginário, muitas vezes manifestado através de um meio” (CRAIG e SHERMAN, p. 9). Esse conceito enfatiza o fato de que, nesses espaços, nota-se uma coleção de objetos que possuem relacionamentos instituídos, que se baseiam em regras governantes.

Em se tratando da imersão, definem-na como:

A sensação de estar em um ambiente; pode ser puramente um estado mental ou realizada através de meios físicos: imersão física é a característica que define a realidade virtual; imersão mental é provavelmente o objetivo da maioria dos criadores (CRAIG e SHERMAN, 2003, p. 9, tradução nossa).

Nesse sentido, estar imerso mentalmente “refere-se a um estado emocional ou mental – um sentimento de estar envolvido na experiência” e, de outra forma, estar imerso fisicamente torna-se possível quando se nota “a propriedade de um sistema de RV em substituir ou aumentar o estímulo dos sentidos dos participantes de uma experiência virtual” (CRAIG e SHERMAN, 2003, p. 9, tradução nossa).

Além da imersão, o conceito de resposta sensorial é muito utilizado para tornar a realidade mais convincente. Para ambos os autores, trata-se da faculdade de um sistema de RV oferecer uma resposta sensorial direta aos participantes de determinados contextos virtuais, tomando como base a sua localização física.

Quanto ao último elemento, lê-se em Craig e Sherman (2003) afirmam que interatividade significa a “capacidade de afetar um mundo baseado em computador” ou a capacidade para mudar um panorama dentro de determinados contextos.

Em acréscimo às definições propostas para os quatro elementos, construíram um conceito mais universal de RV, conforme demonstrado a seguir:

Realidade Virtual é um meio composto por simulações interativas de computador que compreende a posição e as ações do participante, substitui ou aumenta a resposta sensorial, dando assim a impressão de estar mentalmente imerso ou presente na simulação. (CRAIG e SHERMAN, 2003, p. 13, tradução nossa).

Há também contribuições de outros autores, como Burdea (2003), para quem a RV possibilita a simulação de Ambientes Reais (ARs), de forma a permitir que, em ambientes simulados, os sentidos humanos tenham a sensação dos mesmos sinais sensoriais reais que estariam sendo percebidos em ambientes reais.

Outra terminologia muito utilizada no presente trabalho, porém não definida de maneira clara na literatura, é a de Ambiente Virtual (AV). A falta de consenso quanto à definição do termo leva a duas possibilidades: “Mundo virtual” e “Uma instância do mundo virtual apresentada por um meio interativo como a realidade virtual” (CRAIG e SHERMAN, 2003, p. 13, tradução nossa).

Há que se considerar também os AVs sob o prisma de espaços de abstração tridimensional ou bidimensional que servem como repositórios de objetos virtuais com certos atributos a eles associados, baseados ou não em modelos reais, conforme citam Tori e Kirner (2006):

Um ambiente virtual pode ter várias formas, representando prédios ou objetos como automóveis e personagens (avatares). A precisão geométrica, bem como cores, texturas e iluminação são elementos importantes nesses casos. Em outros casos, o ambiente virtual pode não ter nenhuma referência com o mundo real, constituindo-se um modelo abstrato (TORI e KIRNER, 2006, p. 10).

Para efeito de utilização no trabalho em questão, optou-se pela adaptação dos conceitos de AV propostos por Tori e Kirner (2006) e por Craig e Sherman (2003). Deste ponto em diante, será assumido que um Ambiente Virtual é um modelo abstrato que poderá constituir-se de um mundo virtual ou, ao mesmo tempo, uma instância dele, em formato tridimensional ou bidimensional, composto por atributos como cores, texturas e iluminação, possuindo ou não referência com o mundo real.

Quanto à definição de RV, considerando-se as concepções utilizadas e referenciadas na área de sistemas computacionais, adotar-se-ão no presente trabalho os conceitos de Tori e Kirner (2006):

[...] 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 multissensoriais para atuação ou *feedback* (TORI e KIRNER, 2006, p. 7).

Após os estudos evolutivos do campo da RV, Tori e Kirner (2006) apontam novos conceitos oriundos da aplicabilidade em contextos híbridos entre a realidade e a virtualidade, conhecidos como Realidade Misturada (RM).

A RM pode ser definida como a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais gerados por computador com o ambiente físico, mostrado ao usuário, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real (TORI e KIRNER, 2006, p. 23).

É fácil compreender esse conceito quando se imagina que, ao misturar cenas reais com virtuais, a RM avança além de perspectivas possíveis em um contexto computacional, de forma a levar as informações sintetizadas digitalmente para o mundo do usuário real. A RM permite concretizar o imaginário, reproduzir o real e ampliar as informações das dimensões reais e/ou virtuais em um intervalo contínuo.

Tori e Kirner (2006) excedem essas definições quando afirmam que um ambiente pode ser de RA ou Virtualidade Aumentada (VA). A RA acontece quando “os objetos virtuais são colocados dentro do mundo real”. A VA acontece quando “elementos reais são inseridos no mundo virtual” (TORI e KIRNER, 2006, p. 24).

1.2 EDUCAÇÃO E TREINAMENTO

Grande parte da literatura encontrada sobre treinamento tem sua origem em abordagens desenvolvidas para o campo da aprendizagem corporativa. Com o objetivo de contribuir para essas definições, Bomfin (2007) apresentou um estudo sobre paradigmas pedagógicos que orientam abordagens de treinamento nas organizações.

O estudo desenvolvido teve como objetivo investigar as correntes pedagógicas que orientam o profissional de treinamento, bem como as possibilidades e limitações que elas oferecem para a prática profissional de quem atua no âmbito de treinamento empresarial.

O resultado desse estudo evidenciou uma polêmica em torno do conceito sobre terminologias de treinamento e educação em referência às abordagens educacionais que devem ser aplicadas em um ou outro processo de formação. Foram verificados também casos que mostram total independência entre educação e treinamento, quando os processos de treinamento são realizados sem nenhum enfoque pedagógico ou educacional.

A ausência de um enfoque pedagógico é observada quando processos de formação são desenvolvidos por um profissional que possui experiência em uma organização e, no entanto, não se utiliza de uma filosofia de ensino ou de uma determinada concepção educacional.

Na tentativa de precisar os limites entre essas duas áreas, os resultados do estudo de Bomfin (2007) destaca a importância de um enfoque educativo a ser utilizado em programas de treinamento.

A importância de um enfoque educativo no treinamento tem sido a tônica posta por todos que militam na área. Pioneiramente ARDOINO (1971), à época, afirmava que a empresa tem necessidade de homens trabalhando e interagindo, participando, produzindo e assumindo funções com alto grau de competência. Para que se atinja com plenitude essas competências, que, em última análise, implicará qualidade e produtividade, é necessário investir, verdadeiramente, no problema fundamental da educação no ambiente organizacional. (BOMFIN, 2007, p. 6)

Na busca por definições para treinamento, o autor desenvolveu ainda um resgate sobre diversas concepções construídas para a terminologia. Algumas dessas definições são transcritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Conceito sobre treinamento

Autor	Data	Conceito
OATLEY HAMBLIN	in: 1978	Treinamento é qualquer atividade que procura, deliberadamente, melhorar a habilidade de uma pessoa no desempenho de uma tarefa (p. 19)
CHIAVENATO	1985	Treinamento é o processo educacional, aplicado de maneira sistêmica, através do qual as pessoas aprendem conhecimentos, atitudes e habilidades em função de objetivos definidos (p. 288)
MACIAN	1987	Treinamento é, assim, uma forma de educação. Sua característica essencial consiste em educar para o trabalho (p. 9)
BASTOS	1994	A ação educacional na organização deve preocupar-se em integrar, produtivamente, o homem à sociedade, em prepará-lo para o seu desenvolvimento; portanto, é o preparo para a vida e pela vida. Ressalta que o treinamento é a educação que visa a adaptar o homem à determinada atuação sistemática (profissional ou não). Da mesma forma, desenvolvimento seria a educação que visa ampliar e aperfeiçoar o homem para seu crescimento em determinada carreira ou em sua evolução (p. 100)

Fonte: Adaptado de Bomfin (2007, p. 36)

Na Tabela 1 é possível notar algumas características comuns entre as definições de treinamento apresentadas: execução de tarefas; melhoria de habilidade; forma de educação (profissional ou não); e forma de integração do

homem ao trabalho. Apesar do inter-relacionamento de ideias, ainda se observa certa imprecisão conceitual na busca de uma definição única para a terminologia.

De maneira mais abrangente, para estabelecer relações entre treinamento e educação, Pontual (apud Bomfin, 2007, p. 36) apresenta a seguinte definição:

[...] (1) para alguns autores, a educação é geral e o treinamento é específico; (2) há autores que afirmam que a educação se dirige ao homem como um todo, ao passo que o treinamento visa particularmente ao trabalhador; (3) há, ainda, um grupo de autores que afirmam que a educação prepara para a vida, enquanto o treinamento prepara para o trabalho.

Considerando a necessidade de utilização da terminologia de forma adequada ao campo da aquisição de HSM, foi possível identificar um único objetivo comum às ações desenvolvidas tanto no campo do treinamento quanto no da educação. Esse objetivo é construído com base na premissa de que, independentemente do campo de atuação (educação ou treinamento) preferência por essa ou aquela filosofia de ensino, o grande propósito dos processos de formação humana tem sua centralidade na aprendizagem humana.

Na senso comum, Coelho e Borges-Andrade (2008) mencionam que os principais usos cotidianos do conceito de aprendizagem remetem à aquisição de algum tipo de conhecimento ou habilidade, por meio de atividades formais de instrução.

Segundo Aulete (2004), Ausubel; Novak e Hanesian (1983), Ferreira (1999) e Salvador (1994), os principais usos do conceito de aprendizagem na linguagem cotidiana referem-se a: (1) ação de reter algo, de fixar algo na memória, qualquer ofício, arte, ciência ou uma profissão (saber como, tornar-se capaz de); (2) ato, processo ou efeito de obter conhecimento por meio de escolarização/estudo, ficar sabendo (de algo com alguma finalidade); (3) aprender algo ou alguma coisa (conhecimento ou habilidade) por meio de escolarização e estudo, instruir-se em e instruir-se para; (4) adquirir de habilidade prática (em aprender um esporte); (5) conhecimento ou habilidade obtidos por meio de treino e/ou estudo, aplicados a principiantes em torno da aquisição de algo; (6) reter algo na memória, esforço deliberado para se obter conhecimento sobre algo e que se relaciona à vontade de aprender; (7) vivência, carga afetiva e de sensibilidade “aprendeu com a vida”. (COELHO e BORGES-ANDRADE, 2008, p. 224)

Essa coleção de definições sobre aprendizagem, no entanto, não supre a lacuna de informação, quando se busca compreender habilidades em duas dimensões: i) habilidades relacionadas a uma concepção geral da aprendizagem (competências necessárias ao desenvolvimento de uma tarefa qualquer, por

exemplo) e ii) habilidades relacionadas especificamente ao desenvolvimento motor humano.

Embora ambas estejam articuladas, a primeira pode estar situada no campo da aprendizagem corporativa. Essa suspeição pode ser exemplificada por meio de um conjunto de competências necessárias para um profissional desenvolver a habilidade de atender um cliente ou desenvolver uma atividade operacional em uma indústria de montagem de automóveis.

Já a segunda tem como foco específico o desenvolvimento de uma habilidade relacionada ao comportamento motor e está relacionada estritamente à execução de movimentos, como a necessidade de se desenvolver a HSM necessária à realização de um procedimento cirúrgico.

Como percebido, não há consenso entre os pesquisadores a respeito das semelhanças e diferenças entre os termos educação e treinamento. No contexto da presente pesquisa, o termo treinamento prevalece, estando relacionado à aquisição de HSM, objeto de discussão da presente investigação.

Diante do esclarecimento prestado, faz-se necessário considerar outros aspectos da aprendizagem que estão relacionados de forma específica ao campo da aquisição de HSM, objeto de discussão das seções 1.3 e 1.4.

1.3 AMBIENTES VIRTUAIS EM CONTEXTOS EDUCACIONAIS E DE TREINAMENTO

O conhecimento intuitivo dos usuários utilizado em experiências virtuais tornou possível a aplicação de RV no campo educacional, que, na prática, significa gerar oportunidades para melhorar a compreensão dos aprendizes sobre seus objetos de estudo. Atentando para a característica da interação promovida por ambientes virtuais, convém lembrar

Que um grande benefício oferecido por esta interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser utilizado para manipular o ambiente virtual, possibilitando ao usuário a manipulação de informações através de experiência próximas do real (CARDOSO e LAMOUNIER JR., 2009, p. 54).

Tomando a necessidade de melhorar o entendimento sobre a utilização de técnicas de RV na área educacional, foram adaptadas, na Tabela 2, as contribuições de Cardoso e Lamounier Jr. (2009, p.55), com o objetivo de analisar

algumas vantagens do ponto de vista de aprendizes que se utilizam dessas tecnologias e dos respectivos métodos empregados.

Tabela 2 – Vantagens de utilização de técnicas de RV para a área educacional

Aspecto	Vantagem
Aprendizes	<p>Permitem a motivação dos estudantes e usuários de forma geral, baseada na experiência de 1ª pessoa vivenciada por eles.</p> <p>Como requerem interação, exigem que cada participante se torne ativo dentro de um processo de visualização.</p> <p>Permitem ao aprendiz refazer experimentos de forma atemporal, fora do âmbito de uma aula clássica.</p> <p>Proveem igual oportunidade de comunicação para estudantes de culturas diferentes, com base em representações.</p>
Metodologia	<p>Possuem grande poderio de ilustrar características e processos, em relação a outros meios multimídia.</p> <p>Permitem visualizações de detalhes dos objetos.</p> <p>Permitem suporte a visualizações de objetos que estão a grandes distâncias, como um planeta ou um satélite.</p> <p>Encorajam a criatividade, catalisando a experimentação.</p> <p>Permitem experimentos virtuais, na falta de recursos, ou para fins de educação virtual interativa.</p> <p>Ensinam habilidades computacionais e de domínios de periféricos.</p>

Fonte: Pré-simpósio em Realidade Virtual e Aumentada (2009), com base em Foglerl (1995), Pinho (2000) e Meiguins (*apud* CARDOSO e LAMOUNIER JR., 2009, p. 55) adaptado pelo autor.

O caráter vantajoso de uso das técnicas de RV/RA no campo educacional (vide Tabela 2) revela a importância de discussão de novos paradigmas, por exemplo, os que necessitam de avaliação de HSM.

Dentre as definições para ambientes virtuais aplicados a contextos educacionais encontradas na literatura, destacam-se três: Sistemas de Gerenciamento de Cursos (*Course Management Systems* - CMS), Ambientes Virtuais de Aprendizagem (*Virtual Learning Environments* - VLE) ou Sistemas de Gerenciamento de Aprendizagem (*Learning Management Systems* - LMS).

Klesath, Folta e Anetta (2010) definem de forma mais genérica CMS ou LMS como programas ou sistemas destinados a auxiliar a aprendizagem com configurações educacionais.

No que diz respeito à aplicação dos conceitos de AVA ou LMS, Filatro (2008, p. 119) esclarece que ambos podem ser usados “de forma intercambiável para designar sistemas de aprendizagem eletrônica (AE), que reúnem uma série de recursos e funcionalidades possibilitadas e potencializadas pela internet”.

Considerando a fundamentação apresentada e a própria natureza do trabalho em pauta, faz-se necessário destacar que esses ambientes podem ser

bidimensionais ou tridimensionais, especialmente quando consideram as possibilidades legadas do campo da RV.

Outro fator que merece destaque nesse contexto é a possibilidade de utilização de ambientes virtuais em formatos tridimensionais, bem como as possibilidades de interação implícitas em tecnologias de RV, especialmente aquelas aplicadas ao campo da simulação.

A exemplo disso, Tori, Palaiologou e Alifragis (2006) afirmam que há situações em que os ambientes de RV são utilizados para avaliar alguma simulação física, na qual a precisão do comportamento físico é mais importante do que a fidelidade visual, citando como exemplo as reações químicas, que podem usar representações de moléculas baseadas em esferas coloridas.

Não obstante as concepções de ambientes virtuais estarem relacionadas de forma mais abrangente ao campo da aprendizagem, é imprescindível analisar a contribuição desses ambientes para contextos específicos de treinamento.

Nesse sentido, Hounsell (2008) identifica e diferencia tendências características de Ambientes Virtuais Educacionais 3D (AVEd) e de Treinamento (AVTr). As características comuns entre AVEd e AVTr são definidas com base na compreensão do que se espera desses ambientes no campo educacional ou de treinamento. Em defesa de aspectos voltados ao treinamento, o autor argumenta que:

Quanto aos aspectos voltados ao treinamento, estes devem propiciar um aprender específico com tempo determinado, que busca a obtenção de habilidades inatas para a execução de tarefas bem delimitadas em um ambiente. Devem trabalhar os aspectos da memória e sequência de objetos sendo manipulados, quando identificados e selecionados devem então ser tratados com forma a serem posicionados correta e sequencialmente. (HOUNSELL, 2008, 642)

Analisando características de ambientes com propósitos educacionais (AVEd), lê-se em Hounsell (2008, p. 642):

Espera-se que ambientes voltados à educação possibilitem o aprender a aprender, onde o aprendiz possa analisar e refletir sobre o foco de estudos, e tudo que este engloba. Identifica-se nesses ambientes que os elementos menos importantes seriam os relativos ao tempo de execução dos processos e reflexo (ação motora).

Como características distintivas de AVEds e AVTrs, pode-se apontar as tendências que permitem classificar esses ambientes em contextos de treinamento ou educacional. Esse trabalho pode ser observado em detalhes em uma análise

sobre categorias, características e tendências encontradas em AVEds e AVTrs publicada em (HOUNSELL, 2008, p. 644).

Para análise de categorias de características, o autor sugere que sejam considerados fatores como: i) conteúdos (foco, forma e conhecimento); ii) modelo pedagógico (objetivo, aprendizagem e procedimento); iii) modelo de comunicação (*feedback*, colaboração, navegação, comportamento, grafismo, percepção, cadência e dificuldade); e iv) fatores de avaliação (estratégia e resultado).

1.4 HABILIDADES SENSORIO-MOTORAS

Segundo Magill (2000), o conceito de habilidades motoras “compreende tarefas com finalidades específicas a serem atingidas” e relaciona-se a aspectos de movimento, podendo subdividir-se em habilidades grossas ou finas.

Póvoas e Rodrigues (2007, p. 3) definem as habilidades motoras grossas embasados no pressuposto de que “[...] utilizam os grandes grupos musculares do corpo para produzir uma ação. Fazem parte dessas habilidades as atividades como pular e caminhar, nas quais a precisão de refinamento dos movimentos é menor”, enquanto que as habilidades finas são caracterizadas pelos movimentos de músculos pequenos.

Quanto à habilidade sensorial, Go Tani et al. (2004) destacam sua importância na execução de movimentos, uma vez que ela é considerada como parâmetro referencial para a memória humana em processos contínuos e sequenciados de ações.

No entanto, considerando a área de estudos que se pretende desenvolver, é necessário atribuir importância a fatores de percepção humana, tendo em vista que alguns autores de áreas de estudo de comportamento motor destacam a necessidade de articulação entre a percepção humana e o desenvolvimento de habilidades motoras para a realização de tarefas com melhor desempenho e qualidade.

Barella (1999) afirma a ideia de que a aquisição de habilidades é construída com base em um binômio envolvendo percepção e ação.

Nesse sentido, justifica-se a utilização do binômio sensório-motor, pela necessidade de uma terminologia que considere, além de fatores de desenvoltura de habilidades motoras, os aspectos de percepção sensorial muito comum na área de

RV, especialmente quando se estudam aspectos de interação, incluindo, por exemplo, a percepção visual, sonora e tátil.

1.4.1 Avaliação da aquisição de HSM

Visando a chegar a uma definição sobre avaliação, diversos pesquisadores optaram por externar seus conceitos: compreendendo avaliação como uma estratégia para verificação de resultados em processos de ensino-aprendizagem. (Kraiger, Ford e Salas, 1993) destacam a importância de que “a avaliação seja realizada primeiramente, para determinar se o tempo e os resultados esperados em um treinamento foram atingidos”.

De forma mais abrangente, Maciel e Costa (2008) enfatizam que não é possível entender o que é avaliação sem o desenvolvimento anterior de uma análise do contexto de sua aplicação. Para os autores, é necessário, antes de tudo, definir quais são os propósitos de um processo de avaliação levando em consideração as funções específicas desse processo, principalmente as aplicáveis em contextos diagnósticos, as relacionadas com avaliação formativa e as centradas em resultados (somativas).

O processo de avaliação formativa é defendido por Haydt (2011) e sua função é verificar se os objetivos estabelecidos para a aprendizagem foram atingidos. O seu progresso só pode ser percebido quando comparado com ele mesmo. Na avaliação formativa, o aprendiz pode tomar conhecimento de seus avanços e dificuldades, cabendo ao professor desafiá-lo a superar suas dificuldades, de forma a continuar progredindo na construção dos conhecimentos. É também conhecida como “avaliação aplicada ao processo de ensino-aprendizagem” ou “avaliação no processo”.

Já em relação à função de avaliação diagnóstica, Haydt (2011) afirma que esta auxilia o professor a determinar quais são os conhecimentos e habilidades que devem ser retomados antes de introduzir os novos conteúdos previstos no planejamento.

A próximo processo de avaliação na sequência, é o somativo, cuja função está relacionada mais diretamente à atribuição de uma “nota” ou “conceito” como resultante de um processo de aprendizagem.

Segundo Haydt (2011), este tipo de avaliação supõe uma comparação quando se considera que o aluno é classificado de acordo com o nível de

aproveitamento e rendimento atingido, geralmente, em comparação com os colegas. É uma das funções de avaliação mais utilizadas nos processos educacionais e normalmente reduzida a uma utilização de métricas (conceitos, notas, pontuações diversificadas) para aferir uma medida ao processo de avaliação.

No que se refere à avaliação de habilidades, teóricos como Kraiger, Ford e Salas (1993) afirmam que tradicionalmente o desenvolvimento de habilidades é avaliado por meio de métodos de observação de aprendizes, quanto ao desempenho de determinados papéis em seções de treinamento ou comportamentos notados durante o trabalho.

De outro modo, problemas oriundos de eficácia de treinamento são mais amplos do que questões de avaliação de treinamento no que diz respeito à explicação de motivos ou razões porque determinado treinamento alcançou ou não os resultados pretendidos (Kraiger, Ford e Salas, 1993), o que requer uma análise mais profunda, mesmo após um processo de avaliação.

Em relação a esses conceitos, é interessante ressaltar algumas contribuições de Kraiger, Ford e Salas (1993) sobre avaliação de treinamento. Eles apresentam um esquema 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 nos campos da cognição, habilidades ou afetividade, de forma a projetar ou ilustrar uma perspectiva multidimensional de resultados de processos de aprendizagem, conforme se observa na Figura 2.

Figura 2 - Classificação de um esquema de resultados de aprendizagem

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

A utilização da taxonomia de Kraiger, Ford e Salas (1993) mereceu destaque no presente trabalho quando se verificou que esses autores apresentam um debate que situa o campo de avaliação nas dimensões cognitivas, afetivas e de habilidades.

Essa classificação permite que o conceito de aprendizagem seja articulado com as seguintes dimensões: i) resultados cognitivos; ii) resultados com base nas habilidades e iii) resultados afetivos (KRAIGER; FORD; SALAS, 1993, p. 312, tradução nossa).

Os resultados cognitivos são apresentados por Kraiger, Ford e Salas, (1993, p. 313, tradução nossa) 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”.

Esses autores destacam que um processo de avaliação de resultados cognitivos deverá revelar não apenas os estados estáticos do conhecimento, mas também a dinâmica dos processos de aquisição, bem como sua organização e aplicação.

Observa-se também que tradicionalmente a aquisição de conhecimento em um domínio de formação tem sido avaliada pela aplicação de questões mistas (aberta, múltipla escolha, verdadeiro ou falso) ou por meio de testes aplicados ao final de um determinado processo de treinamento.

Kraiger, Ford e Salas, (1993) alertam, no entanto, que as pesquisas na área de Psicologia revelam uma natureza complexa e dinâmica na aquisição de conhecimentos, e que estes, por sua vez, devem ser submetidos a estudos que considerem aspectos de uma abordagem multidimensional de aprendizagem, inclusive. Destacam ainda os autores que um processo de avaliação, na perspectiva de avaliação cognitiva, deve considerar a existência de construtos de grande relevância para a aprendizagem, como os conhecimentos verbal e organizacional e as estratégias cognitivas utilizadas.

A dimensão de resultados com base em habilidades é proposta com o objetivo de verificar se determinados aprendizes alcançaram certos resultados no processo de aquisição de habilidades. No entanto, tendo em vista esta ser a dimensão de maior impacto no trabalho em questão, a próxima seção a apresenta com mais profundidade.

Os resultados afetivos 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.

1.4.2 Fases de um processo de aquisição de habilidades

Para compreensão de um processo de aquisição de habilidades, é necessário notar a existência de diferentes estágios de aprendizagem, nos quais os indivíduos se iniciam de forma procedimental e se integram em determinado momento (compilação), até atingir o seu nível de automaticidade (KRAIGER; FORD; SALAS, 1993).

Nesse sentido, autores como Kraiger, Ford e Salas (1993) apresentam uma perspectiva evolutiva de aprendizagem composta de três estágios: i) aquisição de habilidades iniciais; ii) compilação ou elaboração de habilidades; e iii) automaticidade de habilidades.

De acordo com Kraiger, Ford e Salas (1993), a aquisição de habilidades envolve um processo de aprendizagem, que é inicialmente declarativo e posteriormente procedural, quando transita para um contexto de conhecimentos reproduzidos com base em um comportamento treinado.

O processo de compilação de habilidades é definido por Kraiger, Ford e Salas (1993) como aquele que acontece com a continuidade da prática, sem desconsiderar o sucesso inicial e a reprodução do comportamento treinado.

De acordo com Kraiger, Ford e Salas (1993), a compilação é resultante de dois processos inter-relacionados: procedimentalização e composição.

Entende-se por procedimentalização o desenvolvimento parcial de uma habilidade, considerando que normalmente nesse estágio os problemas e habilidades são adquiridos de forma parcial. Durante o processo de procedimentalização, as habilidades desenvolvem-se em menor grau e os comportamentos são discretos em uma produção de domínio específico ou rotina.

Já na etapa de composição, o aprendiz normalmente mentaliza agrupamentos de passos ligados a sucessivos procedimentos (previamente aprendidos) em uma produção mais complexa.

Por fim, o processo de automaticidade no desenvolvimento de habilidades permitirá que os indivíduos não apenas executem tarefas rapidamente, mas sejam

capazes de manter o processamento paralelo, em vez de sucessivos processamentos de atividades (KRAIGER; FORD; SALAS, 1993).

Assim, os aprendizes terão maior autonomia para escolher entre diferentes habilidades e estratégias desenvolvidas, tanto no sentido de reproduzir determinados comportamentos treinados como também no sentido de adaptar essas habilidades adquiridas para novas situações.

É necessário também destacar que uma das estratégias mais utilizadas por pesquisadores para avaliar a aquisição de habilidades tem como foco a avaliação por meio de processos de observação comportamental.

Há controvérsias sobre a eficácia dessa metodologia, principalmente quando a observação não é considerada como uma ferramenta de avaliação desenvolvida em consonância com os objetivos do processo de treinamento (KRAIGER; FORD; SALAS, 1993).

Além da observação comportamental, Kraiger, Ford e Salas (1993) mencionam a possibilidade de outras técnicas, utilizando roteiros de entrevistas situacionais, no momento em que os aprendizes descrevem o percurso desenvolvido para realização de determinadas atividades.

Dessa forma, torna-se possível deduzir que a fundamentação de estágios para o desenvolvimento de HSM exerce grande importância para a discussão de uma possível metodologia de avaliação.

No entanto, além das fases de aquisição de habilidades, os estudos de RS contribuíram verificar a necessidade de discutir HSM considerando parâmetros que permitem avaliar o desempenho motor humano.

Com isso, de forma pontual, a próxima seção terá como objetivo conhecer aspectos relacionados à avaliação de HSM envolvendo um debate sobre a aprendizagem e o desempenho motor humano.

1.4.3 Aprendizagem e desempenho motor

Segundo Schmidt e Wrisberg (2010), a aprendizagem relacionada às habilidades motoras pode ser avaliada sob duas perspectivas: i) quanto ao aspecto de realização de uma tarefa e ii) quanto aos fatores de proficiência na execução de movimentos.

Considerando a perspectiva de realização de tarefas, é necessário considerar que essas são desempenhadas de diferentes formas e/ou são aprendidas com princípios e métodos diferentes.

Schmidt e Wrisberg (2010) mencionam três características que os cientistas do movimento têm utilizado para definir habilidades: i) a forma como uma tarefa é organizada; ii) a importância relativa dos elementos motores e cognitivos; e iii) o nível de previsibilidade do ambiente durante o desempenho.

Ao analisar a forma como uma tarefa é organizada, há uma subdivisão em três dimensões: discreta, seriada e contínua. As habilidades ou tarefas discretas são definidas por Schmidt e Wrisberg (2010, p. 28) como “uma habilidade ou tarefa que é organizada de maneira em que a ação é normalmente breve em duração e tem início e fim bem definidos”.

Já a dimensão seriada pode ser definida como “um tipo de organização da habilidade caracterizado por várias ações discretas conectadas em uma sequência, sendo, frequentemente, a ordem das ações crucial para o sucesso do desempenho” (SCHMIDT e WRISBERG, 2010, p. 28).

As tarefas, em uma dimensão de habilidades contínuas, podem ser compreendidas como “uma habilidade organizada de maneira que a ação se desdobra em um início e um fim identificáveis de forma contínua e repetitiva” (SCHMIDT e WRISBERG, 2010, p. 28).

Com o objetivo de ilustrar esses conceitos, a Tabela 3 apresenta exemplos que envolvem as dimensões discreta, seriada e contínua na perspectiva de organização de uma tarefa ou habilidade.

Tabela 3 - Dimensões discreta e contínua da habilidade

	Habilidades discretas	Habilidades seriadas	Habilidades contínuas
Características:	Início e fim distintos	Ações discretas conectadas	Início e fim não distintos
Exemplos:	Arremessar um dado Estalar os dedos Levantar-se da posição	Martelar um prego Enfaixar o tornozelo Escovar os dentes	Pular corda Remar Andar de <i>rollerskate</i>

Fonte: Schmidt e Wrisberg (2010, p. 28)

Além das dimensões tabuladas, convém mencionar a importância relativa aos elementos motores e cognitivos na definição de uma tarefa. Para Schmidt e Wrisberg (2010, p. 29),

uma habilidade cognitiva enfatiza, principalmente, o saber o que fazer, enquanto que uma habilidade motora enfatiza, principalmente, o fazer efetivamente. Observe que introduzimos a palavra “principalmente” na frase anterior. Fizemos isso porque habilidades puramente motoras e puramente cognitivas estão, na realidade, em um contínuo, com a maioria das habilidades localizadas em algum lugar entre esses extremos.

Ainda na dimensão de organização de tarefas, Schmidt e Wrisberg (2010, p. 29) argumentam que uma forma mais efetiva de definir as habilidades com o sistema motor/cognitivo pode ser feita levando-se em consideração o “[...] grau com que os elementos cognitivos (i.e., saber o que fazer) e os elementos motores (i.e., saber como fazer isso) contribuem para a busca dos objetivos”.

Esse contínuo pode ser visualizado na Tabela 4 que descreve características e exemplos das dimensões motoras e cognitivas de habilidade.

Tabela 4 - Dimensões motora e cognitiva de habilidade

	Habilidades motoras	←————→	Habilidades Cognitivas
Características	Tomada de decisão minimizada	Alguma tomada de decisão	Tomada de decisão maximizada
	Controle motor maximizado	Algum controle motor	Controle motor minimizado
Exemplos:	Salto em altura	Jogar de quarto-zagueiro no futebol americano	Jogar pôquer
	Levantamento de peso	Dirigir um carro de corrida	Cozinhar uma refeição
	Trocar um pneu	Caminhar em um terminal movimentado de um aeroporto	Treinar uma equipa esportiva

Fonte: Schmidt e Wrisberg (2010, p. 30)

Quanto ao ambiente de execução de uma tarefa, Schmidt e Wrisberg (2010, p. 29) também questionam até que ponto há estabilidade e previsibilidade na realização de uma tarefa. Habilidades realizadas em um ambiente variável e imprevisível são definidas como habilidades abertas, enquanto que as realizadas em ambiente estável e previsível são definidas como habilidades fechadas, conforme exemplos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões aberta e fechada de habilidade

	Habilidades fechadas		Habilidades abertas
Características:	Ambiente previsível	Ambiente semiprevisível	Ambiente imprevisível
Exemplos:	Fazer ginástica Digitar Cortar vegetais	Caminhar na corda bamba Dirigir um automóvel Atravessar uma rua	Jogar futebol Praticar luta greco-romana Caçar uma borboleta

Fonte: Schmidt e Wrisberg (2010, p. 30)

Para fatores de proficiência na execução de movimentos, faz-se necessário apresentar características do desempenho habilidoso e, para isso, os cientistas do movimento apresentam um debate sobre execuções habilidosas e não habilidosas.

Apesar de existirem diferentes formas de caracterizar tarefas habilidosas, Schmidt e Wrisberg (2010, p. 33) afirmam que “a melhor forma de os professores avaliarem a aprendizagem motora é observando o desempenho motor e percebendo as mudanças que ocorrem sistematicamente com a prática educacional”.

Com o objetivo de apresentar uma definição para desempenho motor, Schmidt e Wrisberg (2010, p. 31) a relacionam com a capacidade que um indivíduo possui para atingir um resultado final com o máximo de certeza e um mínimo dispêndio de energia ou tempo. Quando se trata de avaliar a execução de um desempenho habilidoso, admitem ser necessário partir de uma meta ambiental.

Uma meta ambiental pode ser definida consoante critérios de avaliação de HSM, que podem ser originados tanto em metas pessoais de executantes de uma tarefa, como em metas relativas a objetivos de programas educacionais ou de treinamento.

Segundo esses autores, se não há meta ambiental não há como definir execuções habilidosas, ou seja, “os movimentos que não têm meta ambiental específica, tal como batucar com os dedos sem tentar qualquer ritmo, não são considerados habilidosos nesse sistema” (SCHMIDT e WRISBERG, 2010, p. 31).

Em uma abordagem de aprendizagem motora baseada na situação (ou no contexto), é oportuno ressaltar que, para formular metas ambientais corretas, é preciso relacioná-las a questões importantes que são consideradas em um contexto de avaliação de HSM.

Nesse sentido, Schmidt e Wrisberg (2010) definem que os profissionais do movimento devem considerar, antes de tudo, características básicas para oferecer qualquer auxílio de instrução: a pessoa, a tarefa e o ambiente.

As características relacionadas à pessoa estão ligadas às capacidades que cada indivíduo possui, como “[...] um nível maturacional específico, experiências prévias de movimento, um *background* sociocultural, um nível de motivação, um perfil emocional e, em alguns casos, uma condição de deficiência que são únicos” (SCHMIDT e WRISBERG, 2010, p. 38).

Além disso, do ponto de vista ambiental, há uma preocupação dos cientistas do movimento quanto ao desempenho diversificado, que ocorre em decorrência da influência do ambiente de execução de um movimento, ou seja, “[...] a ênfase colocada na prática do movimento desejado em um ambiente que seja semelhante àquele em que a pessoa necessitará finalmente ser capaz de executar a tarefa” (SCHMIDT e WRISBERG, 2010, p. 38).

Quanto à definição de tarefa, Schmidt e Wrisberg (2010) assinalam que uma forma útil para iniciar essa discussão é relacionando-a a uma das definições sobre formas de organização apresentadas anteriormente, ou seja, em contextos de habilidades fechadas, discretas, abertas, seriadas ou dentro de uma relação estabelecida no espaço contínuo motor-cognitivo.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados neste capítulo definições conceituais sobre RV em ambientes educacionais e de treinamento e concepções sobre a avaliação da aquisição de HSM. Diante dos conceitos mencionados, foi possível assumir um posicionamento sobre os conceitos que serão adotados para orientar a presente investigação.

O debate sobre Realidade Virtual iniciado no capítulo introdutório permitiu verificar a existência de um espaço contínuo, cujas definições transitam entre o campo da realidade e da virtualidade (Figura 1). Considerando os objetivos da investigação, o escopo do método proposto, em sentido amplo, situa-se em torno de tecnologias utilizadas no campo de Realidade Virtual e, de forma específica, naquelas implementadas em Ambientes Virtuais Interativos 3D.

Com o objetivo de compreender o campo de educação e treinamento, foi realizado um debate sobre essas duas concepções na Seção 1.2. Na oportunidade

foi possível não só verificar que as discussões sobre treinamento tem origem no campo da educação corporativa, como identificar uma polêmica conceitual quando se busca definir com precisão o que é treinamento e o que é educação.

Para a compreensão do campo de HSM, na Seção 1.4 foi tratada a compreensão das diferentes dimensões que envolvem a aquisição ou a aprendizagem de habilidades e de forma pontual, a presente investigação terá abrangência restrita a avaliação de resultados das habilidades adquiridas em ambientes de treinamento que envolve a realização de tarefas virtuais.

Ao final, foram abordados aspectos relacionados à aprendizagem e ao desempenho motor que permitem centrar o método de avaliação na realização de tarefas virtuais que, observadas em sua essência, são executadas de forma seriada em ambientes previsíveis de treinamento.

Com esses conceitos, torna-se possível compreender os principais fundamentos da área a ser investigada e os pressupostos que contribuem para a delimitação do escopo de investigação que serão aprofundados por meio da condução de dois processos de Revisão Sistemática do Capítulo 2 e na Seção de Metodologia do Projeto do Capítulo 3.

2 MÉTODOS E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HABILIDADES SENSORIO-MOTORAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após a realização de estudos exploratórios, foi necessário identificar e analisar métodos e parâmetros de avaliação da aquisição de HSM utilizados em contextos de ambientes de treinamento reais e virtuais. Para atingir esse objetivo, foram realizados dois estudos de Revisão Sistemática (RS) envolvendo a análise de 351 trabalhos relativos ao período de 2005 a 2012.

De acordo com Kitchenham (2004), uma revisão sistemática de literatura é uma forma de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse.

Para realizar a primeira condução de RS, formulou-se inicialmente um protocolo (Apêndice A), no qual se delineou os objetivos, questões da pesquisa e fontes de buscas no banco de teses e portal de periódicos da CAPES (*IEEE journals*, *IEEE conferences*, *ACM journals*, *ACM conferences*, Springer, biblioteca digital da Sociedade Brasileira de Computação, referências acadêmicas presentes no *Google Scholar* e biblioteca de teses da USP). Como resultado da primeira condução de RS, oito, de um universo de 206 trabalhos, foram escolhidos tomando como base critérios de inclusão predefinidos no protocolo de RS.

Do mesmo modo, para o planejamento e condução da segunda RS, formulou-se um protocolo (Apêndice B) no qual foram delineados os objetivos, questões da pesquisa e fontes de buscas no Portal de Periódicos da CAPES (*IEEE journals*, *IEEE conferences*, *ACM journals*, *ACM conferences*, *Web of knowledge*, SCOPUS, referências acadêmicas presentes no *Google Scholar* e biblioteca de teses da Universidade de São Paulo). Como resultado da segunda condução foram selecionados quatorze, de um universo de 145 trabalhos, sob o enfoque dos critérios de inclusão definidos no protocolo de RS. O resumo dos 22 trabalhos selecionados nos dois processos de RS pode ser observado na Tabela 6.

Mais detalhes sobre o assunto poderão ser obtidos no endereço http://www.pcs.usp.br/~interlab/formulario_conducao_rs_alexandre_anjos.zip.

Tabela 6 – Trabalhos selecionados nos dois processos de RS

(Continua)

Referência	Objetivo
1- Panait et al. (2009)	Avaliar tarefas realizadas em simuladores de RV que seguem um padrão de práticas para cirurgias laparoscópicas utilizando dispositivos com e sem retroalimentação de força.
2- Van der Meijden e Schijven (2009)	Realizar estudo de RS sobre dispositivos táteis com e sem retroalimentação de força.
3- Madan e Frantzides (2007)	Realizar estudo de métodos de treinamento de laparoscopia nas seguintes dimensões de treinamento: i) realidade Virtual; ii) treinamento em <i>box</i> Inanimado; iii) combinação dos dois métodos “i” e “ii” e iv) nenhum treinamento (informação de controle).
4- Tzafestas, Palaiologou e Alifragis (2006).	Avaliar resultados de aprendizagem em: i) cenários de educação a distância; ii) simulação por meio de manipulação robótica e iii) experiências que acontecem em ambientes reais.
5- Dawei, Asim e Saeid (2009)	Desenvolver método para avaliar a eficácia de um ambiente virtual para o treinamento de uma tarefa ou procedimento.
6- Chowriappa et al. (2009)	Identificar padrões ou atributos centrais que caracterizam a escrita de indivíduos e especialistas.
7- Watanabe e Katsura (2010)	Desenvolver método para avaliar o movimento humano, comparando padrões de escrita chinesa usando a teoria dos grafos.
8- Kolesnikov et al. (2009)	Desenvolver método de treinamento de HSM desenvolvido com base em simulação tátil para auxiliar em processos de aquisição de HSM em odontologia.
9- Raphael et al. (2009)	Caracterizar o perfil psicofisiológico de especialistas, de modo a retroalimentar este estado em aprendizes novatos.
10- Chalmers et al. (2009)	Desenvolver o isolamento de características descritivas de uma sessão experimental de dados, objetivando distinguir sujeitos com Acidente Vascular Cerebral (AVC) de indivíduos sob controle, além de produzir uma métrica precisa para avaliar HSM.
11- King et al. (2009)	Investigar a utilização de uma luva de sensores sem fio em um processo de avaliação contínuo não intrusivo de movimentos da mão cirúrgica em que determinados índices de desempenho e destreza manual podem ser derivados em tarefas de dissecação laparoscópica.
12- Vuillermot et al. (2009)	Realizar estudo experimental utilizando teste computadorizado de desenho expandido (<i>Extended Drawing Test - EDT</i>), usado para acelerar o tratamento de AVC, e análise de desempenho com base na medida de avaliação das funções do braço e da mão.
13- Tanaka et al. (2008)	Realizar estudo experimental em um modelo robótico utilizado em jogo de tênis virtual, que se baseia em um método para avaliar HSM.
14- Yoshikawao, Koeda e Sugihashi (2007)	Desenvolver um método para avaliar quantitativamente o grau de destreza manual de uma pessoa utilizando-se de tecnologias de realidade virtual háptica
15- Stefanidis et al. (2007)	Avaliar se uma tarefa visual espacial, que mede a capacidade de atenção de um indivíduo, seria distinguível entre sujeitos com diferentes níveis de especialização em um sistema de laparoscopia, considerando a teoria da automaticidade durante o processo de aquisição de habilidades.

Tabela 6 – Trabalhos selecionados nos dois processos de RS (Conclusão)

Referência	Objetivo
16- Solis et al. (2009)	Desenvolver um robô paciente constituído de sensores e atuadores, com base em um modelo convencional humano para a realização de treinamento de suturas por meio de simulação física e mediada por computadores, capturando e processando métodos de avaliação quantitativa.
17- Baldas et al. (2010)	Desenvolver um sistema computacional automatizado – SUITS (<i>Surrey University Instrument Tracking Shystem</i>) – que analise vídeos de cirurgias de catarata, a fim de rastrear a posição do instrumento cirúrgico durante a cirurgia.
18- Chen et al. (2010)	Desenvolver um método de análise de desempenho cinemático de membros superiores de um indivíduo, a fim de avaliar quantitativamente a distribuição da destreza e de analisar qualitativamente a capacidade de movimento.
19- Colombo et al. (2008)	Desenvolver um método para qualificar e quantificar diferentes componentes de recuperação motora em um grupo de pacientes com acidente vascular cerebral tratado por técnicas auxiliadas por robô.
20- Choi, Soo e Chung (2009)	Desenvolver um simulador de cirurgia de catarata de baixo custo para aprendizes que praticam procedimentos de facoemulsificação em modelos gerados por computador em ambientes virtuais.
21- Stylopoulos e Vosburgh (2007)	Análise da posição e movimento de instrumentos cirúrgicos em um sistema de avaliação com a finalidade de testar um conjunto de métricas para medir o desempenho em procedimentos em laparoscopia e endoscopia.
22- Rissanen et al. (2006)	Apresentar um <i>framework</i> para autoaprendizagem de habilidades cirúrgicas no campo de cirurgias laparoscópicas com base em anotação de procedimentos em simulação cirúrgica.

Fonte: Autor

2.2 ANÁLISE GLOAL DOS TRABALHOS

2.2.1 Categorias de abordagens de avaliação da aquisição de HSM

As abordagens de avaliação foram agrupadas considerando critérios de similaridade de métodos de avaliação, conforme apresentado na Tabela 7.

As abordagens utilizadas no campo da cinemática ou robótica são compreendidas, para efeito deste trabalho, como métodos para avaliação de habilidades que se ocupam da análise e descrição de movimentos dos corpos.

Quanto ao campo da estatística, consideram-se como abordagens os métodos de avaliação que se utilizam ou de teorias probabilísticas para explicar a frequência de ocorrência de eventos, ou de teorias aplicadas a estudo de dados,

incluindo procedimentos de coleta, organização, análise e aspectos de apresentação.

Tabela 7 – Abordagens de avaliação

Abordagens de avaliação	Trabalhos relacionados
Cinemática	(CHEN et al., 2010), (TANAKA et al., 2008), (COLOMBO et al., 2008), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007).
Estatística	(CHALMERS et al., 2009), (KING et al., 2009), (VUILLERMOT et al., 2009), (YOSHIKAWAO; KOEDA; SUGIHASHI et al., 2007), (CHOI; SOO; CHUNG, 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007), (CHOWRIAPPA et al., 2009), (SOLIS et al., 2009).
Matemática	(STEFANIDIS et al., 2007), (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (PANAIT et al., 2009), (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (WATANABE; KATSURA, 2010), (KOLESNIKOV et al., 2009), (SOLIS, J. et al., 2009).
Computacional	(CHALMERS et al., 2009), (RISSANEN et al., 2006) (BALDAS et al., 2010).
Outras áreas	(RAPHAEL et al., 2009), (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009).
Não apresenta	(VAN DER MEIJDEN; SCHIJVEN, 2009).

Fonte: Autor

Abordagens do campo da matemática são consideradas métodos de avaliação que aplicam o raciocínio lógico ou matemático à solução de problemas.

No campo computacional, são considerados como abordagens os métodos de avaliação que aplicam recursos computacionais para apoio à solução de problemas que envolvem diversas áreas do conhecimento humano, tais como métodos ligados a inteligência artificial ou aprendizado de máquina.

Métodos de avaliação não enquadrados anteriormente foram considerados na categoria de outras abordagens. Essa categoria se justifica pela dificuldade na classificação do método encontrado como componente de uma única abordagem, podendo a mesma fazer parte de mais que uma categoria de agrupamento.

Ao final, o trabalho que não apresentou de forma específica um método ou abordagem de avaliação, mas de algum modo contribuiu para a presente investigação, também foi referenciado na Tabela 7.

Durante a análise dos trabalhos encontrados, verificou-se a necessidade de discernir métodos em duas dimensões: como núcleo constituinte da própria

técnica de avaliação de HSM e como indutor de análise ou discussão de resultados em experimentos ou trabalhos de investigação.

Diante dessas dimensões, foi considerado como critério para agrupamento de abordagens o método que integra ou faz parte de um núcleo central do processo de avaliação, tal qual o que é utilizado para o processamento automatizado de métricas geradas com base em determinados parâmetros ou o que é capaz de gerar uma única métrica que indica um resultado de avaliação.

Para efeito do presente trabalho, a compreensão de métricas está relacionada a valores atribuídos a parâmetros de avaliação. Os parâmetros serão compreendidos como um ou mais campos que compõem uma estrutura de dados e servem como repositório para informações.

Na Figura 3 são projetadas informações, que tomam como base o agrupamento apresentado na Tabela 7. Observa-se como resultado a predominância de métodos no campo da estatística (32%), matemática (28%), cinemática (16%), computacional (12%), outras áreas (8%) e um trabalho (4%) que, embora não tenha apresentado métodos de forma específica, é considerado por apresentar contribuição relevante em um estudo de RS.

Figura 3 – Abordagens de avaliação encontradas

Fonte: Autor

Para melhorar a organização do processo de estudos e facilitar a compreensão de fatores que contribuíram para a criação do método de avaliação da aquisição de HSM proposto nesta tese, nas próximas seções são apresentados os resultados dos processos de RS norteados por trabalhos agrupados em diferentes abordagens de avaliação.

2.2.1.1 Abordagens de avaliação encontradas no campo da cinemática

Justificando as abordagens de avaliação que possuem foco central no campo da cinemática e robótica, Chen et al. (2010) desenvolveram um experimento para avaliar quantitativamente a distribuição da destreza e analisar qualitativamente a capacidade de movimento dos membros superiores em posturas diferentes adotadas durante atividades da vida diária de indivíduos saudáveis.

Para isso, o experimento contou com a projeção de medidas de destreza (*Dexterity Measure* – DM) e de Elipsoide de Manipulabilidade (*Manipulability Ellipsoid* – ME), obtidas com a captura de dados com marcadores – tecnologia VICON (*Oxford Metrics Ltd.*, UK) –, operação seguida do processamento da relação cinemática dos membros superiores em forma de índices de desempenho gerados em matriz jacobiana de um modelo cinemático.

Com destaque especial para os parâmetros utilizados na relação cinemática, os autores fizeram a captura de dados na região do tórax, clavícula, escápula, úmero e antebraço com o objetivo de processar parâmetros como a suavidade, aceleração, desaceleração, tempo e postura de movimentos humanos.

Respaldados em critérios de desempenho estabelecidos, os resultados do experimento proposto mostram que a capacidade de movimento dos membros das extremidades superiores pode ser quantitativa e qualitativamente analisada.

Ainda como método que se utiliza de técnicas predominantes no campo da cinemática e robótica, para desenvolver um sistema de treinamento de tênis virtual implementado em dispositivos robóticos, Tanaka et al. (2008) apresentam discussões sobre processos de reabilitação dos movimentos do braço e disponibilizam um método de avaliação de habilidades motoras durante a execução de tarefas de reabilitação de movimento dos braços.

Um experimento é desenvolvido a partir da captura de informações durante a realização de uma tarefa virtual em um dispositivo robótico de tênis virtual. Durante o experimento é processado um método de avaliação por meio de um

índice de quantitativo cinemático que possui, como base, parâmetros como a velocidade inicial da bola, posição, ângulo e o centro do alvo no círculo.

A captura de informações no sistema de tênis virtual é orientada pelas coordenadas do sistema robótico, que incluem o controle de impedância (robô de impedância controlada) para proporcionar força virtual para aprendizes.

Como técnica para avaliação de habilidades, o foco do método está centrado em um sistema de pontuação cinemático que utiliza os seguintes parâmetros: trajetória, processamento de parâmetros de suavidade, ângulo, força e velocidade. Para processamento de parâmetros, além de medidas capturadas pelo sistema robótico, os autores destacam a utilização da técnica *Jerk* para cálculo de suavidade com base na trajetória obtida no sistema robótico de tênis virtual.

Colombo et al. (2008) apresentaram um estudo com objetivo de qualificar e quantificar diferentes componentes de recuperação motora em um grupo de pacientes com Acidente Vascular Cerebral (AVC) tratados com técnicas auxiliadas por robô. Para isso, foram capturados dados por meio de um dispositivo de manipulação de cotovelo/ombro (*Elbow-shoulder manipulator*) conhecido como MEMOS (*MEchatronic system for Motor recover after Stroke*), gerando índices que revelam desempenho obtido em um protocolo de treinamento predefinido.

Os autores apresentaram uma contribuição destacada para o presente trabalho quando resgataram fundamentos importantes para contextos de avaliação de HSM na área de aprendizagem e desempenho motor. Para compor índices que avaliam uma sessão de treinamento, são processados parâmetros com base em três técnicas: i) análise de movimentos efetuados de forma autônoma e voluntária pelos participantes; ii) movimentos executados com e sem a ajuda do robô e iii) movimentos totalmente passivos executados pelo robô.

Utilizando-se as três técnicas mencionadas, são calculados valores de parâmetros com base na cinemática robótica referenciados pelos seguintes parâmetros: eficácia do movimento (análise da magnitude de auxílio do robô para apoio em movimentos), precisão (distâncias médias de cada ponto até os pontos de uma trajetória ideal), eficiência (comprimento do caminho), suavidade e velocidade de movimentos (picos de parâmetros obtidos pelo modelo *Jerk*) e controle de força aplicado por meio do dispositivo robótico apresentado.

Tendo em consideração os valores de parâmetros processados por cada técnica, os autores avaliaram as alterações na cinemática de movimentos humanos,

comparando os resultados do treinamento entre os pacientes na fase aguda e crônica de AVC. Para essa análise, utilizou-se o teste *t-student*, que verificou a variância entre os grupos de voluntários que realizaram o experimento.

Stylopoulos e Vosburgh (2007), além da utilização de técnicas oriundas do campo da estatística, apresentaram um sistema de pontuação denominado *Performance Assessment and Scoring System (C-PASS)*, composto de parâmetros de desempenho obtidos da relação cinemática de movimentos humanos, tais como a distribuição espacial de instrumentos, comprimento de caminho, suavidade de movimento (métrica calculada pelo modelo *Jerk*), percepção de profundidade, agarramento, orientação de resposta e ambidestrezza em procedimentos específicos de laparoscopia e endoscopia.

Os parâmetros cinemáticos são referenciados com base na informação tridimensional que considera os eixos x, y, e z como variáveis dependentes da dimensão tempo (*t*) e que permitem desenvolver a abstração cinemática tridimensional de instrumentos cirúrgicos.

Os parâmetros são capturados durante a realização de procedimentos por meio da gravação de vídeos e sensores digitais posicionados em equipamentos específicos para a realização de laparoscopia e endoscopia.

Com as métricas processadas é possível analisar as variações dos parâmetros cinemáticos, como também gerar uma métrica de desempenho que considere as seguintes técnicas estatísticas: distribuições *gaussianas*, desvio padrão e média.

2.2.1.2 Abordagens de avaliação encontradas no campo da estatística

No campo da estatística, Chalmers et al. (2009) criaram um conjunto de classificadores para produção de avaliações com a finalidade de ajudar especialistas no planejamento de processos de reabilitação de pacientes, vítimas de acidente vascular cerebral. O objetivo da investigação tinha como foco central a recombinação de técnicas de avaliação de deficiências sensório-motoras. Para atingir esses objetivos, esses autores usaram um comitê de classificadores em um exoesqueleto robótico – *Kinensiological Instrument for Normal and Altered Reaching Movements (KINARM)*.

O experimento utilizou contribuições do campo da computação e da estatística para solucionar problemas de análise de dados, incluindo o coeficiente de

correlação de *spearman*, testes de *Mann-Whitney-U*, *Mann-Whitney-Wilcoxon* (*MWW*), *Kolmogorov-Smirnov* e análise de desvio padrão para comparação de desempenho de técnicas de classificadores, de redução de dimensionalidade e de normalização de dados.

Os parâmetros utilizados no experimento foram processados pelo exoesqueleto robótico, obtendo-se métricas de avaliação calculadas com base em distâncias percorridas durante a manipulação de uma tarefa específica, tempo, velocidade, força, trajetória e ângulo de trajetória.

Ainda no campo da estatística, King et al. (2009) desenvolveram uma luva de sensores sem fio para avaliação de habilidades cirúrgicas com o uso de técnicas de clusterização e análise de similaridade entre o comportamento de especialistas e novatos. Considerando a dificuldade de prover uma seleção otimizada da posição ideal de sensores de luva, foi desenvolvido um *framework* com base nas contribuições do modelo estatístico *Hidden-Markov-Model* (HMM).

Para contornar a dificuldade, foi apresentada uma técnica que permitia a captura de informações originadas nos movimento das mãos por meio de acelerômetros posicionados em sensores de luva. O objetivo era obter coordenadas de informações tridimensionais nos eixos x, y e z, cujos resultados de avaliação resultassem em índices de destreza manual e desempenho. Como técnica de captura, os autores relataram o desenvolvimento de uma *Wireless Lightweight Sensor Glove* com tecnologia *Body Sensor Network* (BSN) – a *BSN sensor glove* –, conforme ilustrado na Figura 4.

O núcleo central do método de avaliação concebido é observado no estudo da melhor posição de sensores e na utilização de uma matriz de similaridade para cálculos. Essa matriz utiliza-se do modelo estatístico HMM, cujos índices de comparação são processados com o objetivo de analisar semelhanças no comportamento de usuários novatos e especialistas no campo das habilidades cirúrgicas.

Figura 4 – Configuração de sensores na luva BSN

Fonte: King et al. (2009, p. 3, tradução nossa)

Nesse trabalho, os parâmetros foram identificados por meio da análise de gestos capturados por sensores instalados na luva com tecnologia BSN durante a realização de uma tarefa. Em cada instante de tempo, em uma sequência de movimentos, foi gravada a posição de diferentes sensores posicionados na luva.

Para analisar o desempenho de movimentos humanos com base em uma medida de avaliação das funções do braço e da mão, Vuillermont et al. (2009) desenvolveram experimentos que utilizavam teste computadorizado de desenho expandido (*Extended Drawing Test* – EDT) para aceleração do tratamento de pacientes com AVC.

Na análise do teste foram utilizadas técnicas do campo da estatística. Merece citação a principal delas, a desenvolvida para emprego na comparação de desempenho com uso de dados capturados em uma mesa digitalizadora adaptada para três formatos distintos: adaptação de suporte de caneta eletrônica para gráficos com base transparente; adaptação de um porta-caneta para *tablet* gráfico com aderência esférica e adaptação do formato padrão de caneta com aderência dinâmica para o formato de tripé.

Com a adaptação do dispositivo, os autores gravaram o desenho de voluntários em um estudo experimental. A realização dessa atividade permitiu o registro da sequência de pontos e de dois parâmetros adicionais: o tempo gasto para desenhar uma linha e a velocidade de curvatura da linha. O cálculo da curvatura é obtido pelo desvio padrão entre os segmentos da linha e respectivas

médias, que são conseguidas com o uso de medidas de precisão de distâncias ideais e distâncias alcançadas em cada experimento desenvolvido.

Essas medidas permitiram a criação de uma métrica denominada índice global de desempenho. Os dados foram discutidos levando em consideração os resultados coletados e experimentados nos três formatos adaptados do dispositivo. Ao final, utilizando-se os métodos estatísticos, foram geradas comparações entre o desempenho dos usuários.

Para desenvolver um método de avaliação quantitativa que revelasse o grau de destreza manual de uma pessoa com o uso de tecnologias de Realidade Virtual Háptica Yoshikawao, Koeda e Sugihashi, (2007) apresentaram índices quantitativos de lateralidade e destreza de uma pessoa embasados em dados obtidos por meio de um método estatístico que utiliza análise fatorial.

O método estatístico de análise fatorial é testado considerando tarefas que exigem precisão de posicionamento, controle de força e manipulação de habilidades. Após a aplicação do método, três tipos de testes de desempenho são realizados e um julgamento de lateralidade é apresentado.

Os autores definiram métricas específicas para uma tarefa a ser realizada em um ambiente virtual com base em cinco parâmetros: meta desenvolvida em um percurso orientado por especialistas, número de erros relacionados ao não cumprimento da meta orientada, tempo, força, métrica de desempenho processada com base na média de erros de cada sessão experimental. Em seguida à obtenção das métricas processadas pelo método, um sistema de pontuação calcula uma única métrica, que é obtida com base na técnica estatística de análise fatorial.

Choi, Soo e Chung , (2009), para desenvolver um simulador de cirurgia de baixo custo, apresentaram uma discussão baseada em um *framework* constituído de um ambiente virtual para treinamento médico. Nesse *framework* modelos de mãos cirúrgicas virtuais são gerados por computador com o objetivo de apoiar aprendizes que praticam procedimentos de facoemulsificação em cirurgias de catarata.

O sistema, além de se apoiar em técnicas de gravação de trajetória e registro da cinemática do movimento das mãos, apresenta as seguintes técnicas para treinamento e processamento de parâmetros: deformação de tecido (massa mola), corte de malha (no aramado de um objeto virtual) e a modelagem do modelo geométrico virtual (nova lente a ser inserida).

Os parâmetros foram coletados utilizando-se um par de dispositivos hápticos em um sistema de RV, dentre os quais podem ser destacados: o tempo de conclusão da tarefa, a força, a velocidade e a trajetória da ferramenta.

Para análise da destreza manual, foram utilizadas técnicas estatísticas de média e desvio padrão, que comparam o grau de destreza manual entre aprendizes e cirurgiões experientes.

Stylopoulos e Vosburgh (2007), com o objetivo de analisar o posicionamento do movimento em procedimentos de laparoscopia e endoscopia propuseram um experimento que se utiliza de um sistema de pontuação C-PASS, cuja finalidade é testar um conjunto de parâmetros para medir o desempenho de cirurgiões durante a realização de tarefas em ambientes reais.

Os sistemas de avaliação de desempenho e de pontuação C-PASS são utilizados para medir o desempenho individual ou de grupos de cirurgiões, tomando como base as representações de parâmetros que abstraem uma relação cinemática de um modelo tridimensional.

Embora se utilize de técnicas originadas no campo da cinemática para o processamento de parâmetros, com o objetivo de gerar uma métrica final de análise de desempenho entre especialistas e novatos, o método considera a utilização de técnicas estatísticas que incluem distribuições *gaussianas*, desvio padrão e média.

Com o objetivo de modelar e definir comportamentos padrões de especialistas, Chowriappa et al. (2009) conduziram experimentos para capturar as informações de escrita seguindo uma convenção: três letras do alfabeto inglês, três símbolos e seis caracteres em tâmil⁶, conforme se observa na Figura 5.

Figura 5 – Coleta de dados: seis caracteres de tâmil, três letras de inglês e três símbolos

Fonte: Chowriappa et al. (2009, p. 2919, tradução nossa)

⁶ Língua falada pelos tâmules ou tâmis, no sul da Índia.

Figura 6 – Coleta de dados: *tablet* capturando informações de escrita

Fonte: Chowriappa et al. (2009, p. 2919, tradução nossa)

Uma vez com as informações capturadas em um *tablet* (Figura 6), os autores efetuaram a abstração de padrões com base na escrita de especialistas. Para lidar com essa abstração, utilizaram parâmetros como a força de pressão aplicada da caneta contra o *tablet*, a gravação da trajetória, considerando as unidades de tempo e as orientações da caneta, e, em momento posterior, o pré-processamento de informações, analisando a perícia e a fluência de escrita entre especialistas e a informação de novatos.

Os pesquisadores concluíram que, em relação à escrita, é possível considerar a existência de padrões de especialistas, mas não na de usuários novatos, por causa da disparidade das informações.

Após a captura de dados no *tablet*, foram destacados os seguintes parâmetros processados: erro de posicionamento, tempo de coerência do movimento, força, posição, velocidade, padrões de comportamento e medida da automaticidade de habilidades. Tendo esses parâmetros como base, os autores desenvolveram um trabalho de análise estatística (ANOVA) para caracterizar as habilidades de especialistas e novatos.

Ao final da experiência, concluíram que esses desvios são relevantes porque, em função dos estágios entre a aquisição de habilidades iniciais e os processos de automaticidade em desenvolvimento de habilidades, têm curvas de aprendizagem, evolutiva e heterogênea nas fases iniciais, mas similares na fase de automatismo, quando a aprendizagem já está mais consolidada. No último caso,

observam-se as habilidades inatas quando o comportamento motor autônomo é evidente nas ações que não exigem alto nível de carga cognitiva no processamento humano da informação.

Solis et al. (2009) apresentaram contribuições no campo da matemática e da estatística quando desenvolveram um robô paciente que simula o treinamento de suturas. O método utilizou técnicas para o processamento de parâmetros, aproveitando uma função discutida como abordagem matemática. No entanto, foram implementadas técnicas estatísticas com base no método de análise discriminante que, ao final do experimento, possibilitou a projeção de curvas de aprendizagem com uso dos parâmetros obtidos pela função matemática (*E-suture*). O método de análise discriminante foi utilizado pelos autores com o objetivo de classificar ou determinar classes com base em um conjunto de variáveis conhecidas como preditoras ou variáveis de entrada.

2.2.1.3 Abordagens de avaliação encontradas no campo da matemática

Com o objetivo de avaliar se uma tarefa visual espacial mede a capacidade de atenção de um indivíduo, Stefanidis et al. (2007) desenvolveram um estudo observando diferentes níveis de especialização na execução de tarefas, atentando para constructos alicerçados na teoria da automaticidade e na construção de um modelo matemático testado durante o processo de aquisição de habilidades.

Na condução do estudo experimental foi utilizado um computador adaptado a um sistema de simulação em RV com alças de cirurgia laparoscópica para o desenvolvimento simultâneo de duas tarefas virtuais.

Para a análise dos fatores de atenção presentes na teoria da automaticidade, foram comparados fatores de desempenho relacionados à execução em paralelo da primeira e segunda tarefas virtuais.

Baseado em procedimentos originados no domínio da laparoscopia, foi apresentado um sistema de pontuação matemático que considerava parâmetros capturados durante a realização de uma tarefa primária em paralelo a outra tarefa secundária. Fatores como tempo, precisão e erros de segurança foram admitidos como parâmetros de validação.

Tzafestas, Palaiologou e Alifragis (2006) desenvolveram uma investigação com o objetivo avaliar resultados de aprendizagem que consideram os seguintes cenários: i) modalidade de educação a distância, utilizando AVAs; ii)

procedimentos manipulados por robôs; e iii) análise de experiências que acontecem em ambientes reais.

Esses experimentos foram conduzidos de acordo com um protocolo de avaliação e metodologia especialmente concebida para a tarefa considerada alvo de treinamento. Foram empregados gráficos de pontuação para a obtenção de medidas quantitativas e de desempenho. Os estudantes podiam desenvolver interações presenciais com robôs (manipulação direta em ARs), utilizar comunicação mediada pela internet (à distância) ou utilizar *softwares* simuladores de RV instalados em computadores, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Arquitetura geral da plataforma de laboratório remoto telerrobótico

Fonte: Tzafestas, Palaiologou e Alifragis (2006, tradução nossa)

A pesquisa considerava a formação como um processo dinâmico em que se pontuava o desempenho obtido nas seguintes dimensões: habilidades de baixo nível *versus* habilidades de alto nível de complexidade.

Segundo os autores, os resultados da pesquisa evidenciaram os seguintes parâmetros: tempo de cada fração do trabalho (projetado em gráfico para medir cada uma das fases e procedimentos de operações), erros de baixo nível de competência técnica, erros de nível médio de competência técnica, erros de alto

nível de competência técnica, análise do grau de habilidade e experiência dos aprendizes.

O método de avaliação de abordagem matemática possibilitava a somatória de pontos relativos a acertos e a aplicação de penalidades em caso de erros cometidos durante a execução de uma tarefa.

Os resultados obtidos revelaram diferenças entre os três cenários propostos e forneceram algumas premissas sobre metodologias e o grau de relevância em cada uma das dimensões da formação. Por fim, os autores concluíram que estudos em grande escala ainda são necessários para desenvolver a proposta de pesquisa citada. Nesse sentido, afirmam ser necessário intensificar experimentos que considerem cenários de formação diversificada.

Panait et al. (2009) apresentaram contribuições com a análise de simuladores de RV utilizados na realização de tarefas executadas por meio de dispositivos hápticos de laparoscopia com e sem retroalimentação de força. Nessa análise, os autores procuraram comparar tarefas realizadas com técnicas de treinamento que seguem um padrão de práticas para cirurgias laparoscópicas implementadas, que utilizam técnicas de avaliação de treinamento do campo de Fundamentos de Laparoscopia Cirúrgica (FLC).

O estudo em questão contou com dez estudantes, com níveis de habilidades iniciais, que desenvolveram atividades em três níveis de dificuldade.

Para cada nível de dificuldade, o experimento mediu resultados a fim de verificar possíveis ganhos ou perdas com o uso de dispositivos com e sem retroalimentação de força.

Como método para avaliar os resultados de avaliação, o estudo utilizou o método de avaliação originado no campo de FLC, juntamente com um sistema de pontuação matemática baseado em tempo de conclusão (Figura 8), comprimento do caminho ou da trajetória a ser percorrida, e medida de tensão de força aplicada.

Esse estudo revelou que, nas tarefas mais avançadas, especialmente aquelas envolvendo recorte de tecidos e que exigem um nível de precisão superior, os dispositivos de retroalimentação de força, quando utilizados para apoiar esses procedimentos, possibilitaram a obtenção de resultados mais rápidos na realização das tarefas, conforme se observa nos níveis de dificuldade e tempos de N1 a N3, na Figura 8.

Figura 8 – Tempo necessário para completar a tarefa Pegar e Transferir. Dificuldades: Nível 1 (N1), 2 (N2), 3 (N3); H0 - sem retroalimentação háptica; H1 - com retroalimentação háptica

O estudo também agrupou as atividades em tarefas básicas, no entanto, a simulação tátil avançada, quando aplicada a esse grupo, não demonstrou uma melhoria no desempenho.

Segundo os pesquisadores, esses dados sugerem que métodos que utilizem *softwares* e dispositivos com retroalimentação de força sejam usados para tarefas de maior complexidade, tendo em vista o melhor desempenho dos resultados observados nos experimentos.

Madan e Frantzides (2007) apresentaram um estudo envolvendo dispositivos de RV para aplicação de métodos de treinamento laparoscópico, com base em abstrações de modelos que utilizam caixas (*boxes*) para treinamento de procedimentos laparoscópicos.

Para realização do experimento, os autores desenvolveram um ensaio clínico aleatório com estudantes de Medicina sem nenhuma experiência prévia com cirurgias. Os alunos foram agrupados de acordo com quatro métodos de treinamento: i) realidade virtual; ii) treinamento em *box* inanimado; iii) combinação dos métodos “i” e “ii”; e iv) nenhum treinamento (informação de controle). As informações do pré e pós-treino relativas aos quatro métodos foram utilizadas como parâmetros para balizar a metodologia.

Como método de avaliação foi utilizado um sistema de pontuação matemática que atribuiu valores a parâmetros obtidos com base em julgamentos de especialistas e em métricas quantitativas coletadas em cada experimento, dentre as

quais foram destacadas: número de erros, indicadores de sucesso/insucesso, indicadores de facilidade/dificuldade no desenvolvimento da tarefa e métricas obtidas com a análise da tarefa gravada.

Os autores destacaram que o resultado não demonstrou diferenças significativas entre quaisquer das medidas de pré-treino. Quando aplicada a análise de dados ao pós-treino, as medidas diferiram entre os 4 grupos. Nesse sentido, os autores afirmam que os dados resultantes revelaram que a combinação de treinamento com RV e treinamentos com *box* inanimados leva à melhor aquisição de competências em procedimentos laparoscópicos.

Watanabe e Katusura (2010) propuseram um método que avalia o movimento humano com base em experiências exitosas na comparação de movimentos de aprendizes e de professores experientes. O método proposto foi desenvolvido objetivando a avaliação de experimentos com a construção de escrita em caracteres chineses.

O método permite definir o processo de avaliação com base na teoria dos grafos, em que o valor de cada componente de uma matriz de adjacência é tratado como uma pontuação obtida com base em movimentos realizados. Nós de grafos são gerados com base em movimentos de um professor experiente e são comparados aos nós de grafos de aprendizes.

A comparação entre nós de um grafo é feita por meio de um processo de ponderação e por um coeficiente de correlação. Dessa forma, os movimentos dos aprendizes são avaliados e comparados com base em uma pontuação de treinamento ideal.

A captura de interações é realizada por meio de dispositivos hápticos que coletam informações sobre o procedimento de escrita com base em parâmetros como: força, massa, posição e velocidade.

Kolesnikov et al. (2009) descreveram um simulador háptico desenvolvido para auxiliar na aquisição de HSM em odontologia. Uma característica importante desse simulador é 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 os alunos a aprenderem e seguirem esses modelos, conforme se observa na Figura 9.

Figura 9 – Configuração do Simulador Dental

Fonte: Kolesnikov et al. (2009)

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. No trabalho em questão, foram revisadas várias técnicas de reprodução háptica e, além disso, foi descrito em detalhes o processo implementado no simulador. A reprodução tátil incluía parâmetros de orientação com base em posição, força e gravação de trajetória em processos de aquisição de HSM.

Concluído o trabalho, foram apresentados os resultados experimentais de um sistema de pontuação matemático capturado com base em questionários que avaliavam a eficiência do método proposto na orientação de aprendizes em tarefas odontológicas conduzidas por meio de reprodução tátil.

Solis et al. (2009) desenvolveram um robô paciente, que incorpora sensores e atuadores com base em um modelo convencional humano, para realização de treinamento de suturas por meio de simulação física processando métodos de avaliação quantitativa. A captura de dados foi feita com três componentes: alguns sensores incorporados em um manequim de pele, que detecta o movimento artificial da pele durante a realização da tarefa de sutura/ligadura; uma *webcam*; e um sistema multimídia utilizado para a visualização das imagens e da pontuação obtida durante a realização de tarefas. Como técnica de avaliação foi desenvolvido um método matemático (Função *E-suture*) envolvendo dimensões, tais como eficiência, segurança e qualidade na realização de tarefas. À base dessas dimensões foram coletados parâmetros relacionados ao tempo para completar uma

tarefa (eficiência), força aplicada (segurança) e percurso correto na realização da tarefa (qualidade).

2.2.1.4 Abordagens de avaliação encontradas no campo computacional

A fim de desenvolver um sistema computacional automatizado que analisasse vídeos de cirurgias de catarata, de forma articulada com um processo de rastreamento da posição dos instrumentos durante o procedimento cirúrgico, Baldas et al. (2010) apresentaram um sistema denominado *Surrey University Instrument Tracking System* (SUITS).

De modo a alcançar tais objetivos, Baldas et al. (2010) criaram um método, que fornecia parâmetros para análise do trabalho de cirurgiões, baseado em técnicas de gravação de vídeo e trajetória. O sistema construído retorna uma métrica relacionada ao fator de eficiência de cirurgiões, levando em conta diferentes níveis de experiência, que é coletada como o uso de um algoritmo de rastreamento do olho humano e de instrumentos utilizados durante o procedimento.

A técnica apresentada discute aspectos de detecção dos instrumentos e toma como base um modelo simulado em um AV, considerando os seguintes parâmetros: número total de movimentos, comprimento, tempo necessário para se realizar uma tarefa e percurso efetivamente realizado pelo cirurgião durante a realização de uma tarefa.

Com o objetivo de determinar e otimizar um vetor de treinamento ideal e uma modalidade de classificadores para apoiar processos de reabilitação de pacientes com AVC, Chalmers et al. (2009), além de contribuições estatísticas, utilizaram-se de contribuições do campo computacional, como as relacionadas ao emprego de classificadores em um conjunto de treinamento experimental, para analisar o desempenho humano. Dentre esses classificadores, destacam-se o *K-Nearest Neighbor* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM), *Artificial Neural Networks* (ANNs) e Análise de Discriminante Linear (ADL). Como resultado, há que se salientar a criação de um sistema de avaliação sensório-motora que gera uma única métrica fazendo uso de avaliação de uma tarefa realizada em um exoesqueleto robótico. Os autores concluíram que o sistema criado é útil para o planejamento e processo terapêutico de reabilitação eficaz em vítimas de Acidente Vascular Cerebral (AVC).

Rissanen et al. (2006), com o propósito de discutir estratégias para transferência de habilidades cirúrgicas baseadas em anotações, apresentaram um *framework* de simulação que edita registros de cirurgias de laparoscopia denominado *Simulation Record Editor*⁷ (SiRE). Esse simulador permite a professores médicos gravarem, produzirem variações de procedimentos cirúrgicos e fazerem anotações úteis para o processo de ensino-aprendizagem.

O desenvolvimento do trabalho apresenta uma solução computacional implementada por algoritmos de escalonamento para edição de registros em tarefas de cirurgia laparoscópica, por meio dos seguintes parâmetros: suavidade do movimento (*Jerk*) e velocidade média de trajetória.

De modo geral, as contribuições apresentadas por Rissanen et al. (2006) não destacam um método de avaliação da aquisição de HSM, mas revelam técnicas relevantes para o processamento de parâmetros envolvendo o percurso total ou parcial de trajetória em um ambiente de RV, as quais podem se constituir em elementos integrantes de um método de avaliação da aquisição de HSM.

Embora haja técnicas de processamento de métricas que envolvem o cálculo de *Jerk* e média a classificação como uma abordagem computacional é justificada quando se observa a centralidade do método em técnicas de escalonamento de processos.

2.2.1.5 Abordagens de avaliação encontradas em outras áreas

Dawei, Asim e Saeid (2009) utilizaram um método de avaliação de usabilidade com ênfase em processos de aprendizagem (*learning process*), o qual relaciona fatores como a experiência de interação (*interaction experience*) e a experiência de aprendizagem (*learning experience*).

A investigação discute um experimento com AV para uso em treinamento de montadores. Este trabalho científico utiliza uma abordagem multidimensional de aprendizagem (*learning outcomes*), que inclui a análise de três dimensões: cognitiva (*cognitive*), baseada em habilidades (*skill-based*) e afetiva (*affective*), conforme esquema mostrado na Figura 10.

⁷ Simulador editor de registros.

Figura 10 – Modelo conceitual do método

Fonte: Adaptado de Dawei, Assim e Saeid (2009)

Há muitas experiências baseadas em métodos tradicionais de avaliação de usabilidade para servir especificamente em avaliações de sistemas que disponibilizam ambientes 3D, conforme afirmado pelos autores, porém inexistente uma reflexão tópica sobre aspectos, como orientação afetiva, cognitiva e pedagógica, que entram em jogo para moldar processos de ensino-aprendizagem.

A investigação dos pesquisadores foi conduzida com o propósito de avaliar a eficácia de um AV para a aprendizagem. Para tanto, utilizou um sistema de pontuação para instrumentos de autoavaliação constituídos de questões objetivas e subjetivas, dentre as quais se pode destacar: taxa de porcentagem da tarefa realizada, fluidez do desempenho, tempo usado para desenvolver uma tarefa, capacidade de recordar, crenças subjetivas de eficácia e taxa de erros.

Considerando-se a compreensão dos pesquisadores, que não há atualmente nenhum padrão otimizado para quantificar a eficácia de um AV em ações de ensino-aprendizagem, é possível afirmar que diferentes fatores de áreas de IHC (ergonomia e psicologia cognitiva, por exemplo) impactam na eficácia de um AV.

Dessa forma, o estudo a que se faz menção revela dimensões cognitivas, afetivas e de aprendizagem baseadas na aquisição de habilidades de um processo de avaliação centrada no usuário para quantificar a eficácia de AVs.

Como resultado, o trabalho apresentou elementos que contribuem para a discussão de um método de avaliação, apesar de centrar-se na identificação de variáveis específicas para medida de eficácia em AVs.

No que diz respeito à discussão de um conjunto adaptativo e interativo de tecnologias neuroeducacionais – *Interactive Neuro-educational Technologies* (I-NET) e ao desenvolvimento de um método para caracterizar o perfil psicofisiológico de aprendizes novatos e especialistas, Raphael et al. (2009), que desenvolveram um método para auxiliar aprendizes no aumento do ritmo e da eficiência da aquisição de habilidades, sob o enfoque de quatro dimensões específicas: i) a integração do monitoramento do cérebro por meio de tutoriais instrucionais; ii) identificação de características psicofisiológicas de especialização usando um modelo de população; iii) desenvolvimento de sensores baseados em retroalimentação para acelerar a transição de aprendizes iniciantes para um estágio de especialista; e iv) identificação de fatores neurocognitivos preditivos na aquisição de habilidades para permitir a triagem precoce e a intervenção.

Para realização dos experimentos foi utilizado um instrumento, em forma de rifle, monitorado, que sugere uma combinação de instruções em sala de aula com atividades de prática no campo envolvendo um conjunto bem definido de HSM e habilidades cognitivas.

Como técnicas principais, esses pesquisadores usaram informações coletadas de estados mentais derivados da leitura de sinais fisiológicos, de gravação de métricas psicofisiológicas associadas ao desempenho de especialistas em uma versão do *Adaptive Peak Performance Trainer* (APPT) e de processamento de coeficientes que consideram a análise de pré e pós desempenho obtida nos experimentos.

Por fim, um estudo de RS não categorizado nas abordagens anteriores, mas digno de citação, como o que foi feito por Van der Meijden e Schijven (2009). Nesse estudo, os autores destacam o “estado da arte” sobre as contribuições de retroalimentação háptica para cirurgias minimamente invasivas, utilizando procedimentos de cirurgia endoscópica convencional – *Conventional Endoscopic Surgery* (CES) ou recorrendo a plataformas cirúrgicas para realização de endoscopia assistida por robô – *Robot-Assisted Endoscopic Surgery* (RAS).

O estudo em questão tornou-se relevante para esta investigação ao identificar parâmetros importantes utilizados em sistemas de treinamento com

tecnologia háptica, dentre os quais se pode citar: tipo de força aplicada, quantidade de danos às estruturas (tecidos), desenvolvimento correto de sutura, tempo de conclusão de tarefas, retroalimentação visual, experiência de cirurgiões, análise de resposta tátil e análise da importância de retroalimentação sonora.

Além dos parâmetros identificados, o estudo também procurou encontrar respostas para alguns problemas: que limitações são encontradas em decorrência da sensação tátil aplicada à cirurgia minimamente invasiva? Que tipo de entrada tátil ou quantos diferentes níveis de força um cirurgião de cirurgias minimamente invasivas deveria realmente receber? Que tipo de força gerada por meio de retroalimentação háptica é interessante? Em que áreas de formação da Medicina a retroalimentação de força pode ser aplicada? Quais resultados de cirurgias convencionais ou assistidas por robôs poderiam ser melhorados com adição de retorno de força?

Segundo os pesquisadores selecionados nessa etapa de abordagens de RS, na literatura consultada não existe consenso sobre a importância de dispositivos com retroalimentação tátil no desempenho de cirurgia minimamente invasiva. Embora a maioria dos resultados mostre avaliação positiva dos benefícios da retroalimentação de força, os resultados não são unânimes sobre o assunto.

2.2.2 Abrangência de métodos de avaliação da aquisição de HSM

Os trabalhos encontrados durante o processo de RS apresentaram contribuições sobre métodos, parâmetros ou métricas para avaliação de aquisição de habilidades.

É importante destacar que tais trabalhos disponibilizam propostas de avaliação, porém não apresentam um modelo teórico implementado de forma automatizada para avaliar a aquisição de HSM, que possa ser extensível a diferentes tarefas realizadas em contextos de treinamento que utilizam AVIs 3D.

Essa afirmação é justificada, quando se observam as contribuições presentes na Tabela 8, que resume os artigos incluídos nos critérios definidos no protocolo de RS. Esse arranjo das informações favoreceu a percepção de que as experiências normalmente são designadas para um campo de conhecimento genérico (usabilidade de sistemas, por exemplo) ou, em outros casos, possuem um método que é utilizado de forma muito específica, como laparoscopia e odontologia.

As fontes de informações foram selecionadas para compor a base de leitura do presente estudo, considerando três critérios específicos de inclusão: i) apresentam um método genérico ou extensível de avaliação da aquisição de HSM em ambientes AVIs 3D; ii) apresentam método específico de avaliação da aquisição de HSM em ARs ou ambientes de RV; e iii) utilizam algum método específico de avaliação de HSM em ARs ou ambientes de RV.

Para subsidiar as análises e discussões da presente pesquisa relativas aos 22 artigos selecionados, procurou-se classificar os experimentos que aconteciam em contextos virtuais ou reais de treinamento.

Tabela 8 – Métodos em contextos reais e virtuais

(Continua)

Referência	Contextos		<u>Apresentam</u> método <u>extensível</u> para avaliar a aquisição de HSM em AVIs 3D	<u>Apresentam</u> método <u>específico</u> de avaliação de aquisição de HSM em ARs ou de RV	<u>Utilizam</u> algum método <u>específico</u> de avaliação de HSM em ARs ou de RV
	Reais	Virtuais			
1- Panait et al. (2009)		•			•
2- Van der Meijden e Schijven (2009)		•			•
3- Madan e Frantzides (2007)	•	•		•	
4- Tzafestas, Palaiologou e Alifragis (2006)	•	•		•	
5- Dawei, Asim e Saeid (2009)		•			•
6- Chowriappa et al. (2009)	•			•	
7- Watanabe e Katsura (2010)	•	•		•	
8- Kolesnikov et al. (2009)		•		•	
9- Raphael et al. (2009)	•			•	
10- Chalmers et al. (2009)	•			•	
11- King et al. (2009)	•			•	
12- Vuillermont et al. (2009)	•			•	
13- Tanaka et al. (2008)	•			•	

Tabela 8 – Métodos em contextos reais e virtuais

(Conclusão)

Referência	Contextos		<u>Apresentam</u> método extensível para avaliar a aquisição de HSM em AVIs 3D	<u>Apresentam</u> método <u>específico</u> de avaliação de aquisição de HSM em ARs ou de RV	<u>Utilizam</u> algum método <u>específico</u> de avaliação de HSM em ARs ou de RV
	Reais	Virtuais			
14- Yoshikawao, Koeda e Sugihashi (2007)		•		•	
15- Stefanidis et al. (2007)		•		•	
16- Solis et al. (2009)	•	•		•	
17- Baldas et al. (2010)		•			•
18- Chen et al. (2010)	•			•	
19- Colombo et al. (2008)	•	•		•	
20- Choi, Soo e Chung (2009)		•		•	
21- Stylopoulos e Vosburgh (2007)	•			•	
22- Rissanen (2006)		•			•

Fonte: Autor

Todas as experiências incluídas pelo protocolo de RS possuem ou citam aplicações de algum tipo de método de avaliação em contextos de RV ou em ARs.

Para subsidiar as análises e discussões da presente pesquisa relativas aos 22 artigos selecionados, procurou-se classificar os experimentos que aconteciam em contextos virtuais ou reais de treinamento. Todas as experiências incluídas pelo protocolo de RS possuem ou citam aplicações de algum tipo de método de avaliação em contextos de RV ou em ARs.

Ao final da fase de análise, observou-se que 77% dos trabalhos apresentam um método específico de avaliação da aquisição de HSM e 23% dos trabalhos utilizam um método de avaliação da aquisição de HSM em contextos reais ou virtuais de aprendizagem.

No entanto, não se observaram métodos de avaliação da aquisição de HSM extensíveis para avaliar aquisição de HSM em AVIs 3D em diferentes tarefas virtuais.

2.2.3 Análise do domínio de aplicação

A análise dos trabalhos selecionados tornou possível o agrupamento dos trabalhos sob a perspectiva dos domínios de aplicação encontrados, conforme se observa na Tabela 9.

Tabela 9 – Domínios de aplicação

Domínio	Trabalhos relacionados
Treinamento médico	(PANAIT et al., 2009), (VAN DER MEIJDEN; SCHIJVEN, 2009), (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (KING et al., 2009), (STEFANIDIS et al., 2007), (SOLIS et al., 2009), (BALDAS et al., 2010), (CHOI; SOO; CHUNG, 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007), (RISSANEN et al., 2006)
Ensino de Engenharia	(TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006)
Treinamento de montagem (fábrica)	(DAWEI; ASIM; SAEID, 2009)
Treinamento de habilidades para escrita humana	(CHOWRIAPPA et al., 2009), (WATANABE; KATSURA, 2010)
Treinamento odontológico	(KOLESNIKOV et al., 2009)
Treinamento militar	(RAPHAEL et al., 2009)
Reabilitação	(CHALMERS et al., 2009), (VUILLERMOT et al., 2009), (TANAKA et al., 2008), (YOSHIKAWAO; KOEDA; SUGIHASHI, 2007), (CHEN et al., 2010), (COLOMBO et al., 2008)

Fonte: Autor

Com base nas informações da Tabela 9 foi possível projetar na Figura 11 as categorias que tornam evidente a predominância de métodos de avaliação da aquisição de HSM no domínio de treinamento médico (45%) e reabilitação (27%), seguido do treinamento de habilidades para escrita (9%), treinamento odontológico (5%), treinamento militar (5%), treinamento de montagem (5%) e ensino de engenharia (4%).

Embora os trabalhos tenham predominância no campo de treinamento (Figura 11), a análise dos dados da Tabela 9 permite concluir que há aplicações

que, apesar de envolverem métodos de avaliação de HSM, não estão conectadas unicamente a técnicas de ensino-aprendizagem ou treinamento.

Essa informação adquire relevância quando se observa que um método para avaliar HSM pode contribuir com áreas que não estão diretamente relacionadas ao campo educacional ou de treinamento, a exemplo da que utiliza métodos que avaliam HSM de apoio a técnicas empregadas em processos de reabilitação humana.

Figura 11 – Predominância de domínios de aplicação nos trabalhos encontrados

Fonte: Autor

2.3. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Durante a condução dos estudos de RS, foram identificados parâmetros ou métricas encontrados em metodologias para avaliação de aquisição de HSM em ambientes de RV e RA ou metodologias de ARs que possam ser adaptadas para AVs.

A fim de melhorar a apresentação dos resultados da RS, adotou-se como estratégia inicial a categorização por agrupamento de parâmetros e grau de similaridade encontrado, conforme pode ser observado nas Tabelas de 10 a 17.

A primeira categoria de parâmetros, muito frequente em estratégias de avaliação de HSM, foi encontrada em sete artigos, dentre os trabalhos selecionados

(41%). Neste inventário estão os erros cometidos por aprendizes durante o desenvolvimento de suas atividades de treinamento (Tabela 10).

Esses erros podem ser observados como genéricos ou de baixo nível de competência, considerando-se a complexidade de tarefas desenvolvidas pelos aprendizes. Além disso, também poder ser considerados erros de posicionamento e perda de objetos, tendo em vista as atividades que exigem essas operações durante a execução de estratégias específicas de treinamento.

Os observadores da área de HSM classificaram os possíveis erros causados pelo contato indevido entre objetos como de grande importância para avaliação de aprendizes, especialmente em operações que consideram o contato entre um ou mais objetos. Um exemplo dessa situação ocorre quando um objeto danifica um tecido do corpo humano ou mesmo quando um atrito tem impacto considerável, a ponto de causar dano a outro objeto.

Tabela 10 – Parâmetros de erros

Detalhamento da dimensão	Explicação
Erros genéricos	Métricas quantitativas para análise do número de erros presentes em simuladores (físicos ou virtuais) – (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009), (YOSHIKAWAO KOEDA; SUGIHASHI, 2007), (STEFANIDIS et al., 2007).
Erros de baixo nível de competência técnica	Número de erros apresentados em tarefas de complexidade simples, desenvolvidas em ARs como em simuladores virtuais - (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006).
Erros de alto nível de competência técnica	Número de erros apresentados em tarefas de complexidade (média ou alta) desenvolvidas tanto em simuladores físicos como em ARs – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006).
Erro de posicionamento	Métricas relativas a erros de posicionamento em atividades que requerem manipulação e movimentação tanto em simuladores físicos como em ARs – (CHOWRIAPPA et al., 2009).
Perda de objetos (agarramento e desprendimento involuntário)	Métrica que considera o erro ao agarrar objetos tanto em simuladores físicos como em ARs. O desprendimento acidental é um exemplo – (PANAIT et al., 2009).
Danos causados em consequência do contato ou colisão de simuladores	Métrica que considera colisões acidentais na manipulação ou movimentação de objetos tanto em simuladores físicos como virtuais – (PANAIT et al., 2009), (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009).

Fonte: Autor

Conforme observado na Tabela 11, outra categoria encontrada considerou também o tempo total ou parcial utilizado pelos aprendizes durante as atividades de treinamento cujos parâmetros foram encontrados em 14 artigos (63%).

Tabela 11 – Parâmetros de tempo

Detalhamento da dimensão	Explicação
Tempo para simulação – usando RV (<i>Conclusão da tarefa</i>)	Métrica com o objetivo de medir o tempo para conclusão de tarefas ou habilidades, usando aplicações de RV – (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009), (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009), (YOSHIKAWAO; KOEDA; SUGIHASHI, 2007), (BALDAS et al., 2010), (CHOI; SOO; CHUNG, 2009).
Tempo para simulação – usando RV (<i>Por etapa ou fração da tarefa</i>)	Métrica com o objetivo de medir o tempo para frações de tarefas ou habilidades, usando aplicações de RV – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (CHOWRIAPPA et al., 2009), (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009).
Tempo para simulação: usando simuladores físicos (<i>Conclusão da tarefa</i>)	Métrica com o objetivo de medir o tempo para conclusão de tarefas ou habilidades, usando simuladores físicos. Exemplo: Box de laparoscopia manual – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (CHALMERS et al., 2009), (TANAKA et al., 2008), (STEFANIDIS et al., 2007), (SOLIS et al., 2009).
Tempo para simulação: usando simuladores físicos (<i>Por etapa ou fração da tarefa</i>)	Métrica com o objetivo de medir o tempo para frações de tarefas ou habilidades, usando simuladores físicos. Exemplo: Box de laparoscopia manual – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (CHEN et al., 2010).
Tempo real (<i>Conclusão da tarefa</i>)	Considera-se apenas o tempo de conclusão da tarefa, independentemente do tipo de ambiente utilizado (real ou virtual). Exemplo: Sistemas híbridos que utilizam simuladores físicos ou aplicações de RV – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006).
Tempo real (<i>Por etapa ou fração da tarefa</i>)	Considera-se apenas o tempo de fração da tarefa, independentemente do tipo de ambiente utilizado (real ou virtual). Exemplo: Sistemas híbridos que utilizam simuladores físicos ou aplicações de RV – (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (VUILLERMOT et al., 2009).

Fonte: Autor

Considerando a necessidade de capturar informações para avaliação, especialmente em dispositivos que trabalham com RV, foi possível notar também a presença de parâmetros que revelaram medidas de esforço físico e orientação em processos de treinamento (Tabela 12). Avaliadores mencionam que medidas como intensidade de força, posicionamento, velocidade e peso aplicado em determinados objetos podem ser considerados como parâmetros capazes de revelar resultados entre aprendizes habilidosos ou não habilidosos. Esta argumentação foi encontrada em 15 artigos (59%).

Tabela 12 – Parâmetros de esforço e orientação

Detalhamento da dimensão	Explicação
Força	Parâmetro que registra a quantidade de força, de tensão ou apreensão aplicada aos diferentes graus de liberdade de aplicação de RV - (CHOWRIAPPA et al., 2009), (WATANABE; KATSURA, 2010), (KOLESNIKOV et al., 2009), (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009), (PANAIT et al., 2009), (CHALMERS et al., 2009), (YOSHIKAWAO; KOEDA; SUGIHASHI, 2007), (SOLIS et al., 2009), (COLOMBO et al., 2008), (CHOI; SOO; CHUNG et al., 2010).
Posição	Parâmetro que registra os diferentes graus de liberdade de aplicação de RV - (CHOWRIAPPA et al., 2009), (WATANABE; KATSURA, 2010), (KOLESNIKOV et al., 2009), (TANAKA et al., 2008), (SOLIS et al., 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007).
Velocidade	Parâmetro que registra a velocidade de realização de procedimentos simulados, que podem ser considerados tanto em ARs como em ambientes de RV – (CHOWRIAPPA et al., 2009), (WATANABE; KATSURA, 2010), (CHALMERS et al., 2009), (VUILLERMOT et al., 2009), (CHEN et al., 2010), (CHOI; SOO; CHUNG et al., 2009), (RISSANEN et al., 2006).
Massa	Parâmetro associado ao peso dos objetos que serão manipulados (WATANABE; KATSURA, 2010).
Ângulos	Parâmetro associado à análise da orientação de um objeto sob o prisma dos ângulos observados – (CHALMERS et al., 2009), (TANAKA et al., 2008).
Grau de autonomia no movimento	Parâmetro associado ao grau de autonomia que um indivíduo possui para realizar um movimento de forma autônoma com ou sem a necessidade de auxílio ou orientação externa. Exemplo: Indivíduos incapazes de realizar alguns movimentos, necessitando de auxílio de dispositivos robóticos – (COLOMBO et al., 2008).

Fonte: Autor

Além do esforço físico e da orientação, foi possível encontrar também experiências que permitiam a comparação entre comportamentos de aprendizes durante a realização de atividades de treinamento. Nesse sentido, foram encontrados 10 artigos de relevância (45%), conforme descrito na Tabela 13.

Tabela 13 – Parâmetros de registro de percurso em tarefas (Continua)

Detalhamento da dimensão	Explicação
Trajetória	Parâmetros originados com base no processamento de trajetória em simuladores. Exemplo: Comparação de trajetórias entre especialistas e novatos, oscilação de ângulos, comprimento do caminho e suavidade – (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (KOLESNIKOV et al., 2009), (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009), (CHALMERS et al., 2009), (TANAKA et al., 2008), (YOSHIKAWAO, KOEDA; SUGIHASHI., 2007), SOLIS et al.(2009), (BALDAS et al., 2010), (WATANABE; KATSURA, 2010), (CHEN et al., 2010), (COLOMBO et al., 2008), (CHOI; SOO; CHUNG, 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007), (RISSANEN et al, 2006).

Tabela 13 – Parâmetros de registro de percurso em tarefas

(Conclusão)

Detalhamento da dimensão	Explicação
Gravação de gestos	Parâmetros obtidos com base em sensores posicionados em dispositivos de captura de movimento. Exemplo: A captura de informações em cada instante de tempo usando sensores posicionados em uma luva – (KING et al., 2009), (BALDAS et al., 2010), (CHEN et al., 2010).

Fonte: Autor

De forma mais simplificada, apenas sete dos artigos (31%) consideram parâmetros envolvendo simetria de destreza, sucesso ou insucesso, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros de destreza, sucesso ou insucesso de procedimentos

Detalhamento da dimensão	Explicação
Destreza	Parâmetro que mede a eficiência ou a precisão na realização de determinados procedimentos com emprego de habilidade de uma das mãos ou da capacidade de execução de tarefas com as duas mãos (ambidestrezza), seja em simuladores físicos ou virtuais – (PANAIT et al., 2009), (VUILLERMOT et al., 2009), (STEFANIDIS et al., 2007), (CHOI; SOO; CHUNG, 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007).
Sucesso ou insucesso	Parâmetro que mede o resultado (sucesso ou insucesso) para realização de determinados procedimentos, seja em simuladores físicos ou virtuais – (MADAN; FRANTZIDES, 2007), (TZAFESTAS; PALAIOLOGOU; ALIFRAGIS, 2006), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007).

Fonte: Autor

Na Tabela 15, destacam-se três artigos com parâmetros de retroalimentação em processos de simulação física ou virtual, representando 14% no cômputo dos trabalhos selecionados. Observa-se que nem todos os simuladores, sejam físicos ou virtuais, apresentam retroalimentação de força, o que explica parcialmente a falta de representação mais efetiva desses indicadores.

Durante a evolução dos estudos, foi possível observar que a retroalimentação sonora ou visual está relacionada diretamente à resposta sensorial ou motora de um executante de movimento.

Esses casos foram notados quando se verificaram parâmetros que avaliam a reação de indivíduos em relação à retroalimentação tátil, sonora ou visual emitida por uma fonte de informação, a exemplo da necessidade de executar um movimento específico quando acionado um alerta sonoro ou visual.

Tabela 15 – Parâmetros de retroalimentação para o usuário

Detalhamento da dimensão	Explicação
Resposta tátil (retorno de força)	Parâmetro de retroalimentação de força em ambientes de RV. Exemplo: a quantidade de força correta a ser administrada considerando uma quantidade de resistência retornada por um dispositivo háptico - (PANAIT et al., 2009), (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009).
Retroalimentação sonora	Parâmetro de retroalimentação sonora em aplicações de RV. Exemplo: a necessidade de interromper um procedimento em caso de alerta sonoro - (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009).
Retroalimentação visual	Parâmetro relacionado a procedimentos a serem realizados em caso de da retroalimentação visual em aplicações de RV. Exemplo: não realizar um procedimento em áreas do corpo humano que visivelmente sejam destacadas como feridas ou machucadas - (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009), (STYLOPOULOS; VOSBURGH, 2007).

Fonte: Autor

Especialmente em artigos que consideram a capacidade de os usuários adquirirem habilidades, em decorrência de medidas de usabilidade, encontraram-se parâmetros que admitem o grau de facilidade e memória de aprendizes durante a realização de suas atividades de treinamento.

De forma destacada, observaram-se também medidas muito reveladoras em processos de avaliação de HSM, como parâmetros de automaticidade aptos a revelar a capacidade ou a desenvoltura dos usuários na realização de suas atividades. Constataram-se esses parâmetros em cinco dos artigos selecionados (23%), conforme se observa na Tabela 16.

Tabela 16 – Parâmetros de usabilidade ou de avaliação de grau de experiência do usuário (Continua)

Detalhamento da dimensão	Explicação
Parâmetros de automaticidade da habilidade	A medida de automaticidade é proporcional ao tempo que um determinado aprendiz dedica à aprendizagem de determinada tarefa, a ponto de fazê-la de forma automática ou sem necessidade de grandes esforços cognitivos. Os aprendizes iniciantes possuem baixo grau de automaticidade em relação àqueles que já possuem experiência com determinados tipos de habilidade (seja em simuladores físicos ou virtuais) – (WATANABE; KATSURA, 2010), (STEFANIDIS et al., 2007).
Medida de facilidade da habilidade	Utilizando questionários ou outros instrumentos, de forma subjetiva, alguns avaliadores tentam dimensionar o grau de facilidade para desenvolvimento de determinadas tarefas, seja em experiências reais ou virtuais – (MADAN; FRANTZIDES, 2007).
Capacidade de o usuário recordar	Alguns autores tentam medir a aprendizagem de habilidades pela capacidade de o usuário gravar percursos parciais ou totais de determinadas tarefas, sejam elas em experiências reais ou virtuais – (DAWEI; ASIM; SAEID, 2009).

Tabela 16 – Parâmetros de usabilidade ou avaliação de grau de experiência do usuário (Conclusão)

Detalhamento da dimensão	Explicação
Experiência dos usuários	Alguns autores tentam medir a aprendizagem de habilidades, levando em consideração a experiência do usuário em determinado domínio da informação. No artigo em questão, observa-se que os usuários trabalham a hipótese de que um usuário mais experiente no domínio de determinada aplicação pode apresentar melhores resultados em relação àquele que não possui grau de experiência de mesmo nível – (VAN DER MEIJDEN; SHIJVEN, 2009).

Fonte: Autor

Um dos parâmetros de destaque nos quadros anteriores é a medida de automaticidade. A identificação desse parâmetro tornou evidente a necessidade de um aprofundamento dos estudos de avaliação de HSM em RV, aproveitando as contribuições originadas na área que estuda o desenvolvimento de habilidades motoras humanas. Isso se verificou em apenas um dos artigos (4%).

Ao final, foi encontrada uma abordagem de avaliação que utiliza parâmetros relacionados a medidas fisiológicas humanas. A coleta desses parâmetros pode gerar benefícios para a avaliação de diversos aspectos relacionados à aprendizagem humana ou, mais precisamente, à aquisição de HSM, conforme observado na Tabela 17. Processos de avaliação que possuem foco no indivíduo foram observados em apenas um trabalho (4%).

Tabela 17 – Sinais fisiológicos humanos

Detalhamento da dimensão	Explicação
Sinais fisiológicos	Captura de sinais fisiológicos humanos envolvendo frequência cardíaca, nível de condutância da pele, respiração e rastreamento ocular. (RAPHAEL et al., 2009).

Fonte: Autor

2.4 DISCUSSÕES

As discussões dos diferentes autores revelaram a existência de propostas específicas para a avaliação de HSM, aqui apresentadas por meio de uma análise geral dos trabalhos obtidos com a condução dos dois processos de RS apresentados.

Durante a análise dos trabalhos, foi possível verificar que diferentes técnicas são aplicadas em métodos de avaliação em três momentos distintos: i) no processamento de métricas ou atributos de avaliação da aquisição de HSM; ii) na

composição do núcleo central do processo de avaliação da aquisição de HSM; ou iii) no apoio à análise dos resultados de cada estudo proposto.

O processamento de métricas de avaliação da aquisição de HSM é justificado quando unidades de informação são processadas com o objetivo de compor um indicador quantitativo de avaliação de HSM com base na execução de uma tarefa. Após serem processados, os indicadores quantitativos passam a compor valores de parâmetros, que são utilizados para um método de avaliação da aquisição de HSM.

Além de valores quantitativos, observou-se também que há indicadores que são utilizados para informar aspectos qualitativos de avaliação. Esses indicadores normalmente são qualitativos quando apresentam atributos utilizados para caracterizar ou qualificar a execução de uma tarefa. São exemplos desses atributos: a tarefa foi executada de forma habilidosa ou não habilidosa; o executante está apto ou inapto; o movimento foi executado de forma correta ou incorreta.

Em um segundo momento, observou-se que métodos de avaliação da aquisição de HSM podem utilizar indicadores básicos, como o tempo, ou indicadores compostos que necessitam ser processados para obter-se um valor final (métricas ou atributos). Com base em atributos e métricas, métodos de avaliação passam então a processar novos indicadores, que produzem resultados utilizados na análise de determinados objetivos ou critérios estabelecidos para avaliar a aquisição de HSM.

Além disso, há a necessidade de distinguir as técnicas utilizadas para análise dos resultados de determinado estudo das que compõem, de fato, um método de avaliação. Justifica-se essa distinção porque a análise de resultados de um estudo experimental é útil na verificação da eficácia ou eficiência de determinada proposta, mas não compõe o núcleo central, que é capaz de processar resultados específicos de um método de avaliação da aquisição de HSM.

Dirigindo o foco para o núcleo central de métodos de avaliação de HSM encontrados em cada trabalho e nas três dimensões apresentadas em parágrafos anteriores, optou-se por dar importância à análise de trabalhos em diferentes abordagens de avaliação, as quais serão objeto de discussão nos próximos parágrafos.

Com o maior número de abordagens de avaliação destacou-se o campo da estatística (32%), cujos resultados indicam potenciais técnicas que podem

contribuir para o processamento de métricas e atributos de avaliação e para a geração de resultados de avaliação de aquisição de HSM orientada por um método específico.

Retomando a análise dos resultados dos estudos, em segundo lugar ficou a utilização de técnicas matemáticas, representando 28% no contexto dos trabalhos selecionados. Abordagens que incluem a utilização do campo da matemática possibilitam a obtenção de métricas de avaliação com base em sistemas simples de pontuação (questões objetivas e subjetivas) e em fórmulas de maior complexidade, capazes de processar métricas e atributos e de compor funções utilizadas para avaliar a aquisição de HSM.

Ocupando o terceiro lugar, está a predominância de abordagens utilizadas no campo da cinemática (16%). O potencial de técnicas originadas no campo da cinemática é destacado especialmente no processamento de métricas e atributos relacionados ao movimento humano por meio de dados capturados e processados em dispositivos eletrônicos.

Em quarto lugar, presentes em 12% dos trabalhos selecionados, estão as técnicas originadas no campo computacional. Os trabalhos encontrados apresentam discussões que transitam entre algoritmos de sistemas computacionais a métodos aplicados no campo de inteligência artificial.

No tocante a outras áreas, foram incluídas nessa categoria as abordagens de avaliação de HSM aplicadas no campo de estudos de usabilidade e também as medidas relacionadas à fisiologia humana, com 8% de representação nos trabalhos encontrados.

Justificando o estado da arte sobre métodos de avaliação da aquisição de HSM encontra-se o emprego da análise de técnicas em cada abordagem, o que possibilitou verificar que há métodos de avaliação aplicados tanto em contextos reais como em contextos virtuais de avaliação (Tabela 8). No entanto, não se verificou técnicas ou abordagens de avaliação automatizadas em AVIs 3D concebidas, de forma extensível, para avaliação de diferentes tarefas virtuais em contextos de treinamento médico, o que denota a motivação subjacente de investigar no presente trabalho um dos principais fatores de avaliação.

Além disso, a motivação para investigação no campo de treinamento médico é justificada, quando se verifica a predominância de trabalhos de avaliação da aquisição de HSM nesta área (Figura 11). O campo de treinamento médico

demonstra ser área potencial para a utilização de tecnologias que contribuem para a aplicação do método proposto nesta investigação, atingindo 45% de representação no universo dos trabalhos selecionados.

De forma específica, o âmbito de contribuição do método proposto ultrapassa o campo educacional ou de treinamento, podendo também servir de apoio à avaliação de HSM aplicável a processos de reabilitação humana. Esta característica está presente em 27% dos trabalhos selecionados.

Associados aos métodos de avaliação de aquisição de HSM, foram também identificados parâmetros presentes em diferentes abordagens de avaliação. Tomando como base os critérios de similaridade, diferentes parâmetros foram agrupados em sete categorias, a saber: i) erros; ii) tempo; iii) esforço e orientação; iv) percurso, destreza, sucesso ou insucesso; v) retroalimentação; vi) usabilidade ou grau de experiência; e vii) parâmetros capturados com a indicação de sinais fisiológicos humanos.

Para obtenção de valores relacionados aos parâmetros apresentados nas categorias retrocitadas, verifica-se que há diferentes formas de captura. Nota-se que há trabalhos que mencionam valores quantitativos ou qualitativos, que são obtidos por meio de questionários ou avaliações subjetivas ou capturados por meio de simuladores físicos ou dispositivos eletrônicos.

Quanto à captura de valores para parâmetros automatizados, destacam-se os dispositivos que incluem robôs (com destaque para exoesqueletos), *tablets*, sensores e marcadores, simuladores físicos e diversos dispositivos computacionais utilizados no campo de RV ou de sistemas multimídia.

Presentes em 45% dos trabalhos (Tabela 13) estão as formas de captura de parâmetros relacionadas ao registro de percurso em tarefas que abrangem duas dimensões específicas: por meio da captura de trajetórias e pela captura de gestos.

A captura de trajetória está presente na maior parte dos trabalhos em contextos virtuais (Tabela 8) e, como dito em parágrafos anteriores, essa técnica demonstra ter potencial para compor o processamento de diferentes métricas de avaliação de HSM. Para efeito de ilustração, é possível destacar a contribuição de Stylopoulos e Vosburgh (2007) por dois motivos: por apresentar um modelo de grande importância para a compreensão de trajetória como unidade de informação proveniente de ambientes tridimensionais e por mostrar o processamento de

diversas métricas como comprimento de caminho, suavidade de movimento e ambidestrezza (destreza manual).

Já a captura de gestos foi objeto de estudo na maior parte de trabalhos aplicados em contextos reais (Tabela 8). Essa dimensão envolve trabalhos com marcadores ou sensores para monitorar partes do corpo humano ou instrumentos em simuladores físicos utilizados no campo de reabilitação humana.

Ainda no tocante à captura de gestos, alguns autores salientam desafios quanto à obtenção do posicionamento ideal de sensores quando estes são afixados em instrumentos ou no corpo humano. São exemplos disso o trabalho de King et al. (2009) relativo ao desenvolvimento de uma luva de sensores sem fio com tecnologia BSN e o trabalho de Raphael et al. (2009), que utiliza o posicionamento de sensores para a captura de medidas fisiológicas humanas.

Observam-se ainda parâmetros que possuem valores quantitativos (métricas) capturados diretamente de uma unidade básica de informação, como o tempo. No entanto, nem todos os parâmetros possuem valores básicos representativos de uma única dimensão da informação. Em alguns trabalhos, verificou-se a aplicação de técnicas específicas para o processamento de valores compostos por diferentes dimensões de informação, por exemplo, o processamento de suavidade envolvendo o modelo *Jerk*, que processa métricas envolvendo diferentes medidas como tempo, aceleração e força.

Para melhorar a compreensão, a Tabela 11 destaca diferentes parâmetros relacionados à dimensão de uma unidade básica de informação (tempo) e a Tabela 13, parâmetros relacionados a métricas processadas envolvendo diferentes dimensões de informação como trajetória, oscilação de ângulos, comprimento de caminho e suavidade (*Jerk*).

Com base no estudo de métodos e parâmetros de avaliação, foi possível ainda verificar que grande parte dos métodos de avaliação é concebida para processar informações em diferentes etapas, a saber: i) captura de parâmetros de avaliação (de forma automatizada ou não automatizada; ii) processamento de parâmetros de avaliação (por diversas técnicas ou abordagens discutidas na Seção 2.2.1; e iii) processamento da avaliação de aquisição de HSM.

Diante das contribuições do estudo exploratório inicial e dos processos de RS, foi possível elaborar um método de avaliação da aquisição de HSM, conforme metodologia de projeto apresentada no próximo capítulo.

3 METODOLOGIA DO PROJETO

3.1. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO

Com os resultados dos estudos apresentados nos capítulos anteriores, foi possível identificar conceitos que contribuíram para a construção de um modelo teórico e um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM.

Foi possível notar que o campo de treinamento é uma das áreas mais exploradas em ambientes virtuais interativos 3D. Além disso, verificou-se a potencialidade de simuladores virtuais (Capítulo 2) aplicados no campo de treinamento envolvendo a aquisição de HSM.

No entanto, diante da abrangência de utilização de ambientes virtuais interativos 3D, nota-se que para estabelecer um método é necessário delimitar um contexto, pois o treinamento de HSM é aplicado desde procedimentos simples (como fixar um parafuso) até procedimentos complexos (como uma cirurgia cardíaca).

Diante disso, os próximos parágrafos apresentam reflexões com o objetivo de justificar as variáveis que foram eleitas ou excluídas da concepção de um modelo teórico de avaliação e os aspectos relacionados à delimitação do escopo da presente investigação, que estará restrita ao campo de treinamento médico.

Para iniciar essa discussão, faz-se necessário observar as contribuições do estudo bibliográfico inicial (Capítulo 1) e do processo de revisão sistemática (Capítulo 2) cujos resultados indicaram dimensões que devem ser consideradas para uma boa prática de instrução durante a realização de uma tarefa: i) a pessoa; ii) o ambiente; e iii) a própria tarefa (SCHMIDT; WRISBERG, 2010).

A avaliação de um indivíduo (pessoa) é analisada por Schmidt e Wrisberg (2010) sob o enfoque de fatores comportamentais, psicofisiológicos e sociais observados durante o desenvolvimento de uma determinada tarefa.

Além disso, quando se considera a avaliação da pessoa ou do indivíduo que realiza uma determinada tarefa, os autores direcionam o foco central da avaliação para a explicação dos aspectos ou das causas que foram responsáveis pelo sucesso ou insucesso de uma determinada estratégia de aprendizagem.

Embora os resultados da avaliação de execução de uma tarefa possam contribuir para o estudo das causas que influenciam no sucesso ou insucesso de uma estratégia de ensino, a variável “pessoa” foi desconsiderada porque, no método

proposto, a centralidade do processo de avaliação estará na execução de uma tarefa virtual.

Quanto ao ambiente de realização de uma tarefa, foi possível verificar que o ambiente físico ou do entorno em que se desenvolve determinada prática (estrutura, espaço físico e clima) influencia nos resultados de avaliação de tarefas, confirmando a visão de Schmidt e Wrisberg (2010) sobre o assunto.

Considerando a realização de tarefas em AVIs 3D, a variável “ambiente físico” foi descartada na presente investigação por motivo já mencionado: a centralidade do método está na avaliação de uma tarefa virtual realizada em um AVI 3D.

Com as contribuições de Kraiger, Ford e Salas (1993), observou-se a existência de propósitos de avaliação em uma taxonomia de abordagem multidimensional de aprendizagem. Na concepção desses autores, os propósitos devem ser definidos por especialistas antes da realização de um processo de avaliação. Para efeito da compreensão do escopo do método proposto, esses propósitos estão sumarizados na Tabela 18 e serão discutidos nos próximos parágrafos.

Tabela 18 - Propósitos de avaliação de treinamento

Propósito	Descrição
Aprendizagem (habilidade adquirida)	O propósito principal da avaliação nesse momento será verificar se houve ou não a aquisição de determinada habilidade a partir de metas preestabelecidas.
Desempenho	A avaliação de desempenho pode ser feita com base em duas dimensões: a) com base em métricas ou indicadores de desempenho. Exemplo: tempo ou número de erros para realizar um procedimento; b) com base na capacidade adaptativa de quem é avaliado: o trajeto desenvolvido na execução de uma tarefa contempla a melhor solução? Há alternativa que minimize o esforço utilizado?
Eficácia	A eficácia de treinamento tenta explicar porque determinada estratégia educacional deixou de alcançar os resultados almejados.
Transferência de treinamento	Preocupa-se em verificar até que ponto determinada habilidade foi adquirida ou desenvolvida com a prática do aprendiz.

Fonte: Adaptado de Kraiger, Ford e Salas (1993)

O primeiro propósito de avaliação enunciado na Tabela 18 é o mais conhecido por ser o mais indicado para verificar se certa habilidade foi adquirida ou desenvolvida pelos sujeitos de determinada prática educacional ou de treinamento.

Esse propósito tornou-se relevante no contexto desta investigação quando se verificou, nos trabalhos encontrados no Capítulo 2, a necessidade de configurar os parâmetros de avaliação de acordo com as metas preestabelecidas para a realização de tarefas por aprendizes ou avaliadores.

O estabelecimento de metas tornou possível a caracterização de uma execução habilidosa ou não habilidosa e a descrição de um desempenho desejado orientado por regras ou critérios de avaliação. Assim, fatores que qualificam uma execução como habilidosa ou não serão compreendidos no método proposto em função dos propósitos representados por parâmetros **discriminatórios** de avaliação.

No entanto, apenas indicar que uma execução é habilidosa ou não pode ser insuficiente para verificar se determinadas metas para a realização de uma tarefa foram alcançadas. Essa afirmação é justificada pelos resultados obtidos nos estudos de revisão sistemática e o estudo com especialistas envolvendo profissionais da área de treinamento médico, os quais evidenciaram trabalhos ou tarefas que requerem a medição do desempenho quando da observação da execução de uma tarefa virtual.

Diante disso, necessidades relacionadas a medidas de desempenho, foram definidas com base em parâmetros **classificatórios** cujos valores ou métricas obtidos deverão ser capazes de representar o desempenho de um indivíduo observado durante a execução de uma tarefa.

Além de fatores de desempenho, Schmidt e Wrisberg (2010) consideraram a possibilidade de se avaliar a capacidade adaptativa de um indivíduo em ambientes que podem ser caracterizados como previsíveis ou imprevisíveis.

Se considerada uma sequência aleatória de passos possíveis em determinado cenário de avaliação, a análise da capacidade adaptativa vai exigir a combinação de infinitas possibilidades de ocorrência de movimentos do indivíduo sob avaliação. Assim, a complexidade de construir um AVI 3D que simule tarefas imprevisíveis passa a ser um problema que extrapola a proposta do presente método de avaliação, ficando, no entanto, inviável nesse momento, a resolução desse problema, diante do desafio que se situa antes de tudo no campo do ensino ou em estratégias utilizadas para fomentar a aquisição de HSM.

Em face da dificuldade mencionada, foram excluídas variáveis relacionadas a tarefas imprevisíveis e foi almejada a construção de um método que

considere restritamente a avaliação de tarefas previsíveis compostas por uma série de passos bem definidos e configurados por especialistas.

Schmidt e Wrisberg (2010) destacaram não apenas a avaliação que considera os propósitos de aprendizagem e desempenho, mas também a existência de fatores de eficácia e transferência de treinamento.

A eficácia de treinamento tenta explicar porque determinada estratégia de treinamento deixou de alcançar resultados; já a avaliação de transferência de treinamento é muito utilizada nos ambientes laborais, com o objetivo de verificar a eficiência do ensino de HSM tomando como base a avaliação das habilidades aplicadas em contextos reais de treinamento.

Considerando que o processo de avaliação está centrado na execução de tarefas virtuais que acontecem em AVI 3D, os fatores de eficácia de treinamento e transferência de treinamento não farão parte do método proposto.

No campo da avaliação, Haydt (2011) apresenta reflexões sobre funções de avaliação, a saber: i) diagnóstica; ii) somativa e iii) processual.

Para efeito da presente proposta, o método de avaliação contempla as funções somativa e diagnóstica. A primeira visa a avaliar os resultados de aprendizagem ou de aquisição de HSM com base em indicadores de avaliação obtidos no final do processo (notas ou conceitos); a segunda tem o objetivo de verificar duas situações: o estágio em que se encontra a aquisição de HSM de um indivíduo em determinado momento e a evolução desse indivíduo em diferentes sessões de treinamento e avaliação.

Na dimensão de avaliação processual, o método proposto se limitará a informar aos especialistas e aos próprios aprendizes os indicadores finais de desempenho ou graus de habilidades adquiridos. No entanto, embora haja indicadores de resultados, o método não contemplará funcionalidades para reorientar o indivíduo durante o percurso de aquisição de HSM, ficando, portanto, as contribuições do método centradas nas funções somativa e diagnóstica.

Considerando as reflexões sobre decomposição de tarefas apresentadas por Kraiger, Ford e Salas, (1993), um método de avaliação deve permitir a análise de tarefas fragmentadas em etapas para diferentes níveis de hierarquia, como tarefas, procedimentos, etapas e movimentos básicos que compõem cada etapa.

Esses conceitos podem ser observados nos exemplos encontrados em programas de treinamento de procedimentos cirúrgicos na área de laparoscopia – Tabela 19.

Tabela 19 – Fragmentação entre tarefas e habilidades adquiridas

Etapas	Movimentos
1	Adquirir e executar
2	Transferir de local
3	Atravessar
4	Retirar e inserir
5	Aplicar diatermia
6	Manipular e aplicar diatermia
Habilidades	1. [D] (<i>skill</i>) colocar pinos em uma placa usando a mão dominante 1. [N] (<i>skill</i>) colocar pinos em uma placa usando a mão não dominante

Fonte: Adaptado de Madan (2006, p. 210).

As etapas de 1 a 6 da Tabela 19 representam os movimentos que caracterizam as execuções habilidosas em tarefas de colocar pinos em uma placa usando a mão dominante 1 [D] e não dominante 1[N]. Com o exemplo citado pretende-se destacar que, para a execução de uma tarefa, uma ou mais habilidades devem ser adquiridas, compondo na sequência um agrupamento de movimentos em estágios iniciais, básicos e avançados (Tabela 20).

Tabela 20 – Estágios e hierarquias de desenvolvimento de HSM

Estágio/Hierarquia	Descrição do estágio
Estágio Inicial (EI) – Procedimentalização	Desenvolvimento de habilidades a partir da movimentação isolada de um ou mais conjuntos de músculos.
Estágio Básico (EB) – Composição de Tarefas	Quando um conjunto de um ou mais movimentos é combinado para se atingir determinados objetivos.
Estágio Avançado – (EA) – Compilação de Tarefas	Capacidade adaptativa.

Fonte: Adaptado de Kraiger, Ford e Salas, (1993)

Consoante as concepções apresentadas por Kraiger, Ford e Salas, (1993), adaptou-se uma hierarquia de fragmentação de tarefas, que será considerada, para efeito de elaboração da metodologia proposta, sob três vertentes: i) tarefas, ii) etapas e iii) movimentos básicos.

Essa sequência também poderá ser interpretada de acordo com a seguinte leitura: uma tarefa é composta de etapas. Uma ou mais etapas estão

associadas a movimentos de estágio básico (EB), que são compostos de um ou mais movimentos isolados de estágio inicial (EI).

Quanto à avaliação de estágios de habilidade, que pressupõe a capacidade adaptativa de um sujeito, ela não será contemplada no presente método, uma vez que é uma característica implícita dos indivíduos (pessoa) e não da execução de uma tarefa.

Com as contribuições de Schmidt e Wrisberg (2010), foi possível identificar a importância do estabelecimento de metas nos processos de treinamento de HSM e, conseqüentemente, das metas almejadas nos resultados obtidos com o uso de estratégias de avaliação definidas por especialistas em cada domínio de treinamento.

Esses aspectos foram discutidos de forma a contemplar dimensões de organização de tarefas na forma discreta, seriada ou contínua, e ainda na perspectiva do desenvolvimento humano envolvendo aspectos cognitivos ou motores.

Considerando a realização de tarefas em ambientes previsíveis e o estabelecimento de uma sequência de passos com base na execução conhecida de trajetórias executadas por aprendizes, o presente método contempla a avaliação de tarefas virtuais discretas, seriadas e previsíveis situadas no campo restrito das habilidades motoras.

Tomando tais concepções como referência, foi sumarizada na Tabela 21 a delimitação do escopo da presente investigação. Na sequência, serão discutidas as etapas conduzidas para se desenvolver o método de avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D para treinamento médico.

Tabela 21 – Variáveis e delimitação do escopo do método

(Continua)

Variável/abreviação	Delimitação
i. Pessoa: (Pe)	O método apresenta resultados restritos à avaliação de tarefas virtuais, não abrangendo discussões relacionadas a aspectos cognitivos, fisiológicos ou psicossociais dos indivíduos.
ii. Ambiente: físico (Af) ou virtual (Av)	O método foi concebido para avaliação de uma tarefa realizada em um AVI 3D.
iii. Propósitos: (Pr)	O método contempla a avaliação na dimensão de desempenho ou de verificação de uma habilidade, determinando se ela foi ou não adquirida com base em critérios e parâmetros predefinidos por especialistas.

Tabela 21 – Variáveis e delimitação do escopo do método

(Conclusão)

Variável/abreviação	Delimitação
iv. Tarefa: real (Tr) ou virtual (Tv)	O método contempla a avaliação restrita a tarefas realizadas em AVIs 3D.
v. Habilidades adquirida: (H)	No contexto amplo da aprendizagem humana, o método está restrito à avaliação de HSMs adquiridas.
vi. Desempenho (De) ou Capacidade Adaptativa (Ca)	O método avalia fatores relacionados ao desempenho ou à habilidade adquirida.
vii. Eficácia: (Ef)	Os fatores responsáveis pelo insucesso/sucesso de uma estratégia podem ser estudados, levando em conta os resultados da avaliação de tarefas.
viii. Transferência de treinamento: (T)	Apesar dos resultados da avaliação, o próprio especialista ou professor deverá analisar a eficiência da habilidade desenvolvida no local em que ocorre a sua aplicação.
ix. Funções de avaliação: Processual (Fap), diagnóstica (Fad) e somativa (Fas)	O método está centrado nas funções diagnóstica e somativa.
x. Granularidade/etapas do processo de avaliação: (G)	O método contempla a análise de tarefas, adotada para a decomposição em procedimentos, etapas e movimentos básicos.
xi. Forma de organização da habilidade: discreta (Fhd), seriada (Fhs), contínua (Fhc), cognitiva (Fhcg), motora (Fhm).	A avaliação é contemplada sob o aspecto da organização de tarefas seriadas e de forma restrita aos resultados do campo de comportamento motor.
xii. Contexto: (C)	Treinamento médico em AVIs 3D.

Fonte: Autor

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Segundo as discussões de Gil (*apud* Gerhard e Silveira, 2009) é possível classificar as pesquisas em três grupos: i) exploratória, ii) descritiva e iii) explicativa.

Desenvolvido sob a técnica da pesquisa exploratória, o estudo bibliográfico realizado (Capítulo 1) teve por objetivo adquirir familiaridade com o tema proposto, a qual redundou da identificação das principais referências que contribuem para esta investigação. Os resultados possibilitaram o conhecimento sobre fundamentos do campo de realidade virtual, a avaliação de HSM e a delimitação do escopo da pesquisa no campo de treinamento médico.

A pesquisa exploratória também foi empregada na condução dos processos de **revisão sistemática sobre métodos e parâmetros** de avaliação da aquisição de HSM. Foi também realizado, pesquisas explicativas por meio de um

processo de análise de requisitos envolvendo duas dimensões: i) estudo com especialistas e ii) análise de viabilidade de um **framework** de treinamento médico.

Para a compreensão do percurso metodológico desta investigação, foi elaborado um diagrama de etapas da pesquisa (Figura 12), que é sucedido pela explicação sumariada das etapas seguintes, as quais consolidaram a metodologia do processo de investigação.

Figura 12 – Diagrama de etapas da pesquisa

Fonte: Autor

Os resultados de ambas as pesquisas possibilitaram as contribuições iniciais para a definição de um **modelo teórico de avaliação da aquisição de HSM** (Seção 4.1).

O processo de análise de requisitos foi realizado com o propósito de familiarizar-se com o domínio de treinamento eleito em cada experimento. Já os estudos experimentais foram realizados com o propósito de selecionar variáveis específicas e analisar a contribuição dessas a partir do objetivo da investigação e de hipóteses que foram formuladas para a realização de cada experimento.

Para implementar um método semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D, foi concebido um **modelo matemático e estatístico de avaliação** de tarefas virtuais (Seção 4.2). Posteriormente com o objetivo de desenvolver técnicas de processamento de avaliação, foi proposta **a arquitetura do método semiautomatizado** (Seção 4.4). A adoção da arquitetura do sistema computacional e das contribuições do campo da matemática e da estatística permitiu a implementação de um **método semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM** (Seção 4.5).

Em paralelo a essas etapas, experimentos foram realizados com o objetivo de aperfeiçoar e validar método proposto e, ao mesmo tempo, verificar hipóteses delineadas em conformidade com os objetivos da presente investigação. Os resultados experimentais são disponibilizados no Capítulo 5.

3.3 ANÁLISE DE REQUISITOS

Para compreender o domínio de treinamento médico e, em especial, as tarefas que fazem parte do escopo do método proposto e o estudo de viabilidade de utilização de um AVI 3D, a análise de requisitos contemplou duas dimensões: i) estudo com especialistas e ii) análise de viabilidade tecnológica, conforme discussão apresentada a seguir.

3.3.1 Estudo com especialistas

A motivação para a realização do estudo com especialistas partiu da necessidade de analisar duas dimensões: i) compreender as técnicas utilizadas para ensinar e avaliar a aquisição de HSM no contexto de um curso de Enfermagem de

uma universidade pública e ii) verificar a variação existente entre as avaliações de especialistas executadas com base em critérios de observação humana.

Participaram do estudo três professoras na faixa etária de 37 a 49 anos e experiência profissional compreendida entre 15 a 28 anos.

Para a realização da **primeira dimensão** do estudo, (antes de apresentar o método proposto) foi desenvolvido um questionário semiestruturado (Apêndice C) que permitiu a coleta de informações essenciais para a compreensão de técnicas de ensino e avaliação utilizadas no contexto de atuação das professoras voluntárias. Com base nesse instrumento, discussões foram realizadas com o objetivo de ampliar a compreensão de tarefas que envolvem o ensino de cuidados de Enfermagem no contexto de atuação das professoras voluntárias.

Na sequência, realizou-se um seminário com o objetivo de familiarizar as especialistas com AVIs 3D. A oportunidade também serviu para a atualização das professoras voluntárias sobre os resultados da pesquisa realizada até aquele momento.

Na ocasião, foi feito um convite às professoras especialistas para que participassem da pesquisa de três maneiras: i) contribuindo para a calibração do AVI 3D; ii) orientando e recrutando voluntários (alunos) com o objetivo de realização de uma tarefa virtual; e iii) desenvolvendo avaliações paralelas ao método semiautomatizado, durante cada experimento e de acordo com a técnica de avaliação que utilizavam em sala de aula.

A participação das professoras voluntárias foi consolidada em sessões de treinamento de aprendizes, os quais foram avaliados de forma transversal à realização dos experimentos em ambientes virtuais, descritos na Seção 3.5.

Para consolidar a **segunda dimensão** do estudo proposto, ao final da realização dos experimentos (Seção 3.5), foram comparados os julgamentos das especialistas com o objetivo de verificar se houve ou não variação do grau de consenso, mensurado com a aplicação da técnica estatística de análise de coeficiente de variação (SIEGEL; CASTELLAN, 1988).

Após participação nos experimentos, as especialistas também relataram suas percepções sobre pontos fracos e fortes do método de avaliação que estava sendo concebido, assim como sobre os ambientes virtuais apresentados para os experimentos.

A primeira contribuição foi pautada em sugestões que poderiam aperfeiçoar o ambiente virtual, destacando-se: i) sugestão de aumento do “braço” do dispositivo háptico para permitir maior grau de realismo durante a realização das tarefas virtuais; ii) melhoria da visualização de regiões demarcadas para evitar dúvidas na aplicação; iii) aumento do número de “janelas” para disponibilizar novos pontos de vista de observação dos especialistas.

Analisando a **segunda dimensão**, foi possível verificar divergências nos julgamentos dos especialistas por meio da análise da técnica estatística de coeficiente de variação, conforme será apresentação do segundo e terceiro experimento (Seção 5.2 e 5.3).

Além disso, para a condução de um primeiro experimento com a manipulação de um cubo virtual (Seção 3.5.1) foram recrutados três especialistas do campo de informática com idade entre 19 a 26 anos. Os especialistas participaram do processo de calibração do método de avaliação da aquisição de HSM.

3.3.2 Análise de viabilidade tecnológica

Com o objetivo de verificar as possibilidades de avaliar tarefas realizadas em um AVI 3D, foi desenvolvido um estudo para analisar a viabilidade de captura e armazenamento de trajetórias em um ambiente que tivesse características ou funcionalidades de simulação de tarefas no campo de treinamento médico. O estudo foi conduzido com a participação de um aluno voluntário do curso de Medicina e de um professor da disciplina de Anatomia, com idades de 22 e 46 anos, respectivamente.

Para isso, foi utilizado inicialmente um *framework* de treinamento médico – *Virtual Medical Training* (ViMeT), desenvolvido pelo LApIS (Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde) da EACH (Escola de Artes, Ciências e Humanidades) e pelo Interlab (Laboratório de Tecnologias Interativas da Escola Politécnica), ambos da Universidade de São Paulo – USP (OLIVEIRA; NUNES, 2010).

O ViMeT é um *framework* orientado a objetos, composto por um conjunto de classes construídas usando a linguagem Java, que permite gerar, de forma rápida, aplicações para simular exames de biópsia (Figura 13).

Além de possibilitar a seleção de modelos sintéticos para representar um órgão humano e um instrumento médico, o *framework* fornece funcionalidades

comuns a esse tipo de aplicação, tais como estereoscopia, detecção de colisão com precisão, deformação e interação com dispositivos não convencionais. Sua estrutura modular permite que sejam acoplados, novos métodos ou, até mesmo, novas funcionalidades a essas funcionalidades (OLIVEIRA; NUNES, 2010).

A aplicação foi adaptada para as seguintes especificações tecnológicas: linguagem de programação Java, biblioteca Java 3D⁸, apoio da *Integrated Environment* (IDE) *NetBeans*⁹, sistema gerenciador de banco de dados *SQLite*¹⁰ em conexão via biblioteca *Java Database Connectivity* (*JDBC*)¹¹.

Figura 13 - Diagrama com as classes do ViMeT

Fonte: Oliveira e Nunes (2010, p. 710)

Adicionalmente, é disponibilizada uma ferramenta para auxiliar na instanciação das classes (Figura 14), denominada *ViMeTWizard*, a fim de gerar aplicações semiprontas (NUNES et al., 2007).

⁸ Java 3D é uma biblioteca gráfica adicional à linguagem de programação Java para ambientes tridimensionais. Maiores informações: <http://www.java3d.org/>.

⁹ NetBeans IDE. Do inglês *Integrated Development Environment* (IDE) ou Ambiente Integrado de Desenvolvimento NetBeans. É um sistema que reúne ferramentas de apoio ao processo de desenvolvimento. Maiores informações: <https://netbeans.org/>.

¹⁰ SQLite é uma biblioteca que implementa um banco de dados embutido. Maiores informações: <http://www.sqlite.org/>.

¹¹ JDBC – conjunto de classes e interfaces escritas em Java que fazem o envio de instruções SQL para banco de dados relacional. Maiores informações: <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/jdbc/>.

Figura 14 – Interface da ferramenta ViMeTWizard

Fonte: LApIS, Interlab (2013)

Nota: Interface capturada durante a execução da ferramenta

Com base nos estudos exploratórios iniciais, foram analisados indícios de captura e armazenamento de informações, adaptando uma aplicação semipronta gerada pelo *framework* ViMeT, simulando um exame de biópsia mamária (Figura 15).

Figura 15 – Aplicação gerada com o *framework* ViMeT

Fonte: LApIS, Interlab (2013)

Nota: Interface capturada durante a execução da aplicação

O estudo foi conduzido em duas etapas. Na primeira, foi desenvolvido um processo de ambientação. O aluno e o professor foram orientados a manipular o instrumento em direção ao órgão virtual (mama), com o objetivo de inserir e retirar a

agulha de um instrumento médico virtual (seringa). Considerando o estágio inicial de desenvolvimento da aplicação, a execução da tarefa foi realizada com um dispositivo de interação simples (*mouse*).

Na segunda etapa, foram armazenadas em um banco de dados as informações de trajetória relativas à sessão de treinamento de cada voluntário. Os dados coletados foram analisados e discutidos, com o objetivo de aperfeiçoar um módulo de captura de interações em um AVI 3D e de possibilitar testes com técnicas candidatas ao método de avaliação da aquisição de HSM. Na Tabela 22, são extraídos dados amostrais de uma sessão de treinamento.

Tabela 22 – Gravação de trajetória – dados amostrais

Tempo (ms)	Var. X	Var. Y	Var. Z
100	504.0	340.0	0.0
200	505.0	340.0	0.0
300	506.0	340.0	0.0
400	508.	340.0	0.0
500	509.0	340.0	0.0
600	510.0	340.0	0.0
700	512.0	340.0	0.0
800	513.0	340.0	0.0
900	514.0	340.0	0.0

Fonte: Autor

Para a realização das tarefas virtuais foi utilizado um microcomputador Dell, *Optiplex 760*, Intel(R), Core 2 Duo CPU. 3,00GHz 3,00GHz, Memória de 2GB, Sistema Operacional de 32bits, *Windows 7 Profissional, Service Pack 1*.

A inexistência de valores relacionados ao eixo Z é devida ao uso do mouse para interação. Na Figura 16 há um exemplo de traçado visual de trajetória (percorrida por um usuário).

A taxa de tempo de 100 milissegundos usada na Tabela 22 foi definida a partir da capacidade de processamento (*hardware*) do sistema computacional utilizado durante o estudo em questão. Para chegar a essa conclusão testes foram realizados e verificou-se qual a taxa em que a captura das interações poderia ser realizada sem a perda de dados.

Com o objetivo de aperfeiçoar o módulo para captura, reprodução e armazenamento de interações humanas em um banco de dados, uma nova aplicação foi gerada com as classes ***MouseCollect.java*** e ***MouseReproduce.java*** implementadas.

Figura 16 – Exemplo de traçado visual de trajetória de um usuário interagindo com o *mouse*

Fonte: Autor

As alterações provenientes das funcionalidades resultaram no diagrama de classes atualizado do ViMeT representado na Figura 17.

A primeira classe tem como objetivo a coleta de dados resultantes da manipulação do objeto virtual (seringa), que representa o instrumento médico quando manipulado pelo usuário. A classe *MouseReproduce.java* tem como objetivo reproduzir o movimento desse mesmo objeto utilizando as coordenadas X, Y e Z.

Os voluntários que participaram do estudo sugeriram melhorias no aspecto visual do instrumento e do órgão anatômico virtual (mama) e a implementação de sensação tátil ao efetuar a colisão do instrumento com o órgão. As informações iniciais da captura de trajetória motivaram testes com potenciais técnicas para processar métricas de avaliação encontradas no estudo bibliográfico mencionado nos Capítulos 1 e 2.

Diante desses resultados, iniciou-se um processo de adaptação da aplicação gerada para compor um AVI 3D, adicionando-se as seguintes funcionalidades: i) captura de interação e armazenamento de trajetórias em banco de dados (Seção 3.3.2); ii) implementação de interface para comunicação da linguagem nativa do dispositivo háptico com o Java 3D (Seção 4.5.1); iii) comunicação da aplicação com uma ferramenta automatizada para processar dados matemáticos e estatísticos (Seção 4.5.1).

Figura 17 - Diagrama com as classes do ViMeT

Fonte: Adaptado de Oliveira e Nunes (2010, p. 710)

Para o processamento matemático e estatístico dos dados de trajetória, o módulo de captura de interação do método semiautomatizado foi adaptado para comunicar-se com o ambiente de desenvolvimento integrado “R” – versão 3.0.1¹², cuja linguagem de programação permite a execução de cálculos matemáticos e estatísticos, além da geração de gráficos tridimensionais.

Dentro do ambiente integrado, os dados de trajetória foram processados por programas que implementaram, em linguagem de programação “R”, as técnicas matemáticas e estatísticas discutidas na Seção 4.5.1.

Atendendo à sugestão dos voluntários, a aplicação gerada para realização dos experimentos foi adaptada com a resistência de força. Quando a ponta da agulha atingia o modelo anatômico foi aplicado resistência de força para simular a sensação de penetração da agulha no órgão. Para garantir que a agulha penetrasse o órgão virtual e não o ultrapassasse, foi aplicada a resistência de força máxima quando a base da agulha atingia o órgão.

¹² R Development Core Team (2011) - R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 - URL <http://www.R-project.org/>

3.4. DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE HABILIDADES SENSORIO-MOTORAS

A definição do método de avaliação de HSM para ambientes virtuais tridimensionais foi elaborada em quatro etapas:

- **modelo conceitual:** nesta etapa foram definidas as bases conceituais para o método de avaliação considerando tanto a análise de requisitos previamente conduzida, quando os parâmetros e métodos elencados a partir da revisão bibliográfica;
- **modelo matemático e estatístico:** a partir da análise dos métodos citados na literatura para avaliar a aquisição de habilidades específicas, esta etapa consistiu em verificar a viabilidade de modelos matemáticos e estatísticos para compor o método de avaliação de HSM;
- **modelo arquitetural:** esta fase foi responsável por definir módulos que deveriam compor um sistema automatizado considerando as premissas definidas no modelo conceitual;
- **implementação:** nesta última etapa foram implementados os módulos definidos no modelo arquitetural, compondo um sistema computacional capaz de fornecer a avaliação da aquisição de HSM em ambientes virtuais 3D.

Apesar da apresentação sequencial das etapas citadas, salienta-se que a elaboração do método ocorreu de forma iterativa e em paralelo com a condução de experimentos que pudessem validar cada etapa e fornecer subsídios para correção de eventuais pontos falhos para a etapa seguinte. As premissas e técnicas que compõem cada etapa são apresentadas no Capítulo 4. As bases metodológicas empregadas para realização dos experimentos são apresentadas a seguir, na Seção 3.5. Os resultados obtidos com os experimentos conduzidos são disponibilizados no Capítulo 5.

3.5 VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Para validar cada etapa do método elaborado, foram conduzidos experimentos em ambientes virtuais implementados para execução de tarefas específicas.

A condução de cada experimento foi desenvolvida com uma exposição coletiva dos objetivos para os alunos do curso de Enfermagem, seguida da aplicação de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice F), que formalizou a aceitação de todos os voluntários interessados em participar do experimento. A pesquisa foi submetida e aprovada pelo comitê de ética da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), com o certificado nº: 20850213.0.0000.5541 (Anexo A.)

Após o consentimento prévio dos voluntários interessados em participar dos experimentos, foi conduzido o processo de ambientação do AVI 3D sob a orientação das professoras especialistas e ao final, foi aplicado um questionário semiestruturado (Apêndice G) com o objetivo de coletar a percepção das especialistas sobre o método de avaliação.

Os experimentos foram conduzidos visando a validar o potencial do método em discriminar e classificar HSM e, para isso, foram definidos objetivos ou hipóteses. A Tabela 23 apresenta a descrição de cada experimento realizado ao longo do projeto.

Tabela 23 – Análise de requisitos e experimentos

Tipo de estudo	Descrição do estudo
Primeiro experimento (Seção 3.5.1)	Comparação de técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas na avaliação de destreza manual em um AVI 3D.
Segundo experimento (Seção 3.5.2)	Avaliação da tarefa de aplicação de injeção intramuscular na região glútea.
Terceiro experimento (Seção 3.5.3)	Avaliação da tarefa de aplicação de injeção subcutânea na região abdominal.

Fonte: Autor

Conforme pode ser conferido na Tabela 23, o primeiro experimento consistiu na comparação de técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas no processamento de métricas de avaliação, enquanto o segundo possibilitou analisar a eficiência do método proposto com base na comparação de resultados da avaliação

conduzida por especialistas e pelo método semiautomatizado. Já o terceiro estudo experimental possibilitou verificar a utilização de diferentes parâmetros (automatizados e não automatizados) para avaliar a aquisição de HSM durante o desenvolvimento de uma tarefa virtual.

Os três experimentos seguiram procedimentos similares, tendo sido consideradas duas dimensões: i) análise da eficiência do método na discriminação e classificação de HSM e ii) a comparação de resultados entre mais de uma abordagem ou técnicas de avaliação.

Quando da verificação do acerto no processo de discriminação e classificação, é analisada a concordância e a divergência com a aplicação do coeficiente *kappa* (Raphael et al. 2011), dado pela Equação (1).

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

em que p_o é a proporção de concordâncias observadas e p_e é a proporção de concordâncias esperadas.

Para avaliar a concordância, Landis e Koch (1977) sugerem a interpretação descrita na Tabela 24.

Tabela 24 – Interpretação dos valores de *kappa*

Valores de <i>kappa</i>	Interpretação
<0	Sem concordância
0-0.19	Concordância pobre
0.20-0.39	Concordância leve
0.40-0.59	Concordância moderada
0.60-0.79	Concordância substancial
0.80-1.00	Concordância quase perfeita

Fonte: Landis (1977, p. 165, tradução nossa)

No intuito de comparar os resultados de classificação ou a ordem entre dois conjuntos de dados é considerada a pontuação obtida por uma função discriminante (descrita na Seção 4.2.2), sendo realizada uma análise de concordância entre os métodos de avaliação utilizando-se o coeficiente de concordância de *Kendall* (SIEGEL; CASTELLAN, 1988).

O coeficiente de concordância de *Kendall* é uma técnica estatística não paramétrica, que varia de zero – “Ausência de concordância” a um “Concordância total”, conforme Equação (2).

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}k^2(n^3 - n)} \quad (2)$$

em que k é o número de métodos de classificação, n é o número de indivíduos e S é a soma dos R_i , representando a soma da pontuação obtida, conforme Equação (3).

$$S = \sum_{i=1}^n \left(R_i - \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \right)^2 \quad (3)$$

As próximas seções descrevem os experimentos conduzidos para validação do método proposto, sendo apresentado como cada estudo proposto foi planejado com base nos objetivos e hipóteses delineadas.

3.5.1 Primeiro experimento

O primeiro experimento foi conduzido com o propósito de discutir o potencial de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliar a aquisição de HSM durante a execução de uma tarefa envolvendo a análise de destreza manual de indivíduos em um AVI 3D. A descrição detalhada da tarefa, assim como o ambiente virtual construído para executá-la são apresentados em conjunto com os resultados obtidos, na Seção 5.1.

Durante a execução da tarefa virtual, o experimento verificou a seguinte hipótese: **É possível a utilização de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliação da aquisição de HSM em AVI 3Ds.**

Com relação aos objetivos a serem alcançados pelo estudo, foram consideradas três dimensões específicas: i) análise da eficiência de técnicas matemáticas e estatísticas para classificar corretamente execuções em grupos de menor ou maior grau de habilidade; ii) comparação dos resultados da classificação baseada no uso de duas técnicas de processamento de métricas e iii) análise da capacidade do método para classificar execuções de menor ou maior habilidade, de acordo com a utilização da mão dominante e não dominante de um indivíduo.

Quando da realização do experimento, foram convidados 100 voluntários (setenta homens e trinta mulheres), sendo noventa e cinco destros e cinco canhotos. Com o objetivo de caracterizar o perfil desses participantes e conhecer os aspectos

relacionados à destreza manual de cada indivíduo, antes do experimento, os voluntários foram convidados a responder a um questionário *on-line* (Apêndice G).

Os estudos sobre a destreza humana e definição de critério de avaliação, foram norteados por um questionário elaborado com base em Strien (2002) e na contribuição de três especialistas (usuários experientes em tecnologia da informação), com mais de oito anos de atuação na área.

Quanto ao teste de eficiência ou ao grau de acerto do processo da classificação, foi aplicado o teste estatístico de *kappa* e a análise de normalidade de dados, utilizando os testes *Kolmogorov-smirnov* e *Mann-Whitney* (SIEGEL, 1956).

Por último, utilizando-se o método de *Kendall*, foram comparados os resultados da ordem de classificação por meio da utilização de parâmetros e métricas processadas considerando cada uma das técnicas matemáticas utilizadas – distância de ponto e plano e medidas direcionais (detalhes na Seção 4.2.1.1 e 4.2.1.5).

3.5.2 Segundo experimento

O segundo experimento usou um AVI para treinamento de aplicação de injeção na região glútea e foi delineado para atingir três objetivos: i) identificar os parâmetros para a realização de avaliação de HSM em uma tarefa virtual; ii) analisar se o método de avaliação da aquisição de HSM proposto é capaz de discriminar e classificar adequadamente tarefas virtuais; e iii) verificar a relação existente entre os resultados de avaliação obtidos por um método semiautomatizado e os resultados obtidos com base no julgamento de especialistas. A descrição das tarefas, dos parâmetros e do Ambiente Virtual é apresentada, juntamente com os resultados do experimento, na Seção 5.2.

Para atingir esses objetivos foram formuladas as seguintes hipóteses: **i) é possível avaliar com precisão a aquisição de HSM por meio de um método semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa; ii) é possível classificar graus distintos de habilidades, avaliando tarefas virtuais desenvolvidas em AVI 3D; iii) há proximidade entre avaliação automatizada realizada em um AVI 3D e a avaliação feita por um especialista.**

A realização do experimento contou com a participação de 43 estudantes, que foram divididos em dois grupos.

O primeiro grupo (Grupo I) foi formado por vinte voluntárias do sexo feminino que cursavam o quinto semestre do curso de Enfermagem, com idades entre 20 e 30 anos. As voluntárias foram consideradas experientes, uma vez que participaram de um processo de formação para desenvolver habilidades específicas na tarefa que foi utilizada para o experimento. O segundo grupo (Grupo II) foi formado por vinte e três voluntários, sendo sete do sexo masculino e dezesseis do sexo feminino. Esses voluntários foram considerados iniciantes, por serem alunos recém-admitidos no curso de Enfermagem da instituição, sem experiência prévia com aplicação de injeções.

Ao final do experimento, foi verificado o grau de acerto do classificador considerando o julgamento dos especialistas e do método semiautomatizado.

Em posse das pontuações obtidas pelo classificador, foi realizada uma análise de concordância entre a avaliação de especialistas e a avaliação do método semiautomatizado, utilizando o coeficiente de concordância de *Kendall*, definido na Equação (2).

3.5.3 Terceiro experimento

O experimento usou um AVI para treinamento de aplicação de injeção subcutânea na região abdominal e foi delineado para atingir três objetivos: i) identificar os parâmetros para a realização de avaliação de HSM em uma tarefa virtual de aplicação de injeções subcutâneas; ii) analisar se o método de avaliação da aquisição de HSM proposto é capaz de discriminar e classificar adequadamente tarefas virtuais; e iii) analisar a utilização de parâmetros automatizados e não automatizados para avaliar a aquisição de HSM. A descrição das tarefas, dos parâmetros e do Ambiente Virtual é apresentada, juntamente com os resultados do experimento, na Seção 5.3.

Tendo em vista o alcance desses objetivos, foram formuladas as seguintes hipóteses: i) **é possível avaliar com precisão a aquisição de HSM por meio de um método semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa**; ii) **é possível classificar graus distintos de habilidades, avaliando tarefas virtuais desenvolvidas em AVI 3D**; iii) **é possível combinar parâmetros automatizados e não automatizados para discriminar e classificar HSM**.

Para a realização do experimento, foram recrutados vinte e dois estudantes, que foram divididos em dois grupos.

O primeiro grupo (Grupo I) foi formado por dez voluntárias do sexo feminino que cursavam o quinto semestre do curso de Enfermagem. As voluntárias foram consideradas experientes, por terem participado de um processo de formação para desenvolver habilidades específicas na tarefa utilizada para o experimento.

O segundo grupo (Grupo II) foi formado por doze voluntários, sendo oito do sexo feminino e quatro do sexo masculino. Os voluntários do Grupo II foram considerados iniciantes, por serem alunos recém-admitidos no curso de Enfermagem da instituição e por não possuírem experiência prévia com aplicação de injeções.

Ao final do experimento foi verificado o grau de acerto do classificador, que levou em conta o julgamento dos especialistas e do método semiautomatizado.

Por último, tomando por base as pontuações obtidas pelo classificador, realizou-se uma análise de concordância entre a avaliação de especialistas e a avaliação do método semiautomatizado, em que se utilizou o coeficiente de concordância de *Kendall* definido na Equação (2).

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta um relato do percurso metodológico necessário para a construção de um método de avaliação da aquisição de HSM em ambientes virtuais interativos 3D.

Inicialmente, foi realizada uma discussão com base nos resultados na revisão bibliográfica (Capítulo 1) e no estudo de Revisão Sistemática (Capítulo 2) com o objetivo de delimitar o escopo da presente investigação.

Na sequência, foi apresentado o **percurso metodológico de cada uma das etapas da investigação**, a saber: i) a realização de análise de requisitos ii) a definição de um modelo teórico da avaliação da aquisição de HSM; iii) a definição de um modelo matemático e estatístico de avaliação de tarefas virtuais; iv) a definição da arquitetura de um método semiautomatizado; v) aspectos relacionados a implementação do método semiautomatizado e ao final vi) experimentos realizados com o objetivo de validar o método proposto.

Nesse sentido, o próximo capítulo tem a finalidade de apresentar o método para avaliar a aquisição de HSM, obtido a partir do percurso metodológico apresentado neste capítulo.

4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE HABILIDADES SENSORIOS MOTORAS EM AVI 3D

Conforme apresentado no Capítulo anterior, inicialmente foi constituído um modelo teórico de avaliação para que, após a definição de uma arquitetura, pudesse ser obtido um sistema automatizado para avaliar a aquisição de HSM em ambientes virtuais. As próximas seções apresentam os artefatos obtidos em cada etapa.

4.1 DEFINIÇÃO DE UM MODELO TEÓRICO DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HSM EM AVIs 3D

O modelo teórico constituído e aprimorado a partir das retroalimentações dos especialistas durante a execução dos experimentos pode ser conferido na Figura 18, tendo sido consolidado sob a perspectiva de dois blocos distintos: i) **bloco de calibração** e ii) **bloco de avaliação**.

Figura 18 - Modelo teórico de avaliação de HSM para AVI 3D

Fonte: Autor

O primeiro bloco (**Calibração**) tem como objetivo a **definição e configuração de parâmetros** (no qual os parâmetros de avaliação são definidos e configurados com base na experiência de especialistas do domínio de aplicação) que fazem parte do processo de avaliação.

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 habilidades com base na observação da execução de tarefas virtuais. No último módulo (**Resultados**), são disponibilizadas 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 19 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 19 – Processos de discriminação e classificação

Fonte: Autor

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 são especialmente importantes nas 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 deste trabalho, quando determinados objetivos de uma tarefa são atingidos de acordo com critérios de avaliação predefinidos 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 implementado usando técnicas que possibilitaram o processamento de métricas de avaliação e o processamento de discriminação e classificação de HSM, conforme disponibilizado a seguir.

4.2 DEFINIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO E ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO DE TAREFAS VIRTUAIS

No escopo desta investigação (Seção 3.1), foi definido que a avaliação da aquisição de HSM seria desenvolvida com base na análise de tarefas virtuais usando metas de avaliação predefinidas.

No contexto de AVIs 3D, tarefas virtuais podem ser analisadas por um objeto simulado que se desloca e por sua trajetória T , que passa a ser compreendida como uma curva composta por um conjunto de pontos $p_t = (x_t, y_t, z_t)$ com $t = 1, 2, \dots, n$, que representam as posições em coordenadas tridimensionais no instante de tempo t , como mostrado na Equação (4).

$$T = \langle p_1, p_2, \dots, p_n \rangle \quad (4)$$

Para efeito de ilustração, a Tabela 25 apresenta uma amostra de trajetória capturada, com base em movimento humano simulado em um AVI 3D.

Na primeira coluna da Tabela 25, observa-se o intervalo de tempo de captura da trajetória (100 milissegundos), seguido das coordenadas em um espaço tridimensional representadas pelas variáveis X , Y e Z . A representação gráfica tridimensional produzida por essa captura pode ser observada na Figura 20.

Tabela 25 – Exemplo de trajetória executada por um usuário em um AVI 3D

Tempo (ms)	X	Y	Z
100	0,755355	-0,62245	-4,21576
200	0,770753	-0,6184	-4,24336
300	0,77847	-0,61638	-4,2551
400	0,823173	-0,61474	-4,26758
500	0,835741	-0,61358	-4,27426
600	0,829611	-0,61287	-4,27804
700	0,80354	-0,61374	-4,28914
800	0,904958	-0,56978	-4,18389
900	0,906713	-0,56736	-4,18173
1000	0,921775	-0,55982	-4,17201

Fonte: Autor

Os valores negativos em **Y** e **Z** representam coordenadas negativas abaixo (**Y**) e em profundidade (**Z**), quando se considera um ponto de origem na coordenada (0,0,0) de um universo virtual.

Com o potencial de técnicas matemáticas e estatísticas associadas a trajetórias capturadas em AVIs 3D, verificou-se nos resultados experimentais que é possível utilizar informações de trajetórias para analisar, comparar e visualizar movimentos executados por usuários em AVs.

Figura 20 – Informações de trajetória da Tabela 23 no espaço 3D

Fonte – Autor

Além disso, estudos experimentais foram realizados para confirmar a utilização dessas técnicas, com base na execução dos processos de discriminação e classificação de HSM discutidos no modelo teórico de avaliação (Seção 4.1). Os resultados obtidos revelaram a necessidade de desenvolver a configuração de parâmetros de forma que possam representar metas de avaliação definidas por especialistas.

Considerando ainda que o método proposto, exibido na Figura 21, utiliza uma arquitetura de um sistema computacional, foi necessário definir parâmetros que pudessem ser automatizados ou não automatizados e, depois, ajustados para classificar ou discriminar HSM.

Figura 21 – Parâmetros de avaliação da aquisição de HSM

Fonte: Autor

Os parâmetros automatizados devem permitir o armazenamento de valores oriundos da captura de dados durante a execução da tarefa no AVI 3D. Os parâmetros não automatizados armazenam valores com base no julgamento realizado por especialistas durante a observação de uma tarefa virtual, que deve ser informado ao sistema computacional em interface própria para esta finalidade.

Além disso, um parâmetro poderá ser configurado como classificatório ou discriminatório. Parâmetros discriminatórios são utilizados para caracterizar tarefas executadas de forma habilidosa ou não habilidosa. Diante disso, sempre são representados por um atributo binário (apto ou inapto, correto ou errado, habilidoso ou não habilidoso), que será definido de forma mais detalhada para o contexto de cada experimento.

A opção de utilização do termo atributo foi adotada com base no Vocabulário Internacional de Metrologia¹³, que o define como “propriedade fenômeno, corpo ou substância a que não pode ser atribuída expressão quantitativa”. Alguns exemplos consoantes essa codificação: apto ou inapto, habilidoso ou não habilidoso.

Parâmetros classificatórios são compreendidos, para efeito deste trabalho, como métricas ou medidas quantitativas. Métricas deverão possibilitar a representação de grandezas que justifiquem diferentes graus de habilidades avaliados durante a realização de tarefas (medidas de distância de uma trajetória, tempo total ou parcial necessário para realização de uma tarefa).

Parâmetros classificatórios são configurados com base em medidas de desempenho associadas a uma técnica de processamento de métricas. Para selecionar alternativas ao processamento de métricas, foram desenvolvidos estudos experimentais testando potenciais técnicas candidatas.

Em cada experimento, analisou-se se uma determinada abordagem estatística ou matemática poderia processar valores capazes de representar medidas de avaliação que atenderiam aos anseios dos especialistas em cada domínio de treinamento.

Pela análise dos resultados, foram identificadas técnicas que possibilitam métricas de avaliação com uso de trajetórias capturadas por um método semiautomatizado, por exemplo: análise de um movimento econômico com base na trajetória realizada por indivíduos em um AVI 3D; análise da oscilação de ângulos obtidos pela trajetória de um instrumento virtual; ou na análise da firmeza necessária para se conduzir um instrumento médico, considerando uma determinada trajetória. Com esses resultados, discutir-se-á na próxima Seção o potencial dessas técnicas para processar métricas necessárias à classificação de HSM.

4.2.1 Processamento de métricas de avaliação

Valores de parâmetros de avaliação de aquisição de HSM que integram o modelo teórico discutido na Seção 4.1 foram obtidos com a adoção de critérios discriminatórios e classificatórios de avaliação da aquisição de HSM. Quando os valores desses parâmetros são obtidos pelo julgamento humano, métricas de

¹³ GUIA ISO/IEC 99 – Instituto Português de Qualidade (IPQ). Terceira edição - novembro de 2008.

avaliação são capturadas tendo como modelo medidas definidas por especialistas com base na atribuição de notas ou atributos de execução habilidosa ou não habilidosa.

O processo de avaliação é conduzido com uma finalidade inicial, a discriminação de execuções habilidosas e não habilidosas, e com outra subsequente, a composição de um classificador estatístico que revele os graus de execução habilidosa baseado no conjunto de valores de parâmetros classificatórios obtidos.

Considerando-se que a proposta de avaliação de tarefas virtuais implementada em um método semiautomatizado deve ser capaz de capturar e processar valores de forma automatizada, foram utilizadas técnicas matemáticas e estatísticas implementadas em sistemas computacionais.

Nesse sentido, tomando como base as trajetórias executadas por usuários, capturadas durante a realização de tarefas virtuais nos AVIs, os próximos parágrafos explicam, de forma sumarizada, as técnicas matemáticas e estatísticas que foram implementadas no método semiautomatizado para processar as métricas que compõem os parâmetros de avaliação da aquisição de HSM.

Com a captura de trajetórias torna-se possível fragmentar tarefas com a demarcação inicial e final de cada etapa. Nessa sequência, parâmetros definidos no bloco de calibração são associados a etapas de realização de tarefas que, por sua vez, recebem resultados do processamento de métricas, por exemplo: i) movimento econômico de um objeto; ii) ângulos de movimentação de um objeto; iii) firmeza do movimento de um objeto e iv) suavidade do movimento de um objeto.

4.2.1.1 Movimento econômico de uma trajetória

Com o processamento das métricas para a análise do movimento econômico de uma trajetória, tomando como referência um ponto inicial e final, é possível definir um plano que representa o caminho mais curto e econômico. O uso do plano para verificar a orientação de um movimento econômico é devido à necessidade de aferir distâncias em relação a um plano ideal, cujo traçado parte de uma referência de origem fixa (ponto de retirada do instrumento do háptico) até uma referência de destino variável (local em que o instrumento colide com o órgão virtual).

Um plano é representado pela sua equação geral, definida na Equação (5).

$$ax_t + by_t + cz_t + d = 0 \quad (5)$$

em que a , b e c representam os pontos que definem um vetor normal ($\vec{N}$), d representa a distância perpendicular do ponto até a origem (0,0,0) e (x_t, y_t, z_t) representam as coordenadas dos pontos que pertencem a uma trajetória.

Para obter o vetor normal ($\vec{N}$) = (a,b,c), foram considerados o ponto inicial no instante de tempo 1 = (x_1, y_1, z_1) e o ponto final no instante de tempo “n” (x_n, y_n, z_n) a trajetória. Esses pontos definem dois vetores ($\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$) que partem da origem (0,0,0), como representado na Figura 22.

Figura 22 – Trajetória em relação ao plano

Fonte: Autor

Para verificar a distância da trajetória executada por um indivíduo ao plano, devem ser calculadas as distâncias dos pontos $p_t = (x_t, y_t, z_t)$ de sua trajetória ao plano, conforme Equação (6) e termos originados a partir da Equação (5).

$$D = \sum_{t=1}^n \frac{|ax_t + by_t + cz_t + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (6)$$

Nessa sequência, é possível analisar os melhores e os piores casos de movimentos ideais, uma vez que os melhores casos são aqueles representados pela

menor distância por D e, de maneira inversa, os piores casos, pela maior distância, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Distância entre um ponto e um plano

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \quad (3)$$

Fonte: Autor

4.2.1.2 Análise de ângulo de posicionamento de objetos

A análise de ângulo de posicionamento de objetos pode ser conduzida utilizando-se uma técnica para verificar a direção de um objeto em uma determinada trajetória. Essa métrica considera o vetor $\vec{u}$ e um vetor normal $\vec{N}$ de um plano que representa uma superfície de colisão.

Figura 24 - Ângulo entre trajetória e um plano

Fonte: Autor

Assim, o ângulo de posicionamento θ é obtido pela Equação (7), que representa o arco cosseno (acos) entre os vetores $\vec{u}$ e $\vec{N}$.

$$\theta = \arccos \left(\frac{|\vec{u} \times \vec{N}|}{|\vec{u}| |\vec{N}|} \right) \quad (7)$$

4.2.1.3 Análise de firmeza

Foi também necessário definir uma técnica para representar a firmeza da trajetória durante a manipulação de objetos em uma tarefa virtual. A técnica foi implementada para permitir a análise da oscilação do instrumento virtual ao ser conduzido em determinada trajetória.

A firmeza representa o quanto a mão do indivíduo oscilou durante a perfuração. Durante esse procedimento, para cada ponto $p_t = (x_t, y_t, z_t)$ foi calculado um ângulo θ_T , de acordo com a Equação (7) e, em seguida, foi obtida a firmeza, como demonstrado na Equação (8).

$$F = 1 - \frac{S_\theta}{\bar{X}_\theta} \quad (8)$$

em que $\bar{X}_\theta$ e S_θ representam, respectivamente, a média e o desvio padrão dos ângulos θ_T obtidos.

4.2.1.4 Análise da suavidade

Para determinar o parâmetro de suavidade, é calculado o *Jerk* instantâneo (TANAKA et al., 2008) por meio da Equação (9).

$$J = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad (9)$$

O Δa da Equação (9) representa a variação da aceleração e o Δt representa a variação no tempo. O *Jerk* instantâneo representa a taxa de variação média de aceleração executada. A medida de suavidade foi obtida com o cálculo da média do *Jerk* normalizado pela velocidade máxima (COLOMBO et al., 2008).

4.2.1.5 Medidas direcionais

Na abordagem de medidas direcionais, Gray e Burt (1980) indicam que a trajetória de um indivíduo pode ser descrita por componentes definidos nas equações (10), (11) e (12).

- i) O comprimento total da trajetória R , em que x_t , y_t , z_t são os pontos de trajetória em cada instante de tempo t .

$$R = \sqrt{(\sum_{t=1}^n x_t)^2 + (\sum_{t=1}^n y_t)^2 + (\sum_{t=1}^n z_t)^2} \quad (10)$$

- ii) Os ângulos médios $\bar{\varphi}$ e $\bar{\theta}$ representam a direção preferencial da trajetória:

$$\bar{\varphi} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad \bar{\theta} = \cos^{-1}(\bar{z}) \quad (11)$$

- iii) Em que R representa o comprimento total da trajetória, $\bar{x}$, $\bar{y}$ e $\bar{z}$ representam as médias das coordenadas x, y e z dadas por:

$$\bar{x} = \sum_{t=1}^n \frac{x_t}{R}; \bar{y} = \sum_{t=1}^n \frac{y_t}{R}; \bar{z} = \sum_{t=1}^n \frac{z_t}{R} \quad (12)$$

As técnicas descritas nas equações de 4 a 9 representam um conjunto de soluções implementadas no método semiautomatizado para o processamento de métricas originadas no campo da matemática.

4.2.2 Técnica utilizada para classificação de HSM

Com o objetivo de verificar o grau de habilidade encontrado na classificação das tarefas realizadas pelos indivíduos habilitados, devem ser considerados os parâmetros classificatórios que apresentem valores no intervalo de zero a dez. Para cada avaliação, é calculada a função discriminante de Fisher¹⁴ (Johnson e Wichern, 1999), representada pela Equação (13).

$$Z = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (13)$$

¹⁴ A análise discriminante de Fisher procura as combinações lineares de variáveis observadas que melhor separem os subgrupos de indivíduos indicados. As variáveis associadas à pontuação de cada indivíduo são obtidas por métricas processadas de forma automatizada ou julgadas com base na observação humana.

em que X_i são variáveis que representam a população de interesse, $\bar{L} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ é o vetor discriminante e Z é a pontuação associada a cada indivíduo da população.

Com base na função discriminante de Fisher, foi possível obter o grau de habilidade em que os valores são proporcionais ao grau de habilidade identificado na tarefa executada.

4.3 EQUAÇÃO GERAL DE AVALIAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE HSM

A Equação (14) foi definida como a equação geral de avaliação da aquisição de HSM, formulada com base na utilização das técnicas matemáticas e estatísticas apresentadas anteriormente.

$$AvaliaçãoHSM = TvH \times CH \quad (14)$$

em que:

- *AvaliaçãoHSM* é a métrica resultante da avaliação de uma tarefa Tv ;
- TvH – Valor de atributo de execução habilidosa de uma tarefa virtual;
- CH – Valor de métrica processada por um classificador de habilidade.

A equação geral de avaliação da aquisição de HSM é calculada em função da execução do processo de discriminação que retornará como resultante as tarefas virtuais executadas com habilidade e sem habilidade (TvH). Dessa forma, uma tarefa considerada como “não habilidosa” resultará no valor zero para o termo TvH da equação e, conseqüentemente, a execução da tarefa será avaliada como “sem habilidade”. As execuções “habilidosas” terão como resultado o valor “um” para o termo TvH e este resultado será multiplicado pela métrica obtida a partir do termo CH .

Dada a necessidade de considerar as execuções habilidosas em função do julgamento de atributos, formulou-se a Equação (15) para a discriminação de tarefas habilidosas.

$$TvH = f(A_1, A_2, \dots, A_n) \quad (15)$$

em que:

- $A_i, i = 1, \dots, n$ são atributos processados por regras de discriminação.

$$\text{tal que: } f(A_1, A_2, \dots, A_n) = \begin{cases} 1 & \text{se indivíduo habilitado} \\ 0 & \text{se indivíduo não habilitado} \end{cases}$$

Para o processo de classificação de tarefas, são consideradas as diferentes métricas processadas pelo método semiautomatizado ou pelo julgamento de especialistas, as quais, por sua vez, são classificadas em graus de HSM, conforme Equação (16).

$$CH = g(M_1, M_2, \dots, M_n) \quad (16)$$

em que:

- M_i , com $i = 1, \dots, n$ representam as métricas utilizadas para o classificador e
- g representa a função de classificação $g(M_1, M_2, \dots, M_n)$

Neste trabalho optou-se pela função discriminante de Fisher assim definida:

$$CH = \lambda_1 M_1 + \lambda_2 M_2 + \dots + \lambda_n M_n \quad (17)$$

em que λ_i são pesos ajustados para cada métrica de classificação.

Embora o classificador estatístico apresentado na Equação (17) tenha sido construído com base em Análise de Discriminante Linear (LDA), a discussão do Capítulo 2 realizada por Chalmers et al. (2009) permitiu verificar testes realizados com resultados similares (desempenho) envolvendo outros classificadores como: *K-Nearest Neighbor* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM), *Artificial Neural Networks* (ANNs) e Análise de Discriminante Linear (ADL).

Esses resultados associados à simplicidade de implementação computacional de técnicas matemáticas e estatísticas em ambientes computacionais foram os fatores que justificaram a escolha do classificador estatístico.

4.4 ARQUITETURA DO MÉTODO

Para viabilizar a implementação do modelo teórico discutido na Seção 3.4 apresenta-se na Figura 25 a proposta da arquitetura de um sistema contemplando os componentes e módulos do método semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D.

No modelo arquitetural, as informações sobre interações, parâmetros de configuração, ajuste do método, sessões de treinamento e avaliação são processadas por um sistema computacional e armazenadas em banco de dados. Além disso, foi proposta uma interface de interação com o dispositivo háptico complementando as funcionalidades do *mouse*.

De forma similar ao modelo teórico, a arquitetura do método é dividida em dois componentes: i) componente de calibração e ii) componente de avaliação.

Figura 25 – Arquitetura do método automatizado de avaliação de um AVI 3D

Fonte: Autor

Nas próximas seções são apresentados os componentes, módulos e as funcionalidades dos processos que constituem o método semiautomatizado.

4.4.1 Componente de calibração

O **componente de calibração** é composto por três módulos: i) módulo de configuração do AVI 3D; ii) módulo de definição e configuração de parâmetros e iii) módulo de ajuste.

A Figura 26 mostra o fluxograma do módulo de **configuração do AVI 3D**, que tem como objetivo configurar cenários e objetos que fazem parte do contexto de avaliação.

Figura 26 – Módulo de configuração do AVI 3D (Calibração)

Fonte: Autor

A funcionalidade de controle de acesso do método contempla o cadastro de um perfil de especialista, a autenticação e a gestão do acesso ao sistema.

Usuários com o perfil de especialistas têm o acesso a todas as funcionalidades do componente de calibração. A funcionalidade de configuração de tarefas é definida para ajustar tarefas, etapas e selecionar objetos virtuais que compõem o cenário de avaliação (instrumentos e órgãos virtuais). Além dessas ações, também é facultado ao especialista efetuar a demarcação de regiões permitidas ou não permitidas em um órgão virtual. (Exemplo: área na região glútea ou área no abdômen).

O fluxograma da Figura 27 ilustra o **módulo de definição e configuração de parâmetros**, no qual parâmetros de avaliação são definidos e configurados com base na experiência de especialistas do domínio da aplicação.

Figura 27 – Módulo de definição e configuração de parâmetros
(Calibração)

Fonte: Autor

Para definir e configurar um parâmetro, primeiramente o especialista deverá selecionar uma tarefa previamente configurada no módulo de configuração

do AVI 3D. Na sequência, deverão ser cadastrados os parâmetros de avaliação. Cada parâmetro deverá ter em sua configuração as seguintes definições, a saber: i) o parâmetro é automatizado ou manual; ii) é discriminatório ou classificatório; e iii) a qual etapa da avaliação cada parâmetro está associado. Adicionalmente, para processar os valores dos parâmetros automatizados, são selecionadas regras de discriminação e classificação.

O cadastro de parâmetros não automatizados visa a possibilitar ao método de avaliação registrar julgamentos com base em parâmetros que não foram possíveis de automação. Para isso, os valores desses parâmetros são coletados diretamente dos julgamentos de especialista (atribuição de uma nota no intervalo de zero a dez) e processados juntamente com os parâmetros automatizados. Ao final, esse módulo deverá permitir o armazenamento das definições e configurações de parâmetros em um banco de dados eletrônico.

O **módulo de ajuste** foi planejado com o objetivo de possibilitar aos especialistas o ajuste do classificador de HSM, com base em um conjunto de execuções de tarefas discriminadas como habilidosas (Figura 28).

Figura 28 – Módulo de ajuste (Calibração)

Fonte: Autor

Considerando que o módulo de definição e configuração de parâmetros possibilita ao método discriminar HSM para que o classificador obtenha resultados de avaliação, o especialista deverá selecionar um grupo de execuções já discriminadas para compor o grupo de treinamento. Assim, o método utilizará esse grupo de referência para que o classificador processe os resultados de avaliação.

4.4.2 Componente de avaliação

O componente de avaliação contempla uma subdivisão em quatro módulos: i) módulo de captura de interações; ii) módulo de discriminação; iii) módulo de classificação e iv) módulo de resultados.

O **módulo de captura de interações** permite a captura e o armazenamento dos dados de execução de tarefas dos indivíduos, com base nas configurações definidas no componente de calibração. Esse módulo trabalha em paralelo com o **módulo de discriminação**, conforme se observa na Figura 29.

Figura 29 – Módulos de captura de interação e discriminação (Avaliação)

Fonte: Autor

A primeira funcionalidade do módulo de captura de interação é o controle de acesso, que possibilita o cadastro dos aprendizes e a gestão dos processos de autenticação no sistema. Usuários com o perfil de aprendiz têm o acesso restrito às funcionalidades do componente de avaliação. Para operar o sistema, o aprendiz deve escolher a tarefa que pretende executar em uma sessão de treinamento. O AVI 3D gera o ambiente de treinamento e, em seguida, um processo de captura de interações é acionado. No momento em que a captura de interações é iniciada, o módulo de discriminação passa a processar as regras de discriminação configuradas previamente no componente de calibração. Em paralelo, ocorrem duas ações: cada parâmetro é capturado à medida que as etapas de treinamento são realizadas, e técnicas matemáticas e estatísticas são processadas com o objetivo de gerar métricas quantitativas para o classificador de HSM. Além disso, são exibidos e armazenados no banco de dados os resultados da discriminação, as interações e as métricas processadas.

O **módulo de classificação** tem como objetivo recuperar as métricas processadas no módulo de discriminação e enviá-las a um classificador, ajustado previamente no componente de calibração, com base nas execuções do grupo que realizou tarefas de forma habilidosa. É condição exigida para que o módulo de classificação seja executado, a definição de um grupo de treinamento. As funcionalidades do módulo de classificação podem ser observadas na Figura 30.

Figura 30 – Módulo de classificação (Avaliação)

Fonte: Autor

Ao final, **o módulo de resultados** (Figura 31) exibe relatórios de avaliação, os quais informam os resultados armazenados no banco de dados.

Figura 31 – Módulo de resultados (Avaliação)

Fonte: Autor

4.5 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SEMIAUTOMATIZADO

A implementação do método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM em AVIs 3D foi desenvolvida com base no Modelo Teórico de Avaliação da Aquisição de HSM (Seção 4.1), na arquitetura computacional apresentada (Seção 4.4) e na definição de um Modelo Matemático e Estatístico de Avaliação da Aquisição de HSM (Seção 4.2).

Na implementação foram coletados os requisitos pertencentes ao domínio de treinamento que envolviam cada tarefa virtual analisada. Os requisitos foram definidos com a contribuição de um especialista no domínio de treinamento de cada experimento.

A Figura 32 ilustra um Diagrama de Casos de Uso, considerando a arquitetura do método semiautomatizado apresentada na Seção 4.4, que explicita os eventos realizados pelos atores aprendiz e especialista com base nos blocos de calibração e avaliação do método semiautomatizado.

Figura 32 – Diagrama de Casos de Uso do método semiautomatizado

Fonte: Autor

4.5.1 Tecnologias utilizadas

O método foi implementado utilizando-se linguagem de programação Java, biblioteca Java 3D, apoio de uma IDE NetBeans, sistema gerenciador de banco de dados *SQLite* e conexão via biblioteca *Java Database Connectivity* (JDBC), conforme Figura 33.

Com o objetivo de melhorar a interação no AVI 3D, foi empregado um dispositivo háptico *Phanton Omni* da *Sensable – Geomagic*¹⁵. Esse dispositivo é muito utilizado na criação e manipulação de objetos virtuais em simulação computacional porque possibilita a realização de operações com a aplicação e retorno de forças em seis graus de liberdade (6DOF¹⁶).

A utilização do dispositivo háptico teve por objetivo permitir a simulação e a captura de trajetórias de um objeto com características próximas a um instrumento médico virtual. A partir de então, as interações com o AVI 3D foram realizadas com o uso do teclado, mouse e dispositivo háptico.

Para comunicação com o dispositivo háptico, foi utilizada a biblioteca *Open Haptics 3.1* fornecida pelo fabricante do equipamento, que utiliza a biblioteca *QuickHaptics*¹⁷.

Além disso, para efetivar a comunicação com o dispositivo háptico que opera com linguagem nativa C++¹⁸, foi necessário implementar uma camada de comunicação utilizando-se a biblioteca JNI (*Java Native Interface*)¹⁹.

A camada de comunicação por meio da biblioteca JNI permitiu a utilização de funcionalidades disponíveis na biblioteca *Open Haptics 3.1* que incluem a captura de interações por meio do dispositivo háptico, retorno e aplicação de forças, rotação, translação e diversas rotinas necessárias para implementar o método semiautomatizado que será apresentado na Seção 4.5.

¹⁵ Informações em: <http://www.geomagic.com>.

¹⁶ 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”).

¹⁷ *SensAble technologies. OpenHaptics Toolkit version 3.0 Programmer's Guide. Woburn*, 2008. pp 13-23

¹⁸ Disponível em: <http://www.cplusplus.com/>. Acesso em: 2 dez. 2013.

¹⁹ Disponível em: <http://docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/jni/>. Acesso em: 2 dez. 2013.

Figura 33 – Interface – captura de interações

Fonte: Autor

Para a calibração e avaliação das tarefas virtuais foi utilizado um microcomputador Dell, Optiplex 760, Intel(R), Core 2 (TM) Duo, processador de 3,00GHz, Memória de 2GB, Sistema Operacional de 32 *bits*, Windows 7 Profissional, *Service Pack 1* e um dispositivo háptico *Phantom Omni – SensAble* (Figura 34).

Figura 34 – Dispositivo háptico

Fonte: Autor

Considerando a necessidade de processamento de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliar a aquisição de HSM no método semiautomatizado, a aplicação foi adaptada para comunicar-se com o ambiente de desenvolvimento integrado “R”.

Esse ambiente possibilita que determinados códigos escritos em linguagem de programação “R” possam executar diversos pacotes desenvolvidos para rotinas de cálculos estatísticos e matemáticos. A comunicação do ambiente “R” com java foi feita utilizando-se uma biblioteca conhecida como *rcaller*²⁰.

4.5.2 Sistema de avaliação da aquisição de HSM

Em conformidade com a arquitetura apresentada na Seção 4.4, a automatização do método resultou na concepção de um Sistema de Avaliação da aquisição de HSM (SAHSM). Detalhes de implementação poderão ser visualizados no diagrama de classes (Apêndice I) e as principais interfaces do SAHSM são apresentadas a seguir.

Para iniciar o sistema, o especialista ou aprendiz deve fazer sua autenticação informando nome, senha e perfil, como ilustrado na Figura 35.

Figura 35 – Interface de autenticação

Fonte: Autor

O sistema foi desenvolvido com o controle de acesso para dois perfis: especialista e aprendiz. Ao selecionar o perfil de especialista, o sistema

²⁰ Essa biblioteca tem como objetivo promover a chamada do ambiente “R” por meio da linguagem de programação java para processar cálculos estatísticos, matemáticos e a geração de gráficos..- <https://code.google.com/p/rcaller/>

automaticamente exibe uma interface para acesso às funcionalidades do componente de calibração. Do mesmo modo, ao selecionar o perfil de aprendiz, o sistema automaticamente exibe uma interface para acesso as funcionalidades do componente de avaliação, como se vê na Figura 36.

Figura 36 – Interface que inicia a calibração ou a avaliação

Fonte: Autor

Alternativamente, quando o usuário autentica-se como aprendiz, são executadas as funcionalidades do componente de avaliação.

O usuário deve acessar a interface ilustrada na Figura 37 para calibrar um processo de avaliação. Para isso, o sistema solicitará as seguintes informações: i) configuração do procedimento; ii) demarcação de regiões; iii) configuração de etapas e iv) configuração dos parâmetros de avaliação.

Figura 37 – Interface de configuração da tarefa

Fonte: Autor

A **configuração do procedimento** permite ao especialista configurar detalhes da tarefa, como o nome, a granularidade (inicial ou básica), o propósito de

avaliação (discriminação ou classificação), a função da avaliação (somativa ou diagnóstica), o tipo de atributo que qualifica a discriminação de tarefas (exemplo: apto ou inapto, habilitado ou não habilitado) e o órgão e instrumento virtual que farão parte de uma sessão de avaliação.

Para iniciar a **demarcação de regiões**, o especialista deverá acessar a interface da Figura 38 e depois definir um nome e as áreas permitidas ou proibidas para executar um procedimento.

Figura 38 – Interface para configurar a demarcação de regiões

Sistema de avaliação da aquisição de HSM

Cadastro Sair

Calibração

Tarefa Demarcação Etapa Parâmetro Resumo do procedimento

Digite o nome da região:

Tipo de Região: ☐ Permitida ☐ Não Permitida

Iniciar demarcação

Regiões Demarcadas

ID	Nome da Região	Tipo de Região
1	Região Umbilical	Nao Permitida
2	Quadrante permitido (externo a região umbilical)	Permitida

Escolha uma região para ser excluída
 Região Umbilical Excluir

Voltar Próximo

Fonte: Autor

Quando a interface para demarcar as regiões é acionada, um órgão virtual é disponibilizado. Em seguida, o especialista deve demarcar as regiões de acordo com os objetivos de avaliação de cada tarefa, como visto nas Figuras 39 (a) e 39 (b).

Figura 39 – Demarcação de regiões

Fonte: Autor

Na Figura 39 (a), objetos primitivos (esferas vermelhas) podem ser selecionados para demarcar uma região ideal. Na Figura 39 (b), são ilustradas duas regiões a serem demarcadas: i) região na proximidade do umbigo (região não permitida) e ii) região externa ao umbigo e delimitada por um trapézio (região permitida).

Além disso, é necessário **configurar as etapas**. Para tal, o usuário deve acessar a interface exibida na Figura 40 e definir o nome de cada etapa e a orientação para a sua realização.

Figura 40 – Interface de cadastro das etapas

Fonte: Autor

A fim de que o sistema compreenda o momento em que cada etapa inicia e termina, é requerido que o usuário acesse a interface de configuração de regras de mudança de etapa (Figura 41).

Figura 41 – Interface de regras para mudança de etapa

Cadastro de etapas automatizadas

Selecione o objeto que fará a colisão:

Selecione o objeto que sofrerá a colisão:

Selecione uma ação a ser executada:

Etapas automatizadas

Regra	Fará a colisão	Sofrerá a colisão	Ação que será Executada
1	insulina.obj	Região Umbilical	Mudar para próxima etapa

Escolha uma etapa automatizada:

Fonte: Autor

Além das etapas, é necessário também que o sistema possibilite a **configuração dos parâmetros de avaliação**, que consiste na definição de uma sigla e marcação de alternativas (discriminatórios ou classificatórios e automatizados ou não automatizados), conforme interface ilustrada na Figura 42.

Figura 42– Interface de definição e configuração de parâmetros

Sistema de avaliação da aquisição de HSM

Cadastro Sair

Calibração

Tarefa Demarcação Etapa **Parâmetro** Resumo do procedimento

Nome do parâmetro:

Sigla:

Tipo de métrica: ☒ Discriminatório ☐ Classificatório

Tipo de parâmetro: ☒ Automatizado ☐ Não Automatizado

Parâmetros cadastrados

Código	Nome do Parâmetro	Sigla
1	Parâmetro de Posicionamento	PP1

Escolha um parâmetro para ser excluído:

Fonte: Autor

Quando se trata de parâmetros automatizados, é necessário selecionar uma regra de discriminação ou de classificação. A Figura 43 ilustra uma interface de configuração de um parâmetro discriminatório, que analisará se a colisão do instrumento ocorreu em uma região ideal para aplicação da injeção.

Figura 43 – Interface de definição de regras para parâmetros discriminatórios

Cadastro de regras automatizadas: (Discriminação)

Nome da regra:

Selecione o objeto que fará a colisão:

Selecione o objeto que sofrerá colisão:

Resultado da métrica:

Etapas automatizadas

ID	Fará Colisão	Sofrerá Colisão	Status
1	insulina.obj	Região Umbilical	Não Habilitado
2	insulina.obj	Quadrante permitido (exter...	Habilitado

Escolha uma etapa automatizada:

Fonte: Autor

Uma vez que o sistema esteja calibrado, torna-se possível a execução de uma sessão de avaliação da aquisição de HSM, de acordo com os resultados experimentais a serem discutidos no Capítulo 5.

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para comprovar a viabilidade de aplicação do método para avaliar a aquisição de HSM em AVI, foram conduzidos três experimentos, conforme apresentado na Seção 3.5, cujos resultados são apresentados a seguir.

Em paralelo à avaliação do método semiautomatizado, houve a coleta dos dados provenientes dos formulários para o registro de notas (escalas de zero a dez) e do julgamento de atributos de execução habilidosa e não habilidosa. Os formulários de avaliação relacionados à tarefa de injeção intramuscular na região glútea e na região abdominal estão disponíveis nos Apêndices D e E.

Para cada sessão de treinamento avaliado, foram elaborados formulários de avaliação e foi feita a calibragem do método semiautomatizado de acordo com os objetivos de avaliação predefinidos pelas especialistas.

5.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO: COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS MATEMÁTICAS E ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DE DESTREZA MANUAL

O objetivo e método apresentados na Seção 3.5.1 deram ensejo a que um estudo experimental fosse desenvolvido com a finalidade de comparar técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas na avaliação de uma tarefa, que envolveu a análise de destreza manual com base em três dimensões específicas: **i) análise da eficiência de técnicas matemáticas e estatísticas para classificar corretamente execuções em grupos de menor ou maior grau de habilidade; ii) comparação dos resultados da classificação de HSM, combinando-se duas técnicas para o processamento de métricas e iii) análise da capacidade do método de classificar execuções de menor ou maior habilidade, de acordo com a utilização da mão dominante e não dominante de um indivíduo.** Os resultados deste experimento foram publicados no *Symposium On Applied Computing* (ANJOS, NUNES, TORI, OLIVEIRA, 2014)

O estudo foi feito com cem voluntários (setenta homens e trinta mulheres) caracterizados pelo perfil resumido na Tabela 26.

Na análise de fatores relacionados à destreza na utilização de mão dominante e não dominante, levou-se em consideração as seguintes tarefas da vida diária: escrever, manusear o lápis enquanto desenha, segurar a escova de dente, lançar uma bola, dar as cartas de um baralho, manusear uma raquete de tênis,

pegar uma colher de sopa, segurar uma caixa, segurar o martelo enquanto crava um prego, segurar a linha enquanto a enfia na agulha e manipular o *mouse* enquanto utiliza o computador. Do total de indivíduos, 44% alternam a mão para a execução das tarefas, ou seja, algumas das tarefas são desenvolvidas com a mão esquerda e outras com a mão direita.

Com relação à utilização do *mouse*, verificou-se a predominância de uso da mão direita em 91% dos casos e da mão esquerda em 9% dos casos.

Do ponto de vista de utilização de sistemas ou jogos 3D, 68% declararam tê-los utilizado em escalas de tempo que variaram de uma semana a três meses no período que antecedeu a investigação. Logo, deduziu-se dessa informação que os voluntários possuíam algum tipo de experiência com o uso de computadores. Quanto à forma específica de uso do computador, 60% declararam ter utilizado algum tipo de sistema ou jogo 3D nos três meses que antecederam a realização do experimento.

Tabela 26 – Caracterização do perfil dos voluntários

Perfil dos voluntários	Resultado
Dependem do uso do computador para trabalhar	87%
Usam o computador diariamente	94%
Usam semanalmente	6%
Possuem experiência com uso do mouse	70%
Pouco experientes com uso de mouse	-
Muito experientes	30%
Entre atividades da vida diária, mudam as mãos	44%
Executam atividades da vida diária com a mesma mão	56%
Usam o mouse com a mão direita	91%
Usam o mouse com a mão esquerda	9%
Interagiram com sistema ou jogo 3D nos últimos três meses	60%

Fonte: Autor

5.1.1 Descrição da tarefa

Com o propósito de **configurar o ambiente**, foi construído um AVI 3D com um cenário virtual orientado por regras de execução predefinidas por especialistas.

A meta definida pelos especialistas consistiu na manipulação de um cubo entre quatro pontos no espaço (Figura 44). Ao atingir cada um desses pontos, o indivíduo deveria executar uma ação de aproximação e distanciamento do cubo em relação ao plano, tendo como referência a região delimitada em cada ponto. Os

voluntários realizaram a mesma tarefa virtual duas vezes (uma com a mão dominante e outra com a mão não dominante), totalizando duzentas trajetórias capturadas.

A navegação exigiu que fosse pressionado o “botão” esquerdo do *mouse* (se destro) ou direito (se canhoto) para arrastar o cubo entre as etapas enunciadas nos objetivos da tarefa (S1 a S4). Para aproximar e distanciar o cubo em cada ponto foi necessário usar o botão de rolagem do *mouse* (Figura 44).

Após a configuração do ambiente, fez-se necessário **definir e configurar os parâmetros**, especificados pelos especialistas: i) trajetória dos indivíduos que executaram a tarefa; ii) tempo total de realização da tarefa e iii) tempo de cada uma das etapas.

Para obter métricas relacionadas a cada um desses parâmetros, além da captura do tempo e trajetória de forma automatizada, foi necessário processar técnicas de distância de ponto e plano, usando a Equação (6) e medidas direcionais, usando as Equações (10,11 e 12).

Figura 44 - Ilustração de trajetórias e etapas do experimento

Fonte: Autor

Utilizando a configuração dos parâmetros de avaliação com o objetivo de **ajustar** o AVI 3D para classificar graus de execuções habilidosas, definiu-se como conjunto de treinamento 75% das execuções capturadas no experimento. O restante

(25%) foi utilizado para testar as avaliações realizadas por meio de sessões de treinamento e avaliação.

Com o AVI 3D calibrado, foi iniciado o processo **de captura de interações**. Antes de capturar interações, os aprendizes foram submetidos a uma sessão de ambientação no sistema proposto a fim de que se familiarizassem com o ambiente virtual.

Durante a sessão de treinamento, cada participante desenvolveu trajetórias no AVI 3D, em quatro etapas (S1 a S4) demarcadas entre cinco pontos (P1 a P4) desenhados no espaço (Figura 45).

No desenvolvimento da trajetória, foi solicitado a cada participante que pressionasse o “botão” esquerdo do *mouse* (se destro) ou direito (se canhoto) e que arrastasse um cubo passando pela sequência de pontos identificados (P1 a P5). Ao chegar em cada um dos pontos definidos (a partir de P2), os participantes deveriam realizar um movimento de aproximação e distanciamento do objeto virtual 3D (cubo), utilizando o botão de rolagem do mouse.

Figura 45. Voluntário realizando o experimento

Fonte: Autor

A análise de parâmetros de trajetória em função do tempo considera as coordenadas de trajetória (x,y,z) que são capturadas com base no movimento dos indivíduos usando cada uma das mãos.

Em paralelo ao processo de captura de interações, o método semiautomatizado discriminou execuções habilidosas e não habilidosas observadas durante a realização de tarefas virtuais. Para isso, foram executadas **regras de discriminação** de tarefas habilidosas com base em parâmetros predefinidos pelos especialistas (bloco de calibração), caracterizando as execuções habilidosas e não habilidosas.

Para ser considerada uma tarefa habilidosa, o usuário deveria percorrer todo o trajeto pressionando o botão do mouse (direito ou esquerdo) e fazer aproximações e distanciamentos de um objeto virtual manipulado (cubo virtual) apenas quatro vezes. A tarefa executada em desacordo com esses critérios foi considerada não habilidosa. Em outras palavras, o executante de movimento que não efetuou a trajetória com o objeto virtual na sequência dos pontos ou não executou a ação de distanciamento e aproximação do objeto manipulado, teve automaticamente sua execução de tarefa discriminada como não habilidosa.

A mudança de trajetória entre as etapas (S1, S2, S3 e S4) e a passagem por cada um dos pontos (P1, P2, P3 e P4) foi avaliada com base na colisão em regiões demarcadas pelo método semiautomatizado no AVI 3D.

A cada ponto da trajetória do executante de movimento, o método semiautomatizado não só verificou as regras de discriminação (a colisão em regiões demarcadas e os movimentos de aproximação e distanciamento do objeto manipulado), como também incrementou as etapas automaticamente à medida que o objeto manipulado colidia em cada região demarcada.

O processo de classificação seguiu-se à discriminação de execuções habilidosas. Em sua condução foram utilizadas as métricas processadas durante a execução do módulo de captura de interações e foram **classificadas** as execuções com maior e menor grau de HSM utilizando a função discriminante definida na Equação (13).

No entanto, para obter essas métricas foi necessário utilizar diferentes **técnicas de processamento** com base na trajetória de indivíduos que executam uma tarefa virtual. Considerando os propósitos desse estudo experimental é

destacada nos próximos parágrafos a utilização de técnicas de processamento de métricas com base em distância de ponto e plano e em medidas direcionais.

O processamento de métricas relacionadas à distância entre ponto e plano utilizou a Equação (3) e o processamento de métricas relacionadas ao tempo de cada etapa, resultantes da somatória de cada ponto de trajetória capturada no AVI 3D a cada 100 milissegundos, concebido com base na Equação (4).

Processar métricas de medidas direcionais (Equações 10, 11 e 12) requer a representação de técnicas de processamento de métricas que resumem medidas de trajetória que adotam parâmetros de comprimento e angulação.

A **validação dos resultados** experimentais constituiu-se em dois conjuntos de dados para testar a eficiência do método de avaliação da aquisição de HSM. O primeiro conjunto de dados utilizado foi obtido com a técnica de análise de agrupamentos (PIMENTEL; FRANÇA; OMAR, 2003). Os dados obtidos por análise de agrupamento foram considerados como dados reais. O segundo conjunto de dados foi coletado com o uso de instrumento *on-line* (Apêndice H) aplicado aos voluntários do experimento. Para isso, foi considerada a informação de mão dominante e não dominante de cada indivíduo que participou do experimento.

5.1.2 Análise de técnicas de processamento de métricas

Os critérios aplicados ao processo de discriminação de tarefas permitiram identificar automaticamente 55 (28%) tarefas executadas de forma não habilidosa e 145 (72%) de forma habilidosa, em um universo de 200 trajetórias capturadas de 100 indivíduos voluntários.

Após a captura de parâmetros e o processamento de métricas, foi necessário testar a eficiência de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliar a aquisição de HSM.

Para testar a eficiência de processamento de métricas das técnicas de distância de ponto e plano e medidas direcionais na classificação correta das avaliações, os parâmetros foram capturados em sessões experimentais executadas no AVI 3D, conforme discussão presente na Seção 3.5.1.

Com as métricas processadas por cada uma das técnicas, coeficientes de avaliação foram gerados após a execução da função discriminante apresentada na Equação (3).

Isolando-se uma amostra de dados, foi estabelecido um conjunto de treinamento com 75% dos dados (108 trajetórias capturadas) e com os 25% restantes (37 trajetórias) verificou-se a acurácia da função discriminante.

Ao final, foi analisado se a função de classificação obtida com a combinação de cada uma das técnicas de processamento de métricas teve um bom desempenho. Os resultados dos testes de *kappa* usados na análise da classificação serão apresentados nos próximos parágrafos consoante as duas técnicas de processamento de métricas.

Utilizando a técnica de distância entre o ponto e plano e as informações sobre trajetória capturadas no AVI 3D, obtiveram-se métricas de trajetória e de tempo de cada trajetória, gerando um total de oito métricas: distância de ponto e plano e tempo nas etapas 1, 2, 3 e 4.

Em seguida foi realizado o teste de normalidade *kolmogorov-smirnov* (Tabela 27), sendo verificado que apenas os tempos das etapas 1, 3 e 4 foram considerados normais (valor-p > 0,05).

O teste *kolmogorov-smirnov* foi utilizado para verificar se a distribuição do conjunto de dados analisado era normal. Diante dos resultados obtidos foi eleito o teste não paramétrico *Mann-Witney* com o objetivo de verificar a diferença entre as médias de cada grupo.

Tabela 27 – Teste de normalidade – Kolmogorov-smirnov

Métrica	Valor-p
Distância entre trajetórias etapa 1	0,0002
Distância entre trajetórias etapa 2	0,0073
Distância entre trajetórias etapa 3	0,0029
Distância entre trajetórias etapa 4	0,0000
Tempo etapa 1	0,0675
Tempo etapa 2	0,0468
Tempo etapa 3	0,1213
Tempo etapa 4	0,0701

Fonte: Autor

O teste de *Mann-Whitney* revelou que todas as métricas diferiam entre os grupos (valor-p < 0,05) e que nos grupos mais habilidosos estão os menores valores médios das métricas (Tabela 28).

Tabela 28- Valores médios das métricas obtidas de acordo com os grupos e valor-p do teste de *Mann-Whitney*.

Métricas	Menos habilidosos	Mais habilidosos	Valor-p
Distância entre trajetórias etapa 1	14,25 cm	7,09 cm	<0,0001
Distância entre trajetórias etapa 2	10,58 cm	7,20 cm	<0,0001
Distância entre trajetórias etapa 3	40,01 cm	25,20 cm	<0,0001
Distância entre trajetórias etapa 4	11,31 cm	6,52 cm	<0,0001
Tempo etapa 1	8775,811 ms	5106,891 ms	<0,0001
Tempo etapa 2	7851,396 ms	4608,163 ms	<0,0001
Tempo etapa 3	8777,321 ms	4859,109 ms	<0,0001
Tempo etapa 4	6470,415 ms	3827,772 ms	<0,0001

Fonte: Autor

Utilizando a combinação linear dessas métricas e 75% dos dados (108 observações) obteve-se a função discriminante apresentada na Equação (18).

$$Dx = 5,40 - 1700,59 \times 10^{-5} d_1 + -613,29 \times 10^{-5} d_2 - 2316,15 \times 10^{-5} d_3 - 2172,82 \times 10^{-5} d_4 + 1,41 \times 10^{-5} t_1 - 26,1 \times 10^{-5} t_2 - 25,81 \times 10^{-5} t_3 - 29,36 \times 10^{-5} t_4 \quad (18)$$

A classificação do restante dos dados (25% correspondente a 37 trajetórias) encontra-se descrita na Tabela 29, na qual a diagonal principal representa os elementos convergentes e a diagonal secundária os elementos divergentes. Pela acurácia do classificador foi verificado que a função de classificação apresentou um bom desempenho (coeficiente *Kappa* = 0,95).

O índice de acerto do classificador apresentou valor preditivo na faixa de 0,95 a 1,00, correspondendo, respectivamente, a 95% nas execuções mais habilidosas e 100% nas execuções menos habilidosas.

Tabela 29- Número de execuções por grupo, segundo classificação da função discriminante e o real

Classificação	Real		Total classificados
	Menos habilidosos	Mais habilidosos	
Menos habilidosos	13	0	13
Mais habilidosos	1	23	24
Total real	14	23	37

Fonte: Autor

Utilizando técnicas de medidas direcionais, processaram-se as métricas de trajetória e capturou-se o tempo de cada trajetória no AVI 3D, perfazendo um

total de doze métricas: i) comprimento da curva nas etapas 1, 2, 3, 4; ii) ângulo médio da curva nas etapas 1, 2, 3, 4 e iii) tempo nas etapas 1, 2, 3, 4.

O teste de normalidade (Tabela 30) detectou que apenas os tempos das etapas 1, 3 e 4 foram normais (valor-p > 0,05). Para a detecção da diferença entre as médias de cada grupo, foi utilizado o teste não paramétrico (*Mann-Whitney*).

Tabela 30- Teste de normalidade – *Kolmogorov-smirnov*

Métrica	Valor-p
Comprimento da Curva etapa 1	<0,0001
Comprimento da Curva etapa 2	<0,0001
Comprimento da Curva etapa 3	<0,0001
Comprimento da Curva etapa 4	<0,0001
Ângulo Médio da Curva etapa 1	0,0039
Ângulo Médio da Curva etapa 2	<0,0001
Ângulo Médio da Curva etapa 3	0,0001
Ângulo Médio da Curva etapa 4	<0,0001
Tempo etapa 1	0,0675
Tempo etapa 2	0,0468
Tempo etapa 3	0,1213
Tempo etapa 4	0,0701

Fonte: Autor

Tabela 31 - Valores médios das métricas obtidas por grupos e valor-p do teste de *Mann-Whitney*

Métrica	Menos habilidosos	Mais habilidosos	Valor-p
Comprimento da Curva etapa 1	17,5 cm	11,0 cm	0,0014
Comprimento da Curva etapa 2	17,5 cm	12,8 cm	0,0272
Comprimento da Curva etapa 3	17,9 cm	12,8 cm	0,0086
Comprimento da Curva etapa 4	14,2 cm	10,5 cm	0,0261
Ângulo Médio da Curva etapa 1	7,9°	4,8°	0,0004
Ângulo Médio da Curva etapa 2	6,9°	4,3°	0,0164
Ângulo Médio da Curva etapa 3	5,6°	3,8°	0,0027
Ângulo Médio da Curva etapa 4	16,8°	25,9°	0,0486
Tempo etapa 1	732,7 ms	295,1 ms	<0,0001
Tempo etapa 2	318,6 ms	130,3 ms	<0,0001
Tempo etapa 3	336,4 ms	137,4 ms	<0,0001
Tempo etapa 4	303,1 ms	133,7 ms	<0,0001

Fonte: Autor

Utilizando-se dessas métricas e os 75% dos dados (108 observações), aplicou-se a Equação (13) e obteve-se a função discriminante, apresentada na Equação (19).

$$D_x = -4,76 - 2,8 \times 10^{-2}c_1 - 2,1 \times 10^{-2}c_2 - 2,4 \times 10^{-2}c_3 - 6,4 \times 10^{-3}c_4 - 5,2 \times 10^{-2}\varphi_1 - 9,7 \times 10^{-3}\varphi_2 - 3,0 \times 10^{-2}\varphi_3 + 8,6 \times 10^{-4}\varphi_4 - 2,3 \times 10^{-3}t_1 - 4,5 \times 10^{-3}t_2 - 2,2 \times 10^{-3}t_3 - 2,4 \times 10^{-3}t_4 \quad (19)$$

Foram classificados 25% dos dados (37 observações) como apresentado na Tabela 32. Nas colunas verticais da Tabela 32 (Total real) podem ser verificados os valores reais de execuções menos e mais habilidosas. Na horizontal (Total de classificação), são exibidas as execuções classificadas em graus de menor e maior habilidade combinadas com o processamento de métricas por distância de ponto e plano. A intersecção de linha e coluna dos rótulos mais e menos habilidosos indicam os valores em comum entre os valores reais classificados pelo método semiautomatizado.

A função de classificação apresentou bom desempenho quando medida por $Kappa = 0,93$ ou 93% de acurácia do classificador.

Quanto ao valor preditivo encontrado, o índice de acerto do classificador ficou entre 96% e 100%, correspondendo nessa ordem à classificação dos indivíduos que executaram tarefas com menor habilidade (1,00) e com maior habilidade (0,96).

Tabela 32 – Número de indivíduos em cada grupo, de acordo com a classificação da função discriminante e o real.

Classificação	Real		Total classificados
	Menos habilidosos	Mais habilidosos	
Menos habilidosos	9	0	9
Mais habilidosos	1	27	28
Total real	10	27	37

Fonte: Autor

5.1.3 Comparação dos resultados da classificação de HSM

Obedecendo à ordem de classificação (Tabela 33) resultante da combinação das duas técnicas de processamento de métricas, foi analisada a concordância dos classificadores, uma vez os resultados anteriores já estavam identificados.

Para a análise de ordem de classificação empregou-se o método de *Kendall* (Equação 2), obtendo-se um coeficiente de concordância em 0,86, que é

indicativo de boa convergência entre os dois métodos utilizados para classificar HSM. O resultado dessa análise comprovou que a métrica utilizada tem pouca influência sobre a classificação do indivíduo.

Tabela 33 - Classificação dos três melhores no grupo mais habilidosos e três piores no grupo dos menos habilidosos.

Classificação	Distância Ponto e Plano	Medidas Direcionais
1º mais habilidoso	Indivíduo 80 mão direita	Indivíduo 80 mão direita
2º mais habilidoso	Indivíduo 61 mão direita	Indivíduo 61 mão direita
3º mais habilidoso	Indivíduo 63 mão direita	Indivíduo 79 mão direita
143º menos habilidoso	Indivíduo 48 mão direita	Indivíduo 54 mão direita
144º menos habilidoso	Indivíduo 91 mão esquerda	Indivíduo 55 mão direita
145º menos habilidoso	Indivíduo 76 mão esquerda	Indivíduo 9 mão direita

Fonte: Autor

5.1.4 Comparando as execuções com a mão dominante ou não dominante de um indivíduo

O passo seguinte, após a verificação da adequação das métricas anteriormente descritas, foi analisar a classificação dos dados do experimento propriamente dito. Inicialmente foi solicitada a cada voluntário a declaração de qual mão considerava dominante para execução de tarefas de destreza. Em seguida, os dados capturados foram comparados às declarações do indivíduo.

Utilizando-se a classificação combinada com a técnica de distância de ponto e plano, das 145 tarefas consideradas habilidosas entre os indivíduos que utilizaram a mão dominante, 76 (90,47%) foram classificados no grupo de execuções mais habilidosas e, entre os que utilizaram a mão não dominante, 41 (67,21%) foram classificados no grupo de execuções menos habilidosas, conforme se observa na Tabela 34.

Tabela 34 - Classificação dos indivíduos por grau de habilidade, de acordo com a mão utilizada, considerando métricas de distância de ponto ao plano

Mão (Autodeclarados)	Classificação		Total (Autodeclarados)
	Mais habilidosos	Menos habilidosos	
Dominante	76	8	84
Não Dominante	20	41	61
Total: Classificados	96	49	145

Fonte: Autor

Utilizando-se a classificação combinada com a técnica de medidas direcionais, das 145 tarefas consideradas habilidosas, entre os que utilizaram a mão dominante, 74 (88,09%) foram classificados como mais habilidosos e, entre os que utilizaram a mão não dominante, 37 (60,65%) foram classificados como menos habilidosos, conforme Tabela 35.

Tabela 35 - Classificação dos indivíduos por grau de habilidade, de acordo com a mão utilizada, considerando métricas de medidas direcionais.

Mão (Autodeclarados)	Classificação		Total (Autodeclarados)
	Mais habilidosos	Menos habilidosos	
Dominante	74	10	84
Não Dominante	24	37	61
Total: Classificados	98	47	145

Fonte: Autor

5.1.5 Discussão

O experimento em questão foi conduzido com o objetivo de verificar a hipótese: **É possível a utilização de técnicas matemáticas e estatísticas para avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D.** Para isso, foram analisadas três dimensões específicas, conforme enunciado na Seção 3.5.1.

Os resultados do experimento permitiram confirmar a eficiência do método proposto após a análise da **primeira dimensão** do estudo, que indicou que técnicas matemáticas e estatísticas (distância de ponto e plano e medidas direcionais) implementadas em um método semiautomatizado são capazes de processar corretamente métricas que compõem um classificador de execuções habilidosas em menor ou maior grau de HSM.

Essas conclusões advieram da constatação do grau de acerto no processo de classificação (medido por *kappa*), utilizando-se as duas técnicas calibradas no método de avaliação da aquisição de HSM com base em um conjunto de treinamento predefinido.

Além disso, analisando a **segunda dimensão** do estudo, foi possível observar que os resultados apresentados na seção anterior indicam concordância entre os processos de classificação. Todavia, embora haja concordância nos

processos de avaliação utilizando as duas técnicas de processamento de métricas, verificou-se que há pouca influência nos resultados de avaliação quando aplicado o método de *Kendall*, independentemente da técnica utilizada para o processamento de métricas.

A análise que permitiu verificar que diferentes métricas processadas por diferentes técnicas aplicadas em trajetórias executadas por aprendizes capturadas em um AVI 3D são capazes de compor classificadores, além de gerar métricas potenciais para avaliar a aquisição de HSM durante a realização de uma tarefa virtual.

Com a possibilidade de combinar diferentes métricas com diferentes parâmetros de avaliação, verificou-se que era possível conceber um método que avaliasse diferentes tarefas virtuais, à medida que a escolha de parâmetros de avaliação fosse realizável de forma dinâmica e pudesse considerar diferentes metas ou objetivos de treinamento definidos por especialistas.

Acrescente-se que, para verificar a eficiência do método proposto quanto ao grau de acerto da classificação, foram comparados os resultados do método semiautomatizado com a declaração humana sobre o uso da mão dominante e não dominante para realizar uma tarefa virtual em um AVI 3D.

Os resultados dessa comparação permitiram confirmar a **terceira dimensão** de análise na qual se verificou que grande parte das execuções individuais com a mão dominante foi classificada como de maior grau de habilidade, e que as execuções com a mão não dominante foram encontradas na maior parte das classificações de menor grau de habilidade, independentemente da técnica de processamento de métricas utilizada.

Diante desses resultados, observa-se a confirmação da hipótese de que é possível a utilização de técnicas matemáticas e estatísticas para a avaliação da aquisição de HSM em AVIs 3D, tomando como base as metas ou objetivos de avaliação predefinidos por especialistas.

5.2 SEGUNDO EXPERIMENTO: AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DE INJEÇÕES INTRAMUSCULARES NA REGIÃO GLÚTEA

Atingir os objetivos delineados na Seção 3.5.2 requer a apresentação dos resultados experimentais com base na análise das seguintes hipóteses: **i) é possível avaliar com precisão a aquisição de HSM por meio de um método**

semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa; ii) é possível classificar graus distintos de habilidades, avaliando tarefas virtuais desenvolvidas em AVI 3D; iii) nos resultados da avaliação automatizada realizada em um AVI 3D e a avaliação feita por um especialista. Os resultados deste experimento foram publicados em *Symposium on Virtual and Augmented Reality* (ANJOS, NUNES, TORI, CHERUBINI, 2014).

5.2.1 Descrição da tarefa

A tarefa deste experimento consistiu na aplicação de injeção na região glútea. O aprendiz deveria usar o dispositivo háptico que simulava o instrumento médico e atingir um local correto do órgão virtual que representava a região glútea. O local, a suavidade da penetração do instrumento virtual e o posicionamento do instrumento constituíram parâmetros importantes de avaliação.

Para **configurar o AVI 3D**, como mostram as Figuras 46 (a) e 46 (b), foi modelado um órgão anatômico virtual representando a região glútea humana, juntamente com um instrumento médico (seringa e agulha).

Figura 46 - Instrumento e modelo anatômico virtual em *wireframe* (a) e renderizado (b)

Fonte: Autor

O método foi calibrado por três professoras mediante a realização de uma análise requisitos prévia com especialistas (Seção 3.3.1). Durante a calibração foi possível conhecer as estratégias de treinamento para procedimentos que envolvem o ensino de aplicações de injeção, com o foco em operações com agulhas.

Tomando como base os procedimentos de operações com agulhas envolvendo a região glútea, foi elaborado um questionário semiestruturado (Apêndice C), que permitiu coletar informações iniciais sobre a técnica de avaliação que as especialistas utilizavam em sua prática acadêmica. Após uma discussão

coletiva que gerou consenso entre as especialistas, obteve-se um único instrumento de avaliação (Apêndice D).

Na Tabela 36 encontram-se as **definições e configurações** dos parâmetros discriminatórios e classificatórios extraídas do instrumento de avaliação proposto pelas especialistas.

Tabela 36 – Etapas e tipos de parâmetros

Etapas	Parâmetros	Tipo de parâmetro
<i>Posicionamento</i>	PP1 – Não colidir em hematoma	Discriminatório
	PP2 – Não colidir fora do quadrante superior externo	Discriminatório
	PP3 – Movimentos econômicos	Classificatório
<i>Inserção</i>	PI1 – Inserir a agulha até o final	Discriminatório
	PI2 – Inserção em ângulo de 90 graus (tolerância de 15 graus)	Discriminatório
	PI3 – Firmeza	Classificatório
	PI4 – Suavidade	Discriminatório
<i>Retirada</i>	PR1 - Retirada em ângulo de 90 graus (tolerância de 15 graus)	Classificatório
	PR2 – Firmeza	Discriminatório

Fonte: Autor

Uma vez configurados os parâmetros, foi necessário **ajustar** o método de avaliação com base em dois conjuntos de treinamento. O primeiro conjunto foi ajustado com as execuções habilidosas processadas pelo método semiautomatizado; o segundo foi ajustado com base nas execuções habilidosas julgadas pelos especialistas. Após o ajuste, obtiveram-se dois classificadores, possibilitando a comparação de resultados de avaliação referenciada pelos dois grupos distintos.

Para realizar o processo de **captura de interações e discriminação de HSM**, cada voluntário foi convidado a participar de duas sessões experimentais em dois momentos distintos. A primeira sessão consistiu em um processo de treinamento sem avaliação, com o objetivo de ambientar os aprendizes com a ferramenta que simulou a tarefa virtual.

As especialistas efetuaram as devidas orientações sobre os objetivos da tarefa e os detalhes operacionais necessários para a execução do experimento.

O AVI 3D registrou todas as informações, incluindo as trajetórias, parâmetros de avaliação e a captura de telas do computador em cada sessão de treinamento.

Para **classificar** os graus de habilidades encontrados nas tarefas de execução habilidosa, foram considerados quatro parâmetros classificatórios, com valores entre zero e dez julgados por especialistas, e métricas processadas pelo método semiautomatizado. A Equação (13) foi usada no cálculo da função discriminante de *Fisher* de cada avaliação.

Considerando os parâmetros discriminatórios (Tabela 36), execuções habilidosas e não habilidosas foram discriminadas, de forma automática, durante o módulo de captura de interações do método semiautomatizado. Em paralelo, os resultados de julgamentos das execuções habilidosas e não habilidosas efetuadas por especialistas também mereceram atenção.

Com o objetivo de **validar** o estudo proposto, foi analisada a concordância e divergência entre a discriminação encontrada na avaliação dos especialistas e a avaliação do método semiautomatizado, com base no coeficiente de *kappa*, conforme Equação (1).

Além da análise da discriminação, a comparação dos resultados do classificador também se fez necessária, para a qual foram utilizadas as métricas obtidas pelo método semiautomatizado e por especialistas.

5.2.2 Configuração do método semiautomatizado

Para discriminar (D) e classificar (C) HSM de forma automatizada, os especialistas (professores da área de Enfermagem) efetuaram a **calibração** do método **configurando o AVI 3D e definindo parâmetros** com base em regras de discriminação e técnicas para o processamento de métricas, conforme Tabela 37.

Tabela 37 – Regras de discriminação e técnicas de processamento de métricas

Parâmetros	Regras e técnicas
PP1 (D)	Demarcação da região não permitida (hematoma)
PP2 (D)	Demarcação de região permitida (quadrante superior direito)
PI2 (D)	Análise do ângulo de inserção da agulha (90 graus)
PI3 (C)	Análise da firmeza durante a inserção (oscilação de ângulos)
PI4 (C)	Análise de suavidade durante a inserção (<i>Jerk</i>)
PR1 (D)	Análise do ângulo de retirada da agulha (90 graus)
PR2 (C)	Análise de firmeza durante a retirada da agulha (oscilação de ângulos)

Fonte: Autor

Os parâmetros discriminatórios (D) e classificatórios (C) apresentados na Tabela 37 estão em conformidade com as etapas descrição e tipificação definidas na Tabela 36.

As **regras de discriminação** foram configuradas no método semiautomatizado por meio da associação de parâmetros definidos com o propósito de identificar execuções habilidosas ou não habilidosas durante a execução do módulo de **captura de interações**.

Os parâmetros de posicionamento PP1 e PP2 foram configurados com o objetivo de verificar se o instrumento virtual (seringa) efetuou a colisão na região correta. Em razão disso, o local do hematoma na região glútea esquerda foi demarcado e depois, a região de aplicação da injeção no quadrante superior direito na região glútea, como ilustrado na Figura 47 (a). As demarcações consideraram as coordenadas dos vértices que compreendem o limite de cada região na malha da região glútea.

Além disso, foi necessário capturar a colisão da ponta da agulha e a inserção até a base da agulha pela trajetória de uma pequena esfera (vermelha) e uma segunda esfera (azul), definindo assim os parâmetros PP1, PP2 e PI1, conforme Figura 47 (b). Na aplicação desenvolvida, esses objetos são invisíveis e foram utilizados apenas para referenciar aspectos como a demarcação de região, trajetória e área de colisão.

Além do processo de detecção de colisão, era preciso garantir que a agulha penetrasse o modelo com um certo grau de resistência e não ultrapassasse o órgão anatômico virtual. Assim, foi aplicada uma resistência de força (0,1 N) quando a ponta da agulha (esfera vermelha situada na ponta da agulha - Figura 47 (b)) atingia o modelo anatômico - Figura 47 (a)) e resistência máxima de força (1 N) quando a base do instrumento efetuava a colisão com o modelo anatômico (esfera azul na base da agulha - Figura 47 (b)), de forma a garantir que a agulha penetrasse o modelo com um certo grau de resistência e não ultrapassasse o órgão.

Para obter o valor de resistência de 1 Newton, os especialistas foram convidados para testar no AVI 3D a intensidade de força que mais se assimilava à força empregada em um processo de inserção ou retirada de agulha de um órgão anatômico real.

Os parâmetros de inserção (PI2) e retirada (PR1) utilizados referiam-se aos ângulos de inserção e retirada do instrumento sobre o modelo anatômico, determinados pelas métricas de análise de ângulos da Equação (7).

Figura 47 – Modelo anatômico (a) e seringa (b) com esferas representando a ponta e a base da agulha

Fonte: Autor

Para configurar parâmetros classificatórios, foi necessário associá-los às **técnicas de processamento de métricas** implementadas no método semiautomatizado, conforme modelo matemático e estatístico discutido na Seção 4.2.

O parâmetro PP3 foi determinado com base em técnicas de distância de ponto e plano da Equação (6), que tinha como referência estratégias de avaliação que consideravam o caminho mais curto observado na trajetória de uma tarefa virtual.

Os parâmetros PI3 e PR2 foram determinados em função da firmeza da trajetória. Essa métrica foi configurada para permitir a análise da oscilação de um objeto ao ser conduzido em determinada trajetória.

No experimento em questão, a firmeza representou o quanto a mão do indivíduo oscilou durante a perfuração, usando a Equação (8). Para determinar o parâmetro suavidade PI4, foi processado o *Jerk* instantâneo por meio da expressão definida na Equação (9).

Com a adoção das definições e configuração dos parâmetros apresentados, foi possível processar a execução de tarefas virtuais discriminando execuções habilidosas e não habilidosas. As execuções habilidosas, por sua vez, geraram um conjunto de treinamento que permitiu **ajustar** o classificador do método semiautomatizado.

5.2.3 Avaliação de HSM conduzida por especialistas

De modo que os especialistas pudessem avaliar tarefas no AVI 3D, fazendo uso dos mesmos parâmetros apresentados na Tabela 36, foi-lhes facultada a escolha da estratégia que utilizariam para avaliar os aprendizes. Assim, as tarefas realizadas no AVI 3D foram avaliadas pelos especialistas com base na observação da execução de cada tarefa, seguida de anotações dos valores atribuídos a parâmetros discriminatórios e classificatórios.

Aos parâmetros discriminatórios corresponderam os atributos de execução habilidosa ou não habilidosa; já aos parâmetros classificatórios, cada uma dos especialistas atribuiu notas de zero a dez.

Considerando a existência de três especialistas para discriminar as tarefas executadas habilidosa ou não habilidosa, era preciso estabelecer consenso quanto ao maior percentual entre os julgamentos realizados. Logo, uma tarefa foi considerada habilidosa quando pelo menos dois especialistas assim o consideraram. Para os parâmetros classificatórios, foi considerada a média das notas das três especialistas.

Com os resultados do processo de discriminação, obteve-se um grupo de execuções habilidosas. As métricas obtidas por esse grupo foram então utilizadas para ajustar um classificador com base em julgamentos humanos.

Além disso, durante o processo de análise de requisitos foi realizado o estudo com os especialistas (Seção 3.3.1) envolvendo o experimento com injeções intramusculares na região glútea e injeções subcutâneas na região abdominal.

Advieram do estudo dois aprendizados: o conhecimento das técnicas de ensino e avaliação utilizadas em cada tarefa, com base nos resultados coletados no questionário semiestruturado (Apêndice C), e as principais contribuições e percepções dos especialistas após a participação voluntária em cada sessão de treinamento avaliado.

A primeira contribuição foi pautada em sugestões que poderiam aperfeiçoar o método proposto, dentre essas, podem ser destacadas: i) a sugestão de aumento do “braço” do dispositivo háptico para permitir maior grau de realismo durante a realização das tarefas virtuais; ii) a melhoria da visualização de regiões

demarcadas para evitar dúvidas na aplicação; iii) o aumento do número de “janelas” para disponibilizar novos pontos de vista de observação dos especialistas.

No que diz respeito à capacidade do método semiautomatizado em avaliar a aquisição de HSM, os especialistas afirmaram que, uma vez que os critérios sejam definidos, o método é capaz de classificar e identificar execuções habilidosas e não habilidosas.

Quanto aos fatores que influenciaram nas divergências encontradas nos processos de avaliação do segundo experimento, os especialistas apontaram dois: a posição do glúteo (do ponto de vista frontal apenas) e a necessidade de melhorar a visualização lateral na aplicação disponibilizada.

Os especialistas citaram como vantagens para o contexto de treinamento: a precisão do método em quantificar o processo de avaliação, retirando a subjetividade do avaliador humano e a oportunidade de o aluno verificar onde errou. Como desvantagem e limitação, apontaram a ausência de visualização da tarefa virtual em diferentes pontos de vista.

Foi possível ainda verificar divergências nos julgamentos dos especialistas por meio da análise da técnica estatística de coeficiente de variação.

Na análise de parâmetros classificatórios do experimento realizado com aplicações de injeções intramusculares (Seção 3.5.2), foi possível verificar 33% de variação entre as notas atribuídas (escalas de zero a dez) pelas especialistas e no experimento com aplicações de injeções subcutâneas na região abdominal (Seção 3.5.3), o coeficiente de variação encontrado foi de 15%.

Verificou-se a existência de consenso nos julgamentos de execução habilidosa e não habilidosa entre os especialistas (parâmetros discriminatórios). Nos dois experimentos (Seção 3.5.2 e 3.5.3), os resultados apontaram um consenso de 78% nos processos de discriminação.

O coeficiente de variação encontrado indicou que na mesma avaliação executada pelas especialistas, há diferenças nos julgamentos entre as três especialistas (variação) durante a observação da mesma tarefa virtual.

Dos resultados obtidos deduziu-se que, embora os critérios de avaliação sejam claros e definidos, há certo grau de variação presente no julgamento dos especialistas. Com isso, é necessário considerar que a falta de unanimidade entre as opiniões dos especialistas pode influenciar nos resultados de avaliação, em

especial, na comparação dos julgamentos do método semiautomatizado e no julgamento de especialistas humanos.

5.2.4 Resultados da discriminação e classificação

O processo de **discriminação e classificação** desenvolvido neste experimento foi executado para atender duas formas de avaliação: i) totalmente automatizada, com base no método de avaliação da aquisição de HSM e ii) com base nos julgamentos atribuídos pelos especialistas (Avaliação dos especialistas).

Na Seção 3.5.2 foi descrita a realização do experimento envolvendo dois grupos: Grupo I (20 voluntários experientes) e Grupo II (23 voluntários iniciantes). Do total de voluntários recrutados, apenas 38 indivíduos executaram de fato a tarefa virtual no AVI 3D (17 do Grupo I e 21 Grupo II).

Na Tabela 38 são sumarizados os resultados de avaliação dos Grupos I e II, sendo apresentada a discriminação geral realizada pelas avaliações dos especialistas e pelo método semiautomatizado. Verifica-se nesta tabela (linhas e colunas de totais) que o método semiautomatizado julgou 14 execuções como habilidosas, enquanto os especialistas julgaram 15 execuções como habilidosas.

Tabela 38 – Resultados da avaliação de tarefas pelo método semiautomatizado *versus* especialistas

Avaliação dos especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não habilidoso	
Habilidoso	12	3	15
Não habilidoso	2	21	23
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	14	24	38

Fonte: Autor

Embora haja uma divergência em relação a alguns casos, verificou-se concordância substancial entre a avaliação pelo método semiautomatizado e a avaliação dos especialistas ($\kappa = 0,72$), utilizando-se a análise pelo coeficiente de κ (Equação 1).

Analisando isoladamente as execuções de tarefa do Grupo I (17 voluntários), verificou-se a convergência total da avaliação entre o método semiautomatizado e os especialistas (Tabela 39 – diagonal principal).

Tabela 39 – Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado *versus* especialistas no grupo de alunos experientes (Grupo I)

Avaliação dos Especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não Habilidoso	
Habilidoso	8	0	8
Não Habilidoso	0	9	9
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	8	9	17

Fonte: Autor

Já em relação ao Grupo II (21 voluntários), cinco casos de julgamento não apresentaram convergência, representando aproximadamente 24% de divergência na avaliação (Tabela 40 – diagonal secundária).

Tabela 40 – Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado *versus* especialistas no grupo de alunos iniciantes (Grupo II)

Avaliação dos Especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não habilidoso	
Habilidosos	3	3	6
Não habilidosos	2	13	15
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	5	16	21

Fonte: Autor

Para que fosse possível comparar os resultados de classificação baseados em métricas e atributos de tarefas discriminadas como habilidosas, foram utilizadas apenas as execuções habilidosas em que houve consenso entre o método semiautomatizado e os especialistas. Com isso, o classificador considerou doze execuções habilidosas, sendo nove do Grupo I e três do Grupo II.

A execução do **processo de classificação** de HSM foi precedida da geração de duas funções discriminantes: notas julgadas pelos especialistas e métricas processadas pelo método semiautomatizado. O propósito de gerar duas funções discriminantes para o classificador foi justificado pela necessidade de se comparar dois padrões de julgamentos, referenciados por dois conjuntos de treinamento distintos. Disso resultou um classificador com base no conjunto de execuções discriminadas como habilidosas pelo julgamento de especialistas e outro classificador baseado no julgamento do método semiautomatizado.

Assim, utilizando os quatro parâmetros classificatórios definidos na Tabela 38, obteve-se a função discriminante (Dx) de cada forma de avaliação. Para as avaliações dos especialistas, obteve-se o classificador descrito na Equação (20).

$$Dx = -0,03d + 0,82Fe + 0,75Se - 0,02Fs - 11,34 \quad (20)$$

As pontuações das tarefas executadas pelos indivíduos são apresentadas na Figura 50 (a), segundo avaliações dos especialistas. No gráfico verificam-se sete execuções de tarefas consideradas acima do ponto médio de habilidade, sendo seis do Grupo I (indivíduos 1,10,13,17, 9 e 7) e uma do Grupo II (indivíduo 38). Em contrapartida, cinco tarefas foram consideradas abaixo do ponto médio de habilidade, sendo três do Grupo I (indivíduos 3, 20 e 12) e duas do Grupo II (indivíduos 31 e 28). Disso conclui-se que a melhor tarefa foi executada pelo indivíduo 1 do Grupo I, com a pontuação de 3,79. O pior caso de tarefa foi executado pelo indivíduo 3 do Grupo I, cuja pontuação foi -3,43.

Para as avaliações do método semiautomatizado, utilizou-se a Equação (13), obtendo-se o classificador descrito na Equação (21).

$$Dx = 0.18d + 0.64Fe + 0.04Se + 1.86Fs - 20.08 \quad (21)$$

A pontuação das tarefas executadas pelos indivíduos é apresentada na Figura 50 (b), na qual é possível verificar doze avaliações realizadas pelo método semiautomatizado. Nesse universo, as execuções de tarefas dividem-se em duas: as que ficaram acima do ponto médio de habilidade, num total de dez, sendo oito do Grupo I (10, 13, 3, 17, 1, 12, 20 e 7) e duas do Grupo II (38 e 28); e, perfazendo o total de duas, as que ficaram abaixo do ponto médio de habilidade (Grupo I com 9 indivíduos e o Grupo II com 31 indivíduos). A melhor tarefa foi executada pelo indivíduo 10 do Grupo I, que obteve a pontuação de 6,01. O pior caso de tarefa foi executado pelo indivíduo 31 – Grupo II, que obteve pontuação de -4,12.

Os resultados de classificação de habilidades, em graus demonstrados na Figura 48, tornam possível a comparação dos resultados de ambas as avaliações (método semiautomatizado e por especialistas).

Figura 48 – Níveis de habilidades categorizados em classes (a) Avaliação humana e (b) Avaliação de pelo método semiautomatizado.

Fonte: Autor

Verificam-se na Figura 48 diferenças entre os dois tipos de avaliação quanto à execução de tarefas de alguns indivíduos. Obteve-se um coeficiente de concordância de *kendall* de 0,43, indicando uma baixa concordância entre a avaliação de especialistas e a do método semiautomatizado.

5.2.5 Discussão

Este experimento foi conduzido para verificar a seguinte hipótese: **é possível avaliar com precisão a aquisição de HSM por meio de um método semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa.**

A análise dessa hipótese realizou-se com o mesmo método de avaliação, que foi aplicado em dois conjuntos de dados representando execuções de tarefas de voluntários experientes (Grupo I) e iniciantes (Grupo II) no domínio de treinamento avaliado.

Utilizou-se, na comparação do processo de discriminação de execuções habilidosas e não habilidosas de especialistas e do método semiautomatizado, a análise de concordância por *kappa*, por meio da Equação (1), que revelou concordância substancial no processo de discriminação ($\kappa=0,72$).

A divergência de 28% apresentada na comparação entre a avaliação de especialistas e o método semiautomatizado foi devida a cinco casos de execuções de indivíduos encontrados no Grupo II (indivíduos 22, 24, 26, 36 e 37).

Na análise dos fatores responsáveis pela divergência, foi possível observar que especialistas e método semiautomatizado não convergiram quanto ao julgamento de duas situações relativas a execuções de indivíduos: o primeiro caso é o das execuções habilidosas, segundo as especialistas, para as quais o método semiautomatizado sugeriu a exclusão de algumas delas (indivíduos 22 e 26). No caso das execuções não habilidosas, o método semiautomatizado, contrariando a opinião das especialistas, sugeriu que fossem inseridas como habilidosas (indivíduos 24, 36 e 37).

Os atributos que representaram essas diferenças podem ser justificados pelos seguintes parâmetros discriminatórios: parâmetro de posicionamento PP2 (Tabela 37), representando a análise de colisão dentro de um quadrante permitido para a aplicação de injeções; parâmetro discriminatório de ângulo de inserção PI2, representando a análise de movimento durante a inserção do instrumento dentro de ângulos predefinidos por especialistas; e parâmetro PR1, que representa a liberdade de ângulos observados durante a retirada do instrumento do modelo anatômico virtual.

Em relação à análise de colisão dentro ou fora do quadrante, verificou-se a precisão do método semiautomatizado nas colisões em regiões atingidas nos quadrantes demarcados no ambiente simulado. Concorreu para essa verificação outra análise, a das informações registradas em um banco de dados implementado no método semiautomatizado, que armazenou dados sobre trajetórias, coordenadas de regiões demarcadas e vídeos sobre a execução dos movimentos executados no AVI 3D.

Contrastando a observação dos limites fixados para julgamento (critérios de avaliação predefinidos e configurados no bloco de calibração do método semiautomatizado), verificou-se, por meio do resultado dessa análise, que os indivíduos 22 e 26 atingiram, de fato, a região fora do quadrante; mas isso não foi percebido pelos especialistas.

Em outra situação, as especialistas julgaram de forma imprecisa os indivíduos 24, 36 e 37, quando estes atingiram a região dentro dos critérios

predefinidos (Figuras 49 (a) e (b)), ocasião em que as execuções dos treinandos foram julgadas habilidosas.

Figura 49 - Aplicação de injeções em regiões limítrofes da área demarcada

(a)

(b)

Fonte: Autor

Outro fator responsável pelas divergências no processo de discriminação diz respeito à percepção dos especialistas quanto à movimentação (se feita em ângulo correto) durante as inserções e retiradas do instrumento no modelo anatômico virtual, em graus de liberdade predefinidos. Essas métricas foram processadas no método semiautomatizado, com o uso de técnicas de análise de ângulo – Equação (7) –, e posteriormente comparadas com o julgamento de especialistas.

Na análise de métricas relacionadas ao parâmetro de inserção (PI2), notou-se repetição da divergência entre o julgamento de especialistas e o do método semiautomatizado. Enquanto os especialistas julgaram que o movimento dos indivíduos 24 e 37 extrapolou o limite de grau de liberdade permitido, o método semiautomatizado demonstrou, ao contrário disso, que esses indivíduos executaram movimentos dentro dos critérios de avaliação predefinidos e configurados no componente de calibração. Da mesma forma, durante a retirada do instrumento, os especialistas julgaram o ângulo de retirada do indivíduo 24 como não habilidoso, enquanto o método semiautomatizado (parâmetro RP1) julgou-a uma execução habilidosa.

Ajudaram nessa comparação os dados verificados por meio das execuções de trajetória realizadas com as técnicas representadas pela Equação (4) e a análise dos vídeos que registraram a execução de movimento realizado.

Ao final, considerando a análise das divergências discutidas nos parágrafos anteriores e a concordância substancial medida por $kappa = 0,72$, concluiu-se que o método é capaz de discriminar execuções habilidosas e não habilidosas em tarefas virtuais, confirmando a primeira hipótese delineada no início desta seção.

Em um segundo momento, as execuções habilidosas do processo de discriminação foram utilizadas para verificar a segunda hipótese: **é possível classificar graus distintos de habilidades, avaliando tarefas desenvolvidas em AVIs 3D.**

Para verificar os julgamentos decorrentes do âmbito de observação de especialistas e do método semiautomatizado, optou-se por doze casos em que houve consenso na discriminação entre a avaliação do método semiautomatizado e a de especialistas.

Analisando os resultados de avaliação projetados nas Figuras 49 (a) e (b), foi possível observar que, mesmo havendo diferença na ordem de classificação, o classificador gerado para processar os dados das duas formas de avaliação (métricas processadas pelo método semiautomatizado e valores julgados por especialistas) foi capaz de classificar HSM.

A análise das métricas processadas pelo método semiautomatizado permitiu verificar que os julgamentos são efetuados de forma proporcional a grandezas relacionadas a técnicas de processamento de métricas discutidas na Seção 4.2.1. Com isso, foi possível justificar a pontuação obtida e, ao mesmo tempo, analisar essas grandezas projetadas em gráficos tridimensionais, o que de certo modo, agrega valor à avaliação de especialistas e aprendizes.

Nas Figuras 50 (a) e (b), observam-se o pior e o melhor caso de trajetória tridimensional, considerando a aplicação do método de classificação por notas atribuídas pela avaliação de especialistas.

Em se tratando da avaliação pelo método semiautomatizado, as Figuras 50 (c) e (d) também ilustram casos extremos, porém com os parâmetros de classificação (Análise de trajetória ideal – PP3).

O parâmetro de posicionamento PP3 foi escolhido para ilustrar os pontos de trajetória realizada pelo indivíduo em um AVI 3D com base em gráficos que projetam pontos obtidos da trajetória capturada, conforme expressão definida na Equação (4).

Figura 50 – Análise da trajetória executada por avaliação das notas atribuídas por especialistas (a e b) e método semiautomatizado (c e d)

Fonte: Autor

Nas Figuras 50 (a) e 50 (b) são ilustrados os melhores e piores casos de trajetória avaliados com os resultados de classificação tanto dos especialistas como do método semiautomatizado.

Ao mesmo tempo, foi possível também mostrar visualmente quais casos de movimento mais econômico em relação a um plano ideal (PP3) são julgados pelo AVI 3D. Considerando as ilustrações gráficas, supõe-se então que seja possível para avaliadores o ajuste ou calibração do AVI 3D para discriminar e classificar tarefas virtuais de acordo com um grupo referenciado no processo de calibração do método semiautomatizado.

Nesse sentido, os resultados de avaliação permitiram confirmar a hipótese de que é possível classificar e aferir graus de habilidades com base no método de avaliação proposto.

Com base nas discussões anteriores, constatou-se também a terceira hipótese: **há proximidade na avaliação automatizada realizada em um AVI 3D e a avaliação feita por um especialista.**

Para efetuar essa comparação, foi utilizado o método de *Kendall* definido na Equação (2), por meio do qual se observou uma concordância pequena (0,43) na ordem de classificação dos julgamentos efetuados pelos especialistas e pelo método semiautomatizado.

A baixa concordância encontrada pode ser parcialmente justificada pela precisão matemática e computacional do método semiautomatizado frente à avaliação dos especialistas, evidenciada nos resultados do estudo com especialistas - Seção 5.2.3, de cuja análise resultou 78% de consenso em processos de discriminação de HSM e um coeficiente de variação de 15% entre os julgamentos dos especialistas nos parâmetros classificatórios.

5.2.5.1 Percepção dos especialistas

Pretendendo-se verificar a opinião humana sobre o método semiautomatizado, os especialistas que pré-configuraram o AVI 3D foram convidados a analisar os resultados do experimento. Para essa tarefa, deveriam indicar possíveis problemas de divergência ou vantagens que pudessem contribuir para o aperfeiçoamento do método proposto.

No que diz respeito à capacidade do método semiautomatizado em avaliar a aquisição de HSM, os especialistas afirmaram que, uma vez que os critérios sejam definidos, o método é capaz de classificar e identificar execuções habilidosas e não habilidosas.

Quanto aos fatores que influenciaram nas divergências encontradas nos processos de avaliação deste experimento, os especialistas apontaram dois: a posição do glúteo (do ponto de vista frontal apenas) e a necessidade de melhorar a visualização lateral na aplicação disponibilizada. Para corrigir esses problemas, sugeriram a exibição da execução da tarefa considerando diferentes pontos de vista em mais de uma janela de visualização. Esse ajuste permitiria, no acompanhamento

da execução do movimento, diferentes perspectivas de visualização: frontal, lateral e da agulha no ato da colisão.

Além disso, os especialistas apontaram a necessidade de aumento do tempo de ambientação dos voluntários na realização de experimentos futuros.

Com base nas sugestões dos especialistas, foram desenvolvidas e implementadas na arquitetura do AVI 3D as alterações mostradas na Figura 51.

Figura 51 – Aplicação com novas perspectivas de visualização

Fonte: Autor

O ajuste do cenário simulado no método semiautomatizado possibilitou a visualização da tarefa virtual em diferentes perspectivas, com detalhes que não seriam passíveis de avaliação com apenas um ponto de vista. No interior da Figura 53, são disponibilizados os detalhes visuais sobre a ponta do instrumento ao colidir com o modelo anatômico virtual: visão frontal e oblíqua (canto superior à direita); visão frontal da aplicação (lado esquerdo da figura) e visão lateral da aplicação (canto inferior à direita).

Na etapa seguinte de avaliação do método, foram exibidos para os especialistas os vídeos dos movimentos executados e, na sequência, discutiram-se os resultados gerais apresentados na Seção 5.2. Diante dos resultados, os especialistas destacaram a vantagem de utilização do método semiautomatizado, quando verificaram a possibilidade de discussões de problemas de avaliação de forma assíncrona, ou seja, no momento posterior ao que a tarefa virtual foi executada.

Segundo os especialistas, essa contribuição tanto pode agregar valor na prática de ensino ou de aquisição de HSM, como facultar a análise de metas de aprendizagem na aferição de parâmetros determinados por aprendiz ou

avaliador(es), visando à mensuração do desempenho durante a execução de uma tarefa virtual.

Os especialistas destacaram que a possibilidade de configurar e reconfigurar parâmetros de avaliação de aquisição em um módulo específico traz vantagens, como flexibilidade. Elencaram como vantagens do método semiautomatizado: definir e redefinir critérios de avaliação, automatizar novos parâmetros ou inseri-los de forma manual, caso esses não possam ser automatizados. Essa melhoria agregou ao método semiautomatizado a propriedade de ajustar-se a novas estratégias de avaliação para atender a necessidade de especialistas.

Ao final, foi destacado pelos especialistas fatores relacionados à facilidade de se visualizar e representar resultados de avaliação processados pelo método semiautomatizado, uma vez que os dados capturados pelo padrão de trajetória definido na Equação (4) podem ser facilmente projetados em gráficos 3D.

5.3 TERCEIRO EXPERIMENTO – AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DE INJEÇÃO SUBCUTÂNEA NA REGIÃO ABDOMINAL

Para atingir os objetivos delineados na Seção 3.5.3 serão apresentados os resultados experimentais com base na análise das seguintes hipóteses: i) **é possível avaliar com precisão a aquisição de HSM por meio de um método semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa;** ii) **é possível classificar graus distintos de habilidades, avaliando tarefas virtuais desenvolvidas em AVI 3D;** iii) **é possível combinar parâmetros automatizados e não automatizados para discriminar e classificar HSM.**

5.3.1 Descrição e configuração da tarefa

A tarefa deste experimento consistiu em aplicação de injeção na região abdominal, conforme enunciado na Seção 3.5.3. Representando a região abdominal humana, as Figuras 52 (a) e 52 (b) mostram um órgão anatômico virtual modelado para **configurar** o AVI 3D deste terceiro experimento.

Figura 52- Instrumento e modelo anatômico virtual em *wireframe* (a) e renderizado (b)

Fonte: Autor

O método foi calibrado por duas professoras especialistas. Durante a calibração, foi possível conhecer as estratégias de treinamento para procedimentos que envolvem o ensino de aplicações de injeção subcutâneas, com o foco em operações com agulhas.

Por meio de consenso, as especialistas elaboraram um questionário semiestruturado (Apêndice C) com a finalidade de lidar com procedimentos de operações com agulhas envolvendo a região abdominal. A análise desse instrumento de avaliação permitiu coletar informações sobre a técnica de avaliação usada na prática acadêmica dessas docentes.

Encontram-se dispostos na Tabela 41 **os parâmetros** consensualmente **definidos e configurados** pelas especialistas (discriminatórios e classificatórios, automatizados e não automatizados).

Para realizar o processo de **captura de interações e discriminação** de HSM, cada voluntário foi convidado a participar de duas sessões experimentais, em dois momentos distintos. A primeira sessão consistiu em um processo de treinamento sem avaliação, com o objetivo de ambientar os aprendizes com a ferramenta que simulou a tarefa virtual.

As especialistas efetuaram as devidas orientações sobre os objetivos da tarefa e os detalhes operacionais necessários à execução do experimento.

O AVI 3D registrou todas as informações, incluindo as trajetórias, parâmetros de avaliação e a captura de telas do computador em cada sessão de treinamento.

Tabela 41 – Etapas e tipos de parâmetros

Etapas	Parâmetros	Tipo de parâmetro	Automatizado? (Sim/Não)
<i>Posicionamento</i>	PP1 – Não colidir com o instrumento na região próxima ao umbigo.	Discriminatório	Sim
	PP2 – Colisão do instrumento fora da região ideal permitida.	Discriminatório	Sim
	PP3 – Trajetória mais retilínea possível ou mais econômica.	Classificatório	Sim
	PP4 – Posição correta do bisel durante a colisão.	Classificatório	Não
<i>Inserção</i>	PI1 – Inserir a agulha até o final.	Discriminatório	Sim
	PI2 – Angulação – inserção do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de + ou – 10 graus).	Discriminatório	Não
	PI3 – Suavidade do movimento na inserção.	Classificatório	Sim
	PI4 – Firmeza (oscilação) durante a inserção do instrumento (agulha).	Classificatório	Sim
<i>Retirada</i>	PR1 – Angulação – retirada do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de + ou - 10 graus).	Discriminatório	Não
	PR2 – Firmeza (oscilação) durante a retirada da agulha.	Classificatório	Sim

Fonte: Autor

Ao final do processo de discriminação, as especialistas efetuaram julgamentos em um formulário e o método semiautomatizado processou automaticamente os parâmetros discriminatórios (Tabela 41). No entanto, com o objetivo de verificar a discriminação de parâmetros não automatizados, foram analisados de forma isolada os parâmetros de inserção (PI2 e PR1) e a inserção e retirada do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de 10 graus).

De forma similar ao método semiautomatizado para avaliar o grau de habilidade na **classificação** das tarefas de execução habilidosa, foram considerados quatro parâmetros classificatórios, compreendendo valores entre zero e dez julgados por especialistas, e métricas processadas pelo classificador do método semiautomatizado. O parâmetro adicional PP4 (Tabela 41) foi julgado de forma isolada, porque foi computado apenas como julgamento não automatizado. Um exemplo disso é a posição do bisel (região demarcada pelo círculo na Figura 53 – ponta da agulha) durante a colisão.

Figura 53 – Posicionamento do bisel – ponta da agulha

Fonte: Autor

Para cada avaliação foi calculada a função discriminante de *Fisher*, representada na Equação (13).

Considerando os parâmetros discriminatórios (Tabela 41), as execuções habilidosas e não habilidosas foram discriminadas de forma automática durante o módulo de captura de interações do método semiautomatizado. Em paralelo, foram considerados os resultados de julgamentos das execuções habilidosas e não habilidosas efetuadas por especialistas.

Verificaram-se como necessárias à **validação** do estudo proposto, a concordância e a divergência entre a discriminação encontrada na avaliação dos especialistas e a avaliação do método semiautomatizado, para o qual foi utilizado o coeficiente de *kappa*, conforme Equação (1).

Além da análise da discriminação, foi fundamental a comparação dos resultados do classificador, realizadas por meio de métricas obtidas pelo método semiautomatizado e por especialistas.

5.3.2 Condução do Experimento

Para discriminar (D) e classificar (C) HSM de forma automatizada, especialistas (professores da área de enfermagem) efetuaram a **calibração** do método **configurando o AVI 3D** e **definindo parâmetros** com base em regras de discriminação e técnicas para o processamento de métricas, dispostas na Tabela 42.

Tabela 42 – Regras de discriminação e técnicas de processamento de métricas do método semiautomatizado

Parâmetros	Regras de discriminação e processamento de métricas
PP1 (D)	Demarcação de região não permitida (umbigo)
PP2 (D)	Demarcação de região permitida (quadrante no entorno do umbigo)
PI1 (D)	Análise se a agulha foi inserida até o final (colisão do sensor na base da agulha)
PI3 (C)	Análise de suavidade durante a inserção (<i>Jerk</i>)
PI4 (C)	Análise da firmeza durante a inserção (oscilação de ângulos)

Fonte: Autor

Os parâmetros discriminatórios (D) e classificatórios (C) apresentados na Tabela 42 estão em conformidade com as etapas, descrição e tipificação definidas na Tabela 41 e com a discussão sumarizada nos próximos parágrafos.

As **regras de discriminação** foram configuradas no método semiautomatizado por meio da associação de parâmetros, que foram definidos com o propósito de identificar execuções habilidosas ou não habilidosas durante a execução do módulo de **captura de interações**.

Os parâmetros de posicionamento PP1 e PP2 foram coletados com o objetivo de verificar se o instrumento médico virtual (seringa) efetuou a colisão na região correta (fora da proximidade ao umbigo e dentro do quadrante permitido). Para isso, os especialistas demarcaram uma região não permitida nas proximidades do umbigo, e a região de aplicação da injeção no quadrante externo à região do umbigo considerando um limite máximo permitido para a aplicação.

À configuração dos parâmetros classificatórios, foi necessário associar as **técnicas de processamento de métricas** implementadas no método semiautomatizado, seguindo o modelo matemático e estatístico discutido na Seção 4.2.

O parâmetro classificatório PP3 foi determinado com base na distância de ponto e plano da Equação (6), que tem como referência as estratégias de avaliação que consideram o caminho mais curto observado na trajetória de uma tarefa virtual.

O parâmetro PI1 foi determinado para analisar a inserção da agulha até o final. Para verificar a inserção até o final, a ponta do instrumento médico virtual (agulha) foi adaptada com dois sensores de detecção de colisão (esferas): um na ponta e outro na base da agulha (Figura 47 (b)). Assim, a execução é considerada habilidosa quando ocorre a colisão da base da agulha do instrumento médico com o

órgão anatômico virtual. A fim de determinar o parâmetro suavidade PI3, foi calculado o *Jerk* por meio da expressão definida na Equação (9).

O parâmetro PI4 foi determinado com base na firmeza da trajetória. Essa métrica foi adaptada para permitir a análise da oscilação de um objeto ao ser conduzido em determinada trajetória. Para o experimento executado no órgão em questão, a firmeza representou o quanto a mão do indivíduo oscilou durante a perfuração, conforme definido na Equação (7).

Adicionalmente, foram cadastrados os **parâmetros não automatizados** apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 – Parâmetros e critérios de julgamento utilizados por especialistas.

Parâmetros	Critérios de julgamento utilizados por especialistas
PP4 (C)	Posição correta do bisel durante a colisão.
PI2 (D)	Oscilação de ângulos – inserção do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de 10 graus).
PR1 (D)	Oscilação de ângulos – retirada do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de 10 graus).

Fonte: Autor

Os parâmetros não automatizados PP4, PI2 e PR1 foram criados com o objetivo de simular a impossibilidade de se obter métricas ou atributos de um método semiautomatizado e de atender o desejo de um especialista, que considerou o uso desses parâmetros para o classificador de HSM.

Por essa razão, na Tabela 43 não foi apresentada nenhuma regra automatizada, mas apenas os critérios de avaliação apontados por especialistas para julgar cada atributo ou métrica de avaliação de HSM.

Para que os especialistas pudessem acompanhar a avaliação de tarefas efetuadas pelo método semiautomatizado, utilizando os mesmos parâmetros apresentados na Tabela 43, foi-lhes facultada a escolha da estratégia que utilizariam para avaliar os aprendizes.

Assim, as tarefas realizadas no AVI 3D foram avaliadas em paralelo à participação dos especialistas (observação da execução de cada tarefa e anotações dos valores discriminatórios e classificatórios). Aos parâmetros discriminatórios corresponderam os atributos de execução habilidosa ou não habilidosa e aos parâmetros classificatórios, atribuíram-se notas de zero a dez, concedidas por cada um dos especialistas.

Para os parâmetros classificatórios, foi considerada a média das notas dos três especialistas. Considerando que esse experimento teve como entrada parâmetros discriminatórios não automatizados (Tabela 43), os atributos julgados apenas por especialistas foram considerados para compor o processo de discriminação de HSM (parâmetros PI2 e PR1).

Na sequência, o processo de discriminação separou as execuções habilidosas, as quais foram processadas por um classificador que considerou parâmetros classificatórios obtidos pelo método semiautomatizado e por um parâmetro classificatório adicional não automatizado (PP4) para avaliar graus de HSM.

5.3.3 Resultados de avaliação com base em parâmetros automatizados e não automatizados

A análise dos resultados de avaliação da aquisição de HSM foi conduzida com base no julgamento de especialistas e no processamento do método semiautomatizado. O estudo proposto apoiou-se em comparações envolvendo parâmetros automatizados e não automatizados de avaliação.

O processo de discriminação e classificação foi comparado com base na execução das seguintes formas de avaliação: i) totalmente automatizada, a partir do método de avaliação da aquisição de HSM; ii) utilizando-se dos julgamentos atribuídos pelos especialistas e iii) utilizando julgamentos com parâmetros não automatizados.

Como resultado do processo de discriminação, observou-se que o método semiautomatizado avaliou 13 execuções habilidosas e, do mesmo modo o fizeram os especialistas, considerando os parâmetros automatizados discriminatórios apresentados na Tabela 44.

Nos resultados da Tabela 44, observam-se 100% de convergência entre as duas formas de discriminação de HSM medidas por $kappa = 1$. Embora tenha sido observada essa unanimidade no julgamento de especialistas e método semiautomatizado, durante o processo de discriminação observaram-se em relação a divergências isoladas, atributos de parâmetros específicos.

Tabela 44 – Resultados da avaliação de tarefas do método semiautomatizado *versus* especialistas

Avaliação dos especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não habilidoso	
Habilidosos	13	0	13
Não habilidosos	0	9	9
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	13	9	22

Fonte: Autor

O primeiro caso de divergência está relacionado à execução de tarefa do indivíduo 8 do Grupo I, com base na análise do parâmetro PP1 (atingir a região não permitida próxima ao umbigo), julgado como de execução não habilidosa por um dos especialistas, e como de execução habilidosa pelo método semiautomatizado.

Para verificar o motivo da divergência, foi necessário auditar, como regra geral, as trajetórias armazenadas no banco de dados e no arquivo contendo o vídeo capturado e, de forma isolada, o momento de colisão e captura do parâmetro (PP1), como visto na Figura 54.

Verificando as coordenadas tridimensionais (na parte inferior da Figura 49) confirma-se que o aprendiz atingiu a região correta (fora da proximidade do umbigo). No caso desse parâmetro específico, deveria ter sido atribuído resultado de execução habilidosa pelos especialistas.

Figura 54 – Interface de execução de tarefa – indivíduo 8 – Parâmetro PP1

Fonte: Autor

Apesar de a execução da tarefa do indivíduo 8 ter sido julgada posteriormente como não habilidosa, consoante definição do parâmetro PI2, os resultados desse julgamento não influenciaram no processo de avaliação da tarefa

e, portanto, não aparece nos resultados gerais de discriminação ilustrados na Tabela 44.

O segundo caso de divergência foi observado na execução de tarefas dos indivíduos 2 e 3 do Grupo 1, levando em consideração a análise do parâmetro de posicionamento 2 – (região correta de aplicação de injeções). As execuções das tarefas 2 e 3 foram julgadas como habilidosas pelos especialistas, enquanto o método semiautomatizado as julgou como execuções não habilidosas.

Para analisar a divergência, foram coletadas as interfaces capturadas durante a realização de tarefas de cada indivíduo e cada instante de tempo das trajetórias armazenadas em arquivo. Observou-se que as colisões efetuadas pelos executantes das tarefas ultrapassaram o limite máximo horizontal da região permitida para aplicação de injeções. Durante a análise de trajetória, verificou-se que a colisão do instrumento manipulado pelo indivíduo 2 ocorreu na coordenada horizontal ($y = 1,37$) e a do indivíduo 3 na coordenada ($y = 1,26$), enquanto o limite de região permitida era delimitado pela posição máxima ($y = 1,25$). Essas divergências não aparecem nos resultados da Tabela 44, considerando que as execuções foram discriminadas posteriormente como não habilidosas pelo julgamento dos parâmetros não automatizados PI2 e PR1.

O terceiro caso de divergência foi encontrado na execução de tarefas do indivíduo 5 do Grupo I, quando se verificou que a agulha era introduzida até o final no órgão anatômico virtual (Parâmetro PI1). Considerando a divergência de julgamentos, foram auditados os arquivos de vídeo e de trajetória. Na avaliação do método semiautomatizado, a execução foi considerada não habilidosa e na dos especialistas, habilidosa.

Ao analisar os resultados do arquivo de trajetórias, verificou-se que o executante “picou” o órgão anatômico virtual e retirou a agulha. Na segunda execução da mesma tarefa, a “picada” da agulha até o final. Como essa regra não foi implementada de forma consistente no método semiautomatizado, os especialistas julgaram de forma correta a execução de tarefas, sendo necessário, portanto, efetuar as correções no método semiautomatizado.

Em seguida foi processada a discriminação da tarefa, adicionando-se os atributos dos parâmetros discriminatórios não automatizados PI2 e PR1. Embora esses parâmetros sejam cadastrados na condição de “não automatizáveis”, considerando que o método contempla técnicas para processamento da análise de

ângulos da Equação (7), foi realizada a comparação dos resultados do julgamento de especialistas com os resultados processados pelo método semiautomatizado.

Analisando a convergência ou divergência entre as duas formas de avaliação, foram encontrados cinco casos de divergência. Os três primeiros casos de divergência estão relacionados ao parâmetro de inserção PI2, que foi configurado pelos especialistas com o propósito de analisar a oscilação de ângulos da agulha durante a inserção no órgão anatômico virtual, conforme Tabela 45.

Tabela 45 – Comparação da avaliação – Oscilação de ângulos durante a inserção - método semiautomatizado *versus* especialistas

Avaliação dos Especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não habilidoso	
Habilidosos	8	0	8
Não habilidosos	3	11	14
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	11	11	22

Fonte: Autor

Na comparação da divergência entre os parâmetros obtidos pelo método semiautomatizado e os julgados pelos especialistas, foi utilizado coeficiente *kappa*, obtendo-se como resultado 0,816 ou “concordância quase perfeita”.

Analisando-se o segundo parâmetro, foram encontrados três casos de divergência (execuções dos indivíduos 2, 3 e 9 do Grupo II) entre a avaliação do método semiautomatizado e a dos especialistas.

A divergência foi encontrada pela execução da trajetória com oscilação dos ângulos processados em 36,49° (indivíduo 2), 36,50° (indivíduo 3) e 54,31° (indivíduo 9), dentro dos limites estabelecidos pelos critérios dos especialistas. No entanto, os três casos foram considerados como execuções não habilidosas pelos especialistas.

O parâmetro PR1 foi configurado pelos especialistas para analisar a oscilação de ângulos da agulha em sua retirada do órgão anatômico virtual. Dois casos de divergência foram observados em relação ao parâmetro de retirada PR1, conforme diagonal secundária da Tabela 46.

Tabela 46 – Oscilação de ângulos durante a retirada - método semiautomatizado *versus* especialistas

Avaliação dos Especialistas	Avaliação do método semiautomatizado		Total: (Avaliação dos especialistas)
	Habilidoso	Não habilidoso	
Habilidosos	11	1	12
Não habilidosos	1	9	10
Total: (Avaliação do método semiautomatizado)	12	10	22

Fonte: Autor

A primeira divergência encontrada foi identificada no Grupo I, com as oscilações registradas em 35,31° (indivíduo 2) e a segunda, no Grupo II, com as oscilações registradas em 55,32° (Indivíduo 6). No primeiro caso (indivíduo 6), o método semiautomatizado considerou a execução habilidosa, por estar dentro dos ângulos definidos pelos especialistas, e os especialistas a consideraram como não habilidosa. No segundo caso, os especialistas julgaram a execução como habilidosa e o método semiautomatizado mostrou que a retirada da agulha foi realizada em ângulos acima dos critérios predefinidos.

Analisando-se os arquivos de trajetória e os vídeos com as interfaces capturadas, observou-se que, de fato, a trajetória foi executada dentro da faixa de ângulos predefinidos pelos especialistas, o que valida a avaliação do método semiautomatizado.

No entanto, de modo geral, observa-se que os fatores de divergência passam a ser observados em regiões que representam fronteiras dos ângulos permitidos pelos critérios dos especialistas, ou seja, 35° e 55°.

A divergência notada entre os parâmetros obtidos pelo método semiautomatizado e julgados pelos especialistas foi medida como “concordância substancial”, representada por $kappa = 0,727$.

A comparação dos resultados de classificação só foi possível com o processamento das execuções habilidosas pelo método semiautomatizado e com a coleta dos valores obtidos pelo julgamento dos especialistas com base nos parâmetros não automatizados. Com isso o classificador computou uma execução habilidosa entre os doze indivíduos do Grupo I e quatro execuções habilidosas entre os dez indivíduos do Grupo II.

Com o processo de discriminação de tarefas habilidosas definido, analisaram-se a segunda e terceira hipóteses: **ii) é possível classificar graus**

distintos de habilidades, avaliando tarefas virtuais desenvolvidas em AVI 3D e iii) é possível combinar parâmetros automatizados e não automatizados para discriminar e classificar HSM.

Considerando que em outros experimentos foi analisada a eficiência do classificador, para verificar as hipóteses desse experimento foram comparados os resultados do classificador com e sem o parâmetro não automatizado (Parâmetro PP4 – posição correta do bisel). Diante disso, foram geradas duas funções de classificação. A primeira não considerou o parâmetro não automatizado e gerou a expressão definida na Equação (22).

$$Dx = 0,332d + 10,014Fe - 0,329Se - 50,330Fs - 38,204 \quad (22)$$

A segunda considerou o parâmetro não automatizado (Parâmetro PP4 – posição correta do bisel) e gerou a Equação (23).

$$Dx = -0,012B + 0,330d + 10,039Fe - 0,334Se - 5,280Fs - 39,00 \quad (23)$$

Com isso foi possível processar e comparar métricas obtidas, conforme resultados de classificação de HSM das cinco tarefas habilidosas apresentadas na Tabela 47.

Tabela 47 – Processo de classificação com e sem o parâmetro PP4

Indivíduo	Turma	Com bisel	Sem bisel
1	1 ^o semestre	9,21	9,18
4	5 ^o semestre	9,24	9,23
5	5 ^o semestre	7,21	7,27
7	5 ^o semestre	-8,42	-8,40
10	5 ^o semestre	-9,17	-9,17

Fonte: Autor

A análise dos dados da Tabela 47 revela que três execuções de tarefas foram consideradas acima do ponto médio de habilidade (zero), e duas abaixo deste ponto de referência. A pontuação das tarefas executadas pelos indivíduos é apresentada na Figura 55, na qual encontram-se ilustradas as avaliações de HSM com e sem o parâmetro não automatizado.

Figura 55 – Com o bisel (a) e sem o bisel (b)

Com o objetivo de verificar a influência do parâmetro não automatizado no processo de classificação de HSM, foram dispostos na Tabela 48 os dois resultados obtidos em cada forma de avaliação, bem como a diferença de avaliação em porcentagem.

Tabela 48 – Diferença de avaliação com e sem bisel

Indivíduo	Com Bisel	Sem Bisel	Diferença em porcentagem
1	9,21	9,18	3%
4	9,24	9,23	1%
5	7,21	7,27	6%
7	-8,42	-8,4	2%
10	-9,17	-9,17	0%
Total:			12%

Fonte: Autor

5.3.4 Discussão

Na análise de parâmetros classificatórios do experimento realizado com aplicações de injeções intramusculares na região abdominal, foi possível verificar 33% de variação entre as notas atribuídas (escalas de zero a dez) pelas especialistas e no experimento com aplicações de injeções subcutâneas na região abdominal, o coeficiente de variação encontrado foi de 15%.

Verificou-se a existência de consenso nos julgamentos de execução habilidosa e não habilidosa entre os especialistas (parâmetros discriminatórios). Nos

dois experimentos, os resultados apontaram um consenso de 78% nos processos de discriminação.

O coeficiente de variação encontrado foi capaz de mostrar que na mesma avaliação executada pelas especialistas, há diferenças nos julgamentos entre as três especialistas (variação) durante a observação da mesma tarefa virtual. Dos resultados obtidos deduziu-se que, embora os critérios de avaliação sejam claros e definidos, há certo grau de variação presente no julgamento dos especialistas. Com isso, é necessário considerar que a falta de unanimidade entre as opiniões dos especialistas pode influenciar nos resultados de avaliação, em especial, na comparação dos julgamentos do método semiautomatizado e no julgamento de especialistas.

Os dados da Tabela 48 apontam maior influência nos resultados de avaliação relativos à diferença analisada em relação à execução de tarefas do indivíduo 5, que é seguido, em ordem decrescente da diferença de execuções, pelos indivíduos 1, 7, 4 e 10. Considerando que o parâmetro classificatório PP4 não foi automatizado, a influência nos resultados de avaliação, observada pela diferença apresentada na Tabela 48, é feita de forma proporcional às métricas (notas) avaliadas de forma variável pelos especialistas.

Da análise dos resultados apresentados, concluiu-se que é possível discriminar e classificar tarefas virtuais em um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa, comparando-se o processo de discriminação realizado pelo método semiautomatizado com o julgamento de especialistas.

Além disso, foi possível verificar que a inserção de um parâmetro classificatório não automatizado é capaz de influenciar nos resultados de avaliação do processo de classificação de forma proporcional aos valores (notas) atribuídos por especialistas.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concorreu para a obtenção dos resultados experimentais a condução de um processo de análise de requisitos e a de três experimentos.

Na análise de requisitos, o estudo com especialistas mostrou diferentes estratégias de avaliação da aquisição de HSM orientadas para tarefas realizadas no

campo de enfermagem e ainda possibilitou a análise de divergências de avaliação entre especialistas em contextos reais de treinamento avaliado. Com a contribuição de profissionais do campo da Enfermagem, foi possível calibrar um método semiautomatizado e efetuar comparações entre os resultados de avaliação do método semiautomatizado e os dos especialistas com foco na observação humana.

Verificou-se ainda a viabilidade da construção de um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM com base na adaptação de um *framework* de treinamento médico. O resultado de uma primeira aplicação adaptada evoluiu à medida que estudos experimentais foram sendo realizados.

A hipótese relacionada à eficiência de técnicas matemáticas e estatísticas para classificar corretamente execuções em grupos de menor ou maior grau de habilidade, combinando-se diferentes técnicas de processamento de métricas de avaliação da aquisição de HSM, foi comprovada no primeiro estudo experimental.

Além disso, na ocasião foram realizados dois testes de capacidade de um classificador: gerar resultados de avaliação de destreza manual e analisar a correspondência desses resultados de avaliação de mãos dominante e não dominante com resultados autodeclarados por indivíduos executantes de uma tarefa virtual.

Para analisar se o método semiautomatizado seria capaz de processar avaliações de HSM com base no modelo teórico concebido, foi desenvolvido um segundo experimento comparando os processos de discriminação e classificação de HSM admitidos nas avaliações executadas pelo método semiautomatizado e nas avaliações executadas por especialistas em tarefas de aplicação de injeções intramusculares na região glútea.

Os resultados do segundo experimento indicaram que é possível avaliar a aquisição de HSM por meio de um método semiautomatizado, discriminando um perfil de execução habilidosa ou não habilidosa e classificando diferentes graus de HSM. Para isso foram comparadas as avaliações do método semiautomatizado com a avaliação de especialistas.

Verificou-se também que há maior convergência nos resultados de avaliação em processos de discriminação e menor convergência em processos de classificação. Quanto à divergência encontrada na análise de classificação, são plausíveis os seguintes fatores: i) a variação na avaliação de especialistas *versus* a precisão do método semiautomatizado; ii) a necessidade de aumento no tempo de

ambientação dos voluntários; e iii) aperfeiçoamento do AVI 3D, conforme sugestões apresentadas por especialistas.

Por fim, o mesmo método de avaliação foi estendido a um terceiro experimento, possibilitando a análise da eficácia de utilização de parâmetros automatizados e não automatizados de avaliação da aquisição de HSM, levando em conta tarefas virtuais envolvendo a aplicação de injeções subcutâneas na região abdominal. Os resultados indicaram que o método semiautomatizado é capaz de avaliar a aquisição de HSM, considerando a influência de parâmetros não automatizados nos resultados de classificação apresentados ao final do estudo experimental.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo definir, implementar e validar um método para avaliação da aquisição de HSM em ambientes virtuais interativos 3D no contexto de treinamento médico como forma de verificar a hipótese apresentada na seção introdutória: **é possível estabelecer um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM em Ambientes Virtuais Interativos 3D para treinamento médico.**

A condução de processos de RS permitiu concluir que poucos estudos apresentam métodos para a avaliação da aquisição de HSM em ambientes virtuais. Analisando os trabalhos encontrados foi possível verificar a ausência de um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM em AVI's 3D que possa ser extensível a diferentes tarefas virtuais em contextos de treinamento médico, visto que os métodos citados limitam-se a contextos específicos.

Para analisar a viabilidade de um método semiautomatizado, um *framework* de treinamento médico foi adaptado e uma nova aplicação foi gerada para permitir a realização de estudos experimentais. No entanto, é necessário salientar que, durante a realização dos estudos experimentais, verificou-se alto grau de complexidade tanto para a representação de algumas tarefas reais em cenários virtuais quanto para a captura automatizada de alguns parâmetros. Assim, a percepção dessas dificuldades levou à criação de um método que possibilitou um processamento semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM, ou seja, um método que considerou tanto parâmetros não automatizados quanto parâmetros processados de forma automatizada.

Para verificar os objetivos propostos, foram conduzidos experimentos e análises estatísticas que tinham a finalidade de validar o método proposto.

A partir dos resultados apresentados, da **análise estatística** realizada nos estudos experimentais e das respectivas conduções desses últimos com base no método semiautomatizado proposto, foi possível **concluir** que o modelo teórico concebido é adequado e capaz para avaliar a aquisição de HSM em um AVI 3D.

Essas conclusões foram possíveis, quando o estudo proposto permitiu as seguintes afirmações:

- i) um modelo teórico de avaliação concebido foi capaz de nortear o método semiautomatizado de avaliação da aquisição de HSM,

quando conduzido por especialistas e quando executado de forma automatizada;

- ii) na comparação dos resultados da avaliação humana com o método semiautomatizado, verificou-se que o método apresenta, além de potencial capacidade de avaliar a aquisição de HSM com convergência substancial máxima medida por *kappa* em processos de discriminação, uma concordância relativa medida por *Kendall* em processos de classificação;
- iii) concorreram, em grande parte, para a divergência entre humanos e o método automatizado fatores tais como os relacionados ao aperfeiçoamento do AVI 3D para a tarefa de treinamento avaliado, e a influência da variação da avaliação humana, quando confrontada com a precisão do método semiautomatizado;
- iv) foi possível comprovar a eficiência de um modelo matemático e estatístico de avaliação, com base na implementação de técnicas de processamento de métricas e um classificador, em um método semiautomatizado para avaliar a aquisição de HSM em um AVI 3D; e;
- v) o caráter extensível da aplicação do método semiautomatizado de avaliação verificou-se ao ser observado que, independentemente da tarefa realizada, o método reutiliza características de avaliação que estão presentes e são necessárias em diferentes tarefas virtuais.

Como pré-requisitos de utilização do método semiautomatizado em estratégias de avaliação, faz-se necessário a utilização ou modelagem de objetos virtuais 3D (quando inexistentes) que são necessários para simular tarefas envolvendo um instrumento médico e um órgão anatômico virtual. Além disso, um computador pessoal e um dispositivo háptico deve ser disponibilizado para instalação e configuração do método semiautomatizado com configuração superior ou similar a aquelas definidas na Seção 4.5.2.

Diante dos resultados apresentados e a ausência de métodos de avaliação da aquisição de HSM com as características enunciadas nos parágrafos anteriores, observa-se uma lacuna que foi preenchida pelo presente processo de investigação e as seguintes vantagens e contribuições podem ser destacadas para a comunidade científica.

6.1 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Além da delimitação de escopo apresentada na seção 3.1, o método testado apresenta as seguintes limitações.

Todos os experimentos foram realizados apenas com as mãos. Embora o método utilize-se de trajetórias capturadas em um AVI 3D não foi realizado experimentos avaliando movimentos capturados a partir de outras partes do corpo. Faz-se necessário também aprofundar-se em experimentos que considerem outras formas de se capturar trajetórias executadas por aprendizes em AVIs 3D.

O processo de classificação proposto apresenta resultados apenas após a realização de uma tarefa virtual, caracterizando um processo de avaliação somativa. Para que seja possível a classificação em tempo real (à medida que o usuário realiza uma ação) é necessário ter uma base de dados prévia de treinamento para a tarefa em questão, pois o aprendiz é classificado dentro de um grupo de aprendizes que executou a mesma tarefa. No entanto, a discriminação pode ser feita em tempo real, sem necessidade de adaptação do método.

Na versão atual não foi feita a integração de software, mas esta pode ser feita por meio de geração de arquivos intermediários. Também não é possível criar uma interface para a reprogramação de uma métrica ou um novo classificador sem a necessidade de gerar uma nova aplicação. No entanto, os conceitos e técnicas disponibilizados podem ser reutilizados por quaisquer aplicações no contexto dos experimentos apresentados neste trabalho.

Salienta-se ainda que os resultados obtidos valem para o contexto dos experimentos realizados. Acredita-se que os mesmos possam ser estendidos para contextos diferentes ou mais abrangentes, com características similares. No entanto, não se pode afirmar isso categoricamente, porque resultados são válidos para o contexto verificado.

6.2 VANTAGENS E CONTRIBUIÇÕES

Merece destaque uma das contribuições 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 ao longo da realização dessa investigação.

O modelo teórico de avaliação concebido permitiu orientar a criação de um método de avaliação flexível e dinâmico com a capacidade de considerar metas e objetivos de avaliação predefinidos por especialistas. Com isso, **módulos de configuração do AV** e de **definição e configuração de parâmetros** foram planejados, assim como um **bloco de calibração** foi projetado.

Além disso, um segundo **bloco**, que alicerça a estratégia **de avaliação** da aquisição de HSM, foi projetado no modelo teórico com o intuito de referenciar um **bloco de avaliação** que pudesse ilustrar a realização de sessões de treinamento avaliado sob a óptica da configuração ou reconfiguração de estratégias de avaliação **pré-ajustadas no bloco** de calibração.

No entanto, além da concepção de avaliação apresentada no modelo teórico, foram definidas formas de se obter valores de parâmetros automatizados e não automatizados. Para isso, as contribuições do estudo de RS destacaram técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas no processamento de métricas e geração de indicadores de avaliação de tarefas específicas. Diante dessas contribuições, concebido uma **Equação Geral de Avaliação da Aquisição de HSM** em um **Modelo Matemático e Estatístico** para processar e reutilizar métricas e gerar indicadores de avaliação com base na cinemática de movimentos capturados no AVI 3D.

A **validade** do método proposto para o modelo teórico de avaliação da aquisição de HSM foi testada com base na implementação e utilização de um método **semiautomatizado**, que permitiu a realização de estudos experimentais. Como uma das principais vantagens apontadas nos estudos experimentais, pode ser destacada a evidência de que o método **semiautomatizado** não só foi eficiente para a coleta de dados como capaz de processar avaliações discriminando e classificando graus de HSM com parâmetros automatizados e não automatizados de avaliação.

Além disso, é possível destacar como uma das vantagens encontradas no método proposto **características extensíveis** para uso em diferentes tarefas virtuais, convém observar na Tabela 49 as questões que são comuns ao método semiautomatizado, com base em evidências encontradas durante a realização do primeiro (Seção 5.1), segundo (Seção 5.2) e terceiro (Seção 5.3) experimento.

Tabela 49 – Características extensíveis do método semiautomatizado durante a análise dos resultados experimentais

Características	Uso por experimento		
	1º	2º	3º
Processamento de movimentos com base em trajetórias humanas em um AVI 3D	•	•	•
Decomposição de tarefas em etapas	•	•	•
Configuração automatizada do cenário de avaliação envolvendo um instrumento e um órgão anatômico virtual		•	•
Parâmetros automatizados	•	•	•
Parâmetros não automatizados			•
Regras de discriminação com base em colisão e demarcação de regiões	•	•	•
Classificador de graus de HSM referenciado por um grupo de execução habilidosa	•	•	•

Fonte: Autor

A primeira característica observada como essencial para a execução do método proposto em todos os estudos experimentais foi a de **representação de trajetórias executadas por aprendizes** em AVIs 3D. A representação de trajetórias tornou-se possível quando se implementou no método semiautomatizado as técnicas de processamento de trajetória referenciadas pela **Equação (4)**, que é integrante do modelo matemático e estatístico.

Essa técnica comprovou ser essencial não apenas para representar a captura e o armazenamento de movimentos, mas também para fundamentar o apoio ao processamento de métricas de parâmetros automatizados e à geração de indicadores representativos de graus de habilidades adquiridas.

Outra característica fundamental presente no método proposto diz respeito à faculdade de **decompor ou fragmentar tarefas em movimentos** analisados durante o processo de avaliação da aquisição de HSM em um AVI 3D. O método semiautomatizado permitiu, com base em regras de colisão e de demarcação de região, o registro de etapas de realização das tarefas implementadas no módulo de definição e configuração de parâmetros do bloco de calibração.

Considerando a utilização de um AVI 3D concebido para sessões de treinamento avaliado no **campo de treinamento médico**, outra característica

fundamental, que justifica a extensão do método proposto, é a possibilidade de criação de diferentes cenários de avaliação para diferentes instrumentos e órgãos virtuais modelados e armazenados no banco de dados do AVI 3D.

Os **parâmetros automatizados** também foram destacados como uma característica necessária à realização de todos os experimentos propostos. Durante a execução das tarefas virtuais, verificou-se ser possível obter diversos parâmetros de forma automatizada, especialmente quando esses foram definidos e associados a diferentes técnicas implementadas no método semiautomatizado.

No entanto, a essência do uso de extensível de parâmetros pode ser confirmada quando uma técnica que processa valores para gerar indicadores ou métricas de avaliação, **por exemplo**: processamento de movimento econômico (distância de ponto e plano) ou quantidade de tempo total ou de uma etapa (obtida pela aplicação da Equação (4)), destaca-se como uma estratégia que pode ser **reutilizada para a avaliação de trajetórias** executadas em diferentes tarefas virtuais.

Outra vantagem que pode ser destacada é a flexibilidade ao método proposto a partir do registro de **parâmetros não automatizados** como uma alternativa de avaliação implementada no bloco de calibração do método semiautomatizado. Essa característica é um dos fatores que justifica a utilização do termo “semiautomatizado”, especialmente pelo fato de que há parâmetros essenciais à completude de uma estratégia de avaliação, nem sempre capturáveis, de forma automatizada, na atual versão do método proposto.

No rol de destaques importantes também estão as **regras utilizadas para a discriminação** de HSM. Ao verificar-se a necessidade de separar determinadas execuções em habilidosas e não habilidosas, tomando como base as premissas definidas nas metas de avaliação de especialistas, tais regras fizeram-se necessárias. Do ponto de vista de extensão do método proposto, foi possível verificar a reutilização dessas regras em todos os estudos experimentais, especialmente, quando se percebeu a importância para os especialistas do campo da enfermagem em considerarem parâmetros que possuem valores obtidos com base na análise da trajetória de um instrumento e a sua colisão com partes (regiões) ou a totalidade de um órgão virtual. Essa conclusão foi verificada durante os resultados de estudos experimentais e nas discussões realizadas com as especialistas do campo de Enfermagem.

A necessidade de um coeficiente único, capaz de medir o grau de desempenho obtido por um executante de uma tarefa virtual, foi um dos anseios comuns a todos os especialistas que participaram dos estudos experimentais. Para atendê-lo, foi definido um **classificador de HSM** (apresentado na **Equação geral de avaliação (14)**) que demonstrou ser eficiente para prover a comparação de execução de tarefas dos diferentes voluntários participantes dos estudos experimentais.

Não obstante as vantagens apresentadas, observa-se também que o método pode ser utilizado como uma ajuda para o próprio educador verificar se ele está avaliando de maneira correta, tornando possível justificar cada dimensão de acerto ou erro introduzida no processo de aquisição de HSM.

6.3 ARTIGOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS

As contribuições científicas produzidas no decorrer do trabalho estão listadas abaixo.

1. ANJOS, A. M.; NUNES, F. L.; TORI, R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em Ambientes de Realidade Virtual para treinamento médico: uma Revisão Sistemática no periódico *Journal of Health Informatics*, 2012. v. 4, p. 28-34.
2. ANJOS, A. M.; NUNES, F. L.; TORI, R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em Ambientes de Realidade Virtual para treinamento médico: uma Revisão Sistemática. In: XIII Workshop de Informática Médica, Natal (RN), 2011. *Anais do XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, 2011. v. 1. p. 1886-1895.
3. ANJOS, A. M.; TORI, R.; NUNES, F. L. S. A Model for the Evaluation of Sensory-Motor Skills Acquisition in Three-Dimensional Virtual Environments. In: XV Symposium on Virtual and Augmented Reality, Cuiabá, 2013. In: *Proceedings of XV Symposium on Virtual and Augmented Reality: Sociedade Brasileira de Computação*, 2013. v. 1. p. 1-4.
4. ANJOS, A. M.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; OLIVEIRA, A. C. S. Statistical methods in the Evaluation of Sensory-motor Skills Acquisition in 3D In: 29th Symposium On Applied Computing, 2014.

5. ANJOS, A. M.; NUNES, F. L. S.; TORI R.; CHERUBINI, L. F. A comparative study between automated and human evaluation of sensory-motor skills in Interactive 3D Virtual Environments. In: XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality, Bahia Salvador, 2014.

Adicionalmente, foi submetido o artigo “***A model for the evaluation of Sensory Motor Skills in 3-D Virtual Environments applied in procedures of intramuscular injections***” referente aos resultados do último estudo experimental no periódico PLOS ONE *Journal Information* – aguardando parecer.

Considerando a boa avaliação do artigo "A comparative study between automated and human evaluation of sensory-motor skills in Interactive 3D Virtual Environments" aceito e apresentado no Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) – no SBC 2014 é possível também destacar um convite para submissão de versão ampliada no *Journal on Interactive Systems (JIS)*.

6.4. TRABALHOS FUTUROS

Para continuidade das experiências adquiridas no presente processo de investigação, sugere-se a continuidade da pesquisa com base nas seguintes propostas:

- desenvolver novos estudos experimentais estendendo características de reutilização do método a um maior número de tarefas virtuais no campo de treinamento médico;
- implementar outras funções de avaliação, em especial, a função processual, que permite a avaliação de tarefas durante a atividade de ensino;
- criar um editor de movimentos para o método semiautomatizado proposto;
- adaptar o AVI 3D para plataforma web ampliando a sua aplicação em contextos de Ambientes Virtuais de Aprendizagem ou de Treinamento médico utilizados na área de educação a distância.
- criar interface do ambiente de desenvolvimento integrado “R” com o método semiautomatizado gerado para facilitar a programação de novas métricas sem a necessidade compilar uma nova versão para o método semiautomatizado a cada alteração efetuada.

- Adaptar o sistema para a utilização e captura de interação envolvendo as duas mãos com diferentes dispositivos de interação (exemplo: luvas).

REFERÊNCIAS

ACM ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. Disponível em: <www.acm.org/conferences>. Acesso em: 20 Ago. 2010.

ACM DIGITAL LIBRARY. Disponível em: <www.acm.org/publications/journals>. Acesso em: 22 Jul. 2010.

ANJOS, A. M.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em ambientes de realidade virtual para treinamento médico: uma revisão sistemática. In: XIII Workshop de Informática Médica - XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação 2011, Natal (RN). **Anais...**, v. 1. p. 1886-1895, 2011.

ANJOS, A. M.; NUNES, F. L.; TORI, R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em ambientes de realidade virtual para treinamento médico: uma revisão sistemática. **Journal of Health Informatics**, v. 4, p. 28-34, 2012.

ANJOS, A. M.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; OLIVEIRA, A. C. S. Statistical methods in the evaluation of sensory-motor skills acquisition in 3D In: **29th Symposium On Applied Computing**, 2014.

ANJOS, A. M.; TORI, R.; NUNES, F. L. S. A model for the evaluation of sensory-motor skills acquisition in three-dimensional virtual environments. In: XV Symposium on Virtual and Augmented Reality, Cuiabá, 2013. **Proceedings** of XV Symposium on Virtual and Augmented Reality: Sociedade Brasileira de Computação, v. 1. p. 1-4, 2013.

ANJOS, A. M.; NUNES, F. L. S.; TORI, R.; CHERUBINI, L. F. A comparative study between automated and human evaluation of sensory-motor skills in Interactive 3D Virtual Environments. In: **XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality**, Bahia Salvador, 2014.

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality in presence **Teleoperators and Virtual Enviroments**, v.6, n.4, p. 355-385, august 1997.

BALDAS, V. et al. **A real-time automatic instrument tracking system on cataract surgery videos for dexterity assessment**. Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB), 2010 10th IEEE International Conference on, p.1-4, 3-5 Nov. 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5687643&isnumber=5687600>>. Acesso em: 04 Jun. 2012.

BARELLA, J. A. **Aquisição de habilidades motoras: do inexperiente ao habilidoso**. Motriz, Rio Claro – SP, v.5, n.1, p.53-57, junho, 1999. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/ib/efisica/motriz/05n1/5n1_ART15.pdf>. Acesso em: 20 Out. 2010.

BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Interação com realidade virtual e aumentada, SBC, 2006. In: **Livro do Pré-Simpósio**. VIII Symposium on Virtual Reality. Belém – PA, 02 de Maio de 2006.p. 129-148.

BIOCCA, F.; LEVY, M. R. **Communication in the age of virtual reality**. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Publication Year: 1995..

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C. TRAVASSOS, G. H. Sytematic review in software engineering. **Relatório Técnico**, RT-ES 679/05 System Engineering and Computer Science Dept., COOPE/UFRJ, 2005

BOMFIN, D. F.; **Pedagogia no treinamento**: correntes pedagógicas no ambiente de aprendizagem nas organizações. 2.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Manual de Contratação de Soluções de Tecnologia da Informação V 2.0. **BPMN: Business Process Modeling Notation**. Novembro, 2010.

BURDEA, G. C. Virtual rehabilitation - Benefits and challenges. **Methods of Information in Medicine**, v.42, n.5, p.519-523. AIP Center, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, EUA. 2003.

CAPES. Banco de Dados da Capes. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Em: 05 Out. 2010.

CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. **The psychology of human-computer interaction**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

CARDOSO. A.; LAMOUNIER JÚNIOR, E. Aplicações de realidade virtual e realidade aumentada na educação e treinamento. capítulo 3. In: **Livro do Pré-Simpósio SVR**, 2009. Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada. Org. Rosa Maria Costa e Marcos Vagner Ribeiro. XI *Symposium on Virtual Reality*. Promoção SBC. Organização Grupo de RV e RA – PUC- RS. Porto Alegre, RS. 25 – 28 de Maio de 2009. p. 53-68 .

CHALMERS, N. et al. **Recombination of common sensory-motor impairment evaluation techniques using a committee of classifiers**. Conference proceedings Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, p. 857-860, 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77950354023&partnerID=40&md5=fe9a89319067593638a80a30bf4320a0>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

CHEN, W. et al. **Kinematic analysis and dexterity evaluation of upper extremity in activities of daily living**. Gait & Posture, v. 32, issue 4, October 2010, p. 475-481, ISSN 0966-6362, 10.1016/j.gaitpost, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636210002079>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

CHOI, K-S.; SOO, S.; CHUNG, F-L. A virtual training simulator for learning cataract surgery with phacoemulsification. **Comput Biol Med.** v. 39, n. 11, p.1020-31. doi: 10.1016/j.compbimed.2009.08.003. Epub 2009 Aug 31.

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.

COELHO, F. A., JR.; BORGES-ANDRADE, J. E. **Uso do conceito de aprendizagem em estudos relacionados ao trabalho e organizações.** 2008. Disponível em www.scielo.br/paideia.

COLOMBO, R. et al. **Assessing mechanisms of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb,** 2008. p. 50-63. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-36849005426&partnerID=40&md5=0783e7a62e2f42b09f66f43b163b4b4a>. Acesso em: 06/10/2012.

CORRÊA, C. G. **Implementação e avaliação de interação em um framework para treinamento médico.** 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília. Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, Marília, 2008.

CORREA, C. G.; NUNES, F. L. S. **Abordagens práticas de realidade virtual e aumentada.** Sociedade Brasileira de Computação – SBC. Interação com dispositivos convencionais e não convencionais utilizando integração entre linguagens de programação, 2009, p. 61-103.

CRAIG, A. B.; SHERMAN, W. R. **Understanding virtual reality:** interface, Applications e design. San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2003.

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.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS. Periscópio. Disponível em: <<http://www.dicio.com.br/periscopio/> Dicionário Online de Portugues>. Acesso em: 02 Set. 2011.

_____. Tâmil. Disponível em:< <http://www.dicio.com.br/tamil/>>. Acesso em: 02 Set. 2011.

ENGINEERING VILLAGE. Base de Dados. Disponível em: <<http://www.ei.org/>>. Acesso em: 22 Ago. 2010.

FILATRO, A. **Design instrucional na prática.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

FILGUEIRAS, L. V. L.; AQUINO JUNIOR, P. T. **A expressão da diversidade de usuários no projeto de interação com padrões e personas**. 1-10, IHC, 2008, <http://doi.acm.org/10.1145/1497470.1497472>. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de>>. Acesso em: 02 Set.2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – **Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS**. – Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GRAY, G. L.; BURT, J. E.; **Directional statistics**. Concepts and techniques in modern geography, 25. ISBN 0 86094 032 2. ISSN 0306-6142. 1980.

HAYDT, R. C.C. **Curso de Didática Geral**. São Paulo. Série em Educação. 1ª Ed. Editora Ática, 2011.

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.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1999, 815 p.

KING, R. C. et al. Development of a Wireless Sensor Glove for Surgical Skills Assessment. **Information Technology in Biomedicine**, IEEE Transactions on, v. 13, n. 5, p.673-679, Sept. 2009. Disponível em: <URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5230366&isnumber=5230355>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

KITCHENHAM, B. Procedures for permorming systematic reviews. **Joint Technical Report Software Engineering Group**. Departament of Computer Sience Keele University, United King and Empirical Software Engineering, Nacional ICT Australia Ltd, Australia, 2004.

KLESATH, M.; FOLTA, E.; ANNETTA, L. A. **V-Learning: distance education in the 21st century trough 3D virtual learning environments**. New York: Springer Dordrecht Heidelberg Lonfon, 2010.

KNOWELS, M. S. **The adult education moment in the United States**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1962.

KOCH, F; KOSS, M. J; SINGH, P; NASER, H. Virtual reality in ophthalmology. **Klinische Monatsblatter Fur Augenheilkunde** [S.l.], v. 226, n. 8, p. 672-676, 2009.

KOLESNIKOV, M.; ZEFRAN, M.; STEINBERG, A.D.; BASHOOK, P.G. **PerioSim: Haptic virtual reality simulator for sensorimotor skill acquisition in dentistry**. Robotics and Automation, 2009. In: ICRA '09. *IEEE International Conference on*, vol., no., pp.689-694, 12-17 May 2009. Disponível em: URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5152751&isnumber=5152175>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

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**, v. 78, n. 2, p.311-328, 1993.

LANDIS JR, K. G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

MACEDO, T. R. P. P.; AMARAL, Y. R. Aspectos cognitivos na interação homem computador: uma análise comparativa de softwares odontológicos. **Revista da FARN**, Natal, v.2, n. 2, p. 57-68, jan./jul. 2003.

MACIEL, C; COSTA, R. Análise do curso Supera com foco na avaliação da aprendizagem e nos recursos de interação na Web. In: **Educação, Avaliação e perspectiva. 16. Seminário de Educação da UFMT**. 2008.

MADAN, A. K; FRANTZIDES, C. T. Prospective randomized controlled trial of laparoscopic trainers for basic laparoscopic skills acquisition. **Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques**, v. 21, n.2, p.209-21, 2007.

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.

MILGRAM P. et al. **Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum**. 282 / SPIE v. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 1994.

NUNES, et al. ViMeTWizard: Uma ferramenta para instanciação de um framework de Realidade Virtual para treinamento médico. In: **Proceedings of XXXIII Conferencia Latinoamericana de Informática**, San José, 2007. v. 1. p. 1-8.

OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. S. **Building an open source framework for virtual medical training. journal of digital imaging**. Springer New York. ISSN: 0897-1889. Medicine. Start Page: 706. End Page: 720.v.: 23, n. 6 (December), 2010: pp 706-720. Url: <http://dx.doi.org/10.1007/s10278-009-9243-3>, Doi: 10.1007/s10278-009-9243-3. Disponível: <http://www.springerlink.com/content/97246r6476rk3223/export-citation/>.

OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. S.; BEZERRA, A. Concepção e implementação de um framework para simulação de exames de punção usando realidade virtual. In: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007, Petrópolis. **Proceedings of the IX Symposium on Virtual and Augmented Reality**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2007. p. 253-262.

OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; DELFINO, S. R.; NUNES, F. L. S. Integração de um Framework de Realidade Virtual com um Sistema de simulação de objetos 3D para aplicações de treinamento médico. In: **X Symposium on Virtual and Augmented Reality**, 2008, João Pessoa. SVR (Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2008.

PANAIT, L. et al. The role of haptic feedback in laparoscopic simulation training. **Journal of Surgical Research**, v. 156, n. 2, p. 312-316, 2009.

PIMENTEL, E. P.; FRANÇA, V. F.; OMAR, N. **A identificação de grupos de aprendizes no ensino presencial utilizando técnicas de clusterização**. XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ 2003 Disponível em: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/280/266>. Acesso em: 25 Nov 2010.

PÓVOAS, M. B. C.; RODRIGUES, F. M. **Habilidades Motoras e tipos de prática: Uma reflexão visando o aprimoramento e conscientização do movimento na prática pianística**. In: DAPesquisa – Revista de investigação em Artes. Ago/2007 – Jul/2008. Vol. 1, nº 3. Disponível em: http://www.ceart.udesc.br/revista_dapesquisa/volume3/numero1/musica/felipe-bernardete.pdf />. Acesso: 25 Nov. 2010.

PUTNAM, C.; CHONG, L. Software and technologies designed for people with autism: what do users want? In: Assets '08: **Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility**. October. 2008.

RAPHAEL, G. et al. I-NET®: **Interactive neuro-educational technology to accelerate skill learning**. **Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2009**. Annual International Conference of the IEEE , p.4803-4807, 3-6 Sept. 2009. doi: 10.1109/IEMBS.2009.5332638. Disponível em: <URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5332638&isnumber=5332379>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

RAPHAEL, G.; BHNEMAN, A.; TAN, V.; POIMAN, N.; BERKA, C. I-NET: Interactive Neuro-Educational Technologies: Development of a novel platform for neurogaming. **Lecture Notes in Computer Science** (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 6780 LNAI. p 452-461, 2011.

RAMAHE, J. B. **A utilização de um Ambiente Virtual como ferramenta facilitadora da Aprendizagem II**. Disponível em: http://www.investigalog.com/ingenierias_y_sistemas_de_gestion/a-utilizacao-de-um-ambiente-virtual-como-ferramenta-facilitadora-do-aprendizado-ii/. Acesso em: 02 Set. 2011.

RISSANEN, M. et al. Annotated surgical manipulation for simulator-based surgical skill-transfer using SIRE. In: **Proceedings of the Third international conference on Biomedical Simulation**, 2006. p. 122—131. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/11790273_14. Acesso em: 29/06/2012.

ROCHA, H. V.; BARANAUSKAS, M. C. C. **Design e avaliação de interface humano-computador**. Campinas: NIED/UNICAMP. ISBN 85-88833-04-2, 2003.

SANTOS A.D.; MACHADO L. S. Realidade virtual aplicada ao ensino de medicina: taxonomia, desafios e resultados. In: **Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada**, Santos, Brazil. CDROM, 2009.

SBC BIBLIOTECA DIGITAL. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.sbc.org.br/>>. Acesso em: 13 Out. 2010.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C.A. **Aprendizagem e performance motora**: uma abordagem da aprendizagem baseada situação. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

SEYMOUR, N. E.; GALLAGHER, ANTHONY G.; ROMAN, S. A.; O'BRIEN, M. K.; BANSAL, V. K.; ANDERSEN, D. K.; SATAVA, R. M. **Annals of Surgery**. v. 236, n. 4, p. 458-464, 2002.

SIEGEL, S. **Estatística não** - paramétrica para as ciências do comportamento. [S.L.]: McGraw-Hill, (1956).

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 2th. ed. New York: McGraw-Hill, 1988. p. 281-285

SOLIS, J. et al. **Quantitative assessment of the surgical training methods with the suture/ligature training system**. WKS-2Rll. In: ICRA'09 Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Robotics and Automation, Kobe International Conference Center. Kobe, Japan, May 12-17, 2009, p. 4219-4224. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05152314>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

START. **State of the Art through Systematic Review**. Disponível em:<<http://lapes.dc.ufscar.br/ferramentas>>. Acesso em: 10 Jun. 2012.

STEFANIDIS, D. et al. **Redefining simulator proficiency using automaticity theory**. American Journal of Surgery, 193 (4), p. 502-506, 2007. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33947117428&partnerID=40&md5=653c075c0e9ba04fd1ab4df1634fc4e4>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

STRIEN, J. W. V. **The dutch handedness questionnaire**. FSW, Department of Psychology, Erasmus University Rotterdam. December 2002.

STYLOPOULOS, N.; VOSBURGH, K. G. **Assessing technical skill in surgery and endoscopy**: A set of Metrics and an algorithm (C-PASS) to assess skills in surgical and endoscopic procedures. Surgical Innovation, 14 (2), p. 113-121, 2007. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-34548099276&partnerID=40&md5=370c8fb34afd1abdaed329ac264c578a>>. Acesso em: 15 Mai.2012.

SUTHERLAND, I. E. **Sketchpad: A man-machine graphical communication system**. Technical Report. UCAM-CL-TR-574 ISSN 1476-2968. University of. Cambrige. Computer Laboraty. Series Editor: Markus Kuhn, United Kingdom, September, 2003. Disponível em: <[citeseerx.ist.psu.edu / viewdoc / download? doi = 10.1.1.128.1120](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.128.1120)>. Acesso em: 02 Set. 2011

SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (11. 2009: Porto Alegre, RS) Abordagens práticas de realidade virtual e aumentada: **livro dos minicursos**

[recurso eletrônico] / SVR 2009; org. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes [et al.]. – Porto Alegre: SBC, 2009

TANAKA, Y. et al. **Deling and evaluation of human motor skills in a virtual tennis task**. Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS'08 - "Personalized Healthcare through Technology", art. n. 4650133, p. 4190-4193, 2008. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-61849083677&partnerID=40&md5=471edc25eb0428b557a3e3d8f4f11c79>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

TANAKA Y.; ISHII M.; TSUJI T.; IMAMURA N.; Modeling and evaluation of human motor skills in a virtual tennis task. In: Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS 2008. 30TH. **Annual International Conference**. 20-25 Aug. 2008. pp 4190-4193. DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4650133

TANI, G.; FREUDENHEIM, A. M; MEIRA JÚNIOR, C, M; CORRÊA, U. C. **Aprendizagem motora: tendências, perspectivas e aplicações**. Ver. Paul. Educ. Fís., São Paulo, v.18, p.55-72, Ago. 2004.

TORI, R. **Educação sem distância: as tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem**. São Paulo: Senac, 2010.

TORI, R.; NUNES, F. L. S.; GOMES, V. H. P.; TOKUNAGA, D. M. **VIDA: atlas anatômico 3D interativo para treinamento a distância**. Capes – ACM 2006. **Disponível em:** <<http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=1281>>. Acesso em: 08 mar. 2010.

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de Realidade Virtual. In: Romero Tori; Claudio Kirner; Robson Siscouto. (Org.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006, v. 1, p. 7-22.

TRYON, R. C. **Cluster analysis**. Ann Arbor: Edwards Brothers, 1939.

TZAFESTAS, C.S., PALAIOLOGOU, N., ALIFRAGIS, M. Virtual and remote robotic laboratory: Comparative experimental evaluation. **IEEE Transactions on Education**, v. 49, n. 3, p. 360-369, 2006.

VAN DER MEJDEN, O. A. J., SCHIJVEN, M. P. The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: A current review. 2009. **Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques**, v.23, n.6, p. 1180-1190, 2009.

VUILLERMOT, S. et al. **An extended drawing test for the assessment of arm and hand function with a performance invariant for healthy subjects**. Journal of Neuroscience Methods, 177 (2), p. 452-460, 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-58149517192&partnerID=40&md5=9bd733949f86d3d1944ef3d42eb6129e>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

WATANABE, T.; KATSURA, S. A support method for haptic skill acquisition using graph theory, advanced motion control, 2010 In: **11th IEEE International Workshop on**, p.589-594, 21-24 March 2010.

YOSHIKAWAO, T.; KOEDA, M.; SUGIHASHI, M. A quantitative evaluation method of handedness using haptic virtual reality technology. **Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication**, art. n. 4415098, p. 298-303, 2007. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-48749111358&partnerID=40&md5=80a93133d14dc86fe3c93f9b0b358939>>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

APÊNDICE A – Protocolo da Primeira Condução de Revisão Sistemática

Metodologia para apoio a processos de avaliação de habilidades sensório-motoras em Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada

Objetivo:

Elaborar uma metodologia para avaliação de habilidades em ambientes de Realidade Virtual e Aumentada aplicáveis em processos de aquisição de habilidades sensório-motoras.

Formulação da Questão de Pesquisa:

Quais são as metodologias para avaliação de aquisição de habilidades sensório-motoras em Ambientes de Realidade Virtual (RV) e Aumentada (RA) ou metodologias de ambientes reais que possam ser adaptadas para Ambientes Virtuais

Itens relacionados ao escopo e especificidades da questão de pesquisa

- **População:** Professores ou aprendizes que aplicam ou são submetidos ao processo de avaliação de habilidades sensório-motoras; Sistemas de Realidade Virtual (RV) ou Aumentada (RA) utilizados em áreas de treinamento.
- **Intervenção:** Sistemas de treinamento; Metodologias que usem avaliação de habilidades sensório-motoras;
- **Resultados:** Análise de performance, confiabilidade e eficiência de metodologias de avaliação de habilidades sensório-motoras;
- **Controle:** *Inexistente*
- **Aplicação:** Os resultados do processo de revisão sistemática irão apoiar a pesquisadores de áreas de Realidade Virtual ou Aumentada, educadores e profissionais que necessitem metodologias para avaliação de habilidades sensório-motoras em áreas de treinamento.

Estratégias para busca e seleção de estudos primários:

Os recursos e estratégias para a seleção e busca de estudos foram definidos e selecionados com base nos seguintes itens:

- **Fontes de busca:** Banco de teses e Portal de Periódicos da CAPES: IEEE *journals*, IEEE *conferences*, ACM *journals*, ACM *conferences*; Springer, Biblioteca digital da Sociedade Brasileira de Computação, Referências acadêmicas presentes no *Google Scholar*, Biblioteca de teses da USP.
- **Idioma:** Preferencialmente em língua inglesa, e em casos específicos iremos também considerar possibilidades de trabalhos em língua portuguesa ou espanhol.

Palavras-chave:

Metodologia, Estratégias, Aulas, Práticas, Treinamentos: ("*methodology*" or "*strategy*" or "*prattice*" or "*classes*" or "*training*");

Avaliação: ("*assessment*" or "*evaluation*")

Realidade Virtual: ("*Virtual*" "*Virtual Reality*")

Aquisição de Habilidades: ("*skill acquisition*")

- **Data dos trabalhos:** serão utilizados, priorizando os livros e artigos publicados a partir do ano de 2006.

Processo de Seleção dos Estudos

- Processo de Seleção Preliminar:

Esse processo será realizado por meio de buscas formadas por palavras-chave usando *strings* elaboradas. Os trabalhos encontrados serão arquivados em pastas identificadas por título, juntamente com o resumo e a citação bibliográfica. Após a realização dos resumos, e verificando-se a relevância do trabalho, ele será selecionado para ser lido em sua totalidade. Em seguida serão impressos e arquivados em pastas separando-os por sites.

Nessa etapa iremos confeccionar e executar *strings* de busca em cada uma das fontes selecionadas documentando e registrando os trabalhos em um formulário de condução da revisão mediante a leitura dos resumos das obras evitando-se o registro repetido de obras idênticas.

- Processo de Seleção Final:

Consistirá na leitura dos trabalhos eleitos na etapa do processo de seleção preliminar, realizando uma súmula e considerações provenientes dos trabalhos selecionados. Em se tratando de livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado referente ao assunto em questão, serão feitos fichamentos de conteúdos e de citações.

- Condução da Revisão

O objetivo dessa etapa será formalizar um processo de revisão de acordo com o protocolo estabelecido na proposta atual.

- Sumarização dos resultados:

Todos os artigos encontrados durante a revisão sejam eles, incluídos ou não, serão arquivados em pastas identificando-os por título, juntamente com o resumo e a citação bibliográfica. Para livros, as dissertações de mestrado e teses de doutorado desenvolvermos um processo de resumo em formato de súmula. Como forma de publicação dos resultados da presente revisão a proposta irá contemplar a publicação de um artigo, e também como trabalho conclusivo a elaboração do projeto de pesquisa.

Critérios e Procedimentos para Seleção dos Estudos**Critérios de inclusão**

Como critérios de inclusão definimos os seguintes critérios:

1. artigos que apresentem metodologias de avaliação de aquisição de Habilidades Sensorio-Motoras (HSM) em Ambientes de Realidade Virtual (RV) ou em reais;
2. artigos que usem alguma metodologia de avaliação de aquisição de HSM em ambientes virtuais ou reais;
3. artigos que executam alguma avaliação de aquisição de HSM sem especificar metodologias.
4. Artigos publicados nos últimos 5 anos.

Crterios de excluso

Os seguintes crterios de excluso foram definidos:

1. – Artigos que no contenham estratgias ou metodologias de avaliao de habilidades;
2. – Artigo j encontrado e considerado para anlise em outra base;

APÊNDICE B – Protocolo da Segunda Condução de Revisão Sistemática

Metodologia pra avaliação de aquisição de Habilidades Sensório-Motoras em ambientes de Realidade Virtual utilizados na área de treinamento médico: uma revisão sistemática.

Objetivo

Identificar e analisar metodologias que existem para avaliação de aquisição de HSM, e, ao mesmo tempo, verificar que técnicas estão presentes nessas metodologias e podem ser adaptados ou reconstruídas em contextos de treinamento médico virtual.

Questões de Pesquisa:

- Que metodologias são concebidas para a finalidade de avaliar a aquisição de Habilidades Sensório-Motoras em ambientes reais ou de Realidade Virtual? E que métodos ou técnicas estão presentes nessas metodologias?
- Quais dessas técnicas estão disponíveis para avaliar a aquisição de HSM no contexto de treinamento médico?

Itens Relacionados ao Escopo e Especificidades da Questão de Pesquisa

- **Intervenção:** Metodologias ou técnicas de avaliação de HSM genéricos e na área de treinamento médico;
- **Controle:** Artigos obtidos com o orientador, teses e dissertações sobre avaliação de aquisição de HSM obtidas na internet, Revisão Sistemática (RS) anteriores do grupo;
- **População:** Professores ou aprendizes que aplicam ou são submetidos ao processo de avaliação de HSM; Sistemas de Realidade Virtual (RV) utilizados na área de treinamento médico;
- **Resultados:** Identificação e análise de técnicas presentes em metodologias para avaliar a aquisição de HSM;
- **Aplicação:** Os resultados do processo de RS irão apoiar pesquisadores que desenvolvem sistemas de avaliação de HSM em quaisquer áreas e, em especial, em contextos de RV aplicados à área de treinamento médico.

Estratégias para Busca e Identificação de Estudos

Os recursos e estratégias para identificação de estudos foram definidos e selecionados com base nos seguintes itens:

- **Fontes de busca:** Portal de Periódicos da CAPES: *IEEE journals, IEEE conferences, ACM journals e conferences* e SCOPUS; Referências acadêmicas presentes no *Google Scholar*; Base de dados bibliográficos da USP.
- **Idioma:** Preferencialmente em língua inglesa e, em casos específicos, iremos também considerar possibilidades de trabalhos em língua portuguesa.
- **Data dos trabalhos:** serão utilizados com prioridade os livros e artigos publicados a partir do ano de 2007.
- **Palavras-chave e termos de busca:**

Palavras-chave: A pesquisa será desenvolvida a partir de dois segmentos de recuperação de informação, denominados “pesquisa I” e “Pesquisa II”:

Pesquisa I:

Serão recuperadas fontes que apresentem resultados para os termos de busca referentes à **avaliação**, a partir de sinônimos em língua inglesa: “*Evaluation*” AND “*assessment*”

e

termos relacionados a: **aquisição de habilidades, habilidades motoras, destreza e sensório-motor**, a partir de sinônimos em língua inglesa: “*skill acquisition*” OR “*motor skill*” OR “*dexterity*” OR “*sensorimotor*”

e

que apresentem termos presentes na área de **Treinamento Médico**, a partir do termo equivalente em língua inglesa a “*Medical Training*”

Pesquisa II:

Fontes que apresentem resultados para termos de busca relacionados a **método de avaliação, técnica de avaliação e metodologia de avaliação**, a partir dos termos equivalentes em língua inglesa: “*evaluation method*” OR “*assessment method*” OR “*assessment technique*” OR “*evaluation technique*” OR “*assessment*

methodology" OR "evaluation methodology"

e

que apresentem resultados de busca para os termos: **Aquisição de habilidades, habilidades motoras, destreza, sensório-motor**: a partir do equivalente em língua inglesa *"skill acquisition" OR "motor skill" OR "dexterity" OR "sensorimotor"*.

A justificativa de segmentos de palavras-chave em dois procedimentos de recuperação de informação é feita considerando-se a necessidade de avaliar as informações presentes no campo de treinamento médico (especificamente) e de forma mais abrangente não excluir as contribuições de metodologias de avaliação de aquisição de HSM em outras áreas do conhecimento.

Nesse sentido, serão realizados dois procedimentos de pesquisa e, após avaliação, pretende-se interseccionar as fontes encontradas da pesquisa I e II.

Após essa intersecção, serão eliminadas as redundâncias para posterior avaliação das fontes de informação genéricas e aquelas aplicadas especificamente à área de treinamento médico.

Para realçar o procedimento de busca, foram otimizadas as *strings* para as fontes de busca identificadas, conforme exposto na próxima seção.

***Strings* de busca utilizadas nas fontes pesquisadas:**

SCOPUS

Pesquisa I:

(evaluation OR assessment) AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND

("medical training")

(TITLE-ABS-KEY((evaluation OR assessment)) AND TITLE-ABS-KEY(("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)) AND TITLE-ABS-KEY("medical training"))

AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2013 AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English"))

Pesquisa II:

("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")

AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)

(TITLE-ABS-KEY(("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")) AND TITLE-ABS-KEY(("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor))) AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2013 AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English"))

WEB OF SCIENCE**Pesquisa I:**

(evaluation OR assessment) AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND ("medical training")

TS=(evaluation OR assessment) AND TS= ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND TS= ("medical training")

Databases=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI Timespan=2007-2012

Pesquisa II:

("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")

AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)

TS=("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology") AND TS= ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)

Databases=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI Timespan=2007-2012

IEEE**Pesquisa I:**

(evaluation OR assessment) AND
 ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR
 sensomotor) AND ("medical training")

*You searched for: ((evaluation OR assessment) AND ("skill acquisition" OR "motor skill" OR
 dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND ("medical training"))*

Pesquisa II:

("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation
 technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")

AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR
 sensomotor)

*You searched for: (("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment
 technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation
 methodology") AND ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR
 "sensory motor" OR sensomotor))*

You Refined by:

Publication Year: 2007 - 2009

ACM**Pesquisa I:**

(evaluation OR assessment) AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor"
 OR sensomotor) AND ("medical training")

(Abstract:(evaluation OR assessment) OR

Title:(evaluation OR assessment)) AND

*(Abstract:("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR
 "sensory motor" OR sensomotor) OR*

*Title:("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory
 motor" OR sensomotor)) AND (Abstract:("medical training") OR Title:("medical
 training"))*

Pesquisa II:

("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")
AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)

Abstract:("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology") OR Title:("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology") AND (Abstract: ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) OR ("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor))

Base de dados bibliográfica da USP:

Pesquisa I:

(evaluation OR assessment) AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND

("medical training")

Pesquisa II:

("evaluation method" OR "assessment method" OR "assessment technique" OR "evaluation technique" OR "assessment methodology" OR "evaluation methodology")
AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor)

GOOGLE SCHOLAR

Pesquisa I:

(evaluation OR assessment) AND

("skill acquisition" OR "motor skill" OR dexterity OR sensorimotor OR "sensory motor" OR sensomotor) AND

("medical training")

(intitle:evaluation OR intitle:assessment) AND (intitle:"skill acquisition" OR intitle:"motor skill" OR intitle:dexterity OR intitle:sensorimotor OR intitle:"sensory motor" OR intitle:sensomotor) AND (intext:"medical training")

Pesquisa II:

Para desenvolvimento da pesquisa, utilizando-se o *Google scholar*, observou-se uma limitação na quantidade de *strings* permitida no mecanismo de busca. Para isso foi necessário subdividir em cadeias de *strings*, para poder obter os objetivos almejados na pesquisa II, conforme se detalha a seguir:

a) Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em "Skill Acquisition" – 5

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"skill acquisition")

b) Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em "motor Skill" – 3

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"motor skill")

c) - Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em "dexterity" – 11

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"dexterity")

d) Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em "sensorimotor" – 6

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"sensorimotor")

e) Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em “sensory motor ” - 3

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"sensory motor")

f) Sinônimos de métodos de avaliação, técnicas de avaliação e metodologias de avaliação especializados em “sensomotor - 0

(intitle:"evaluation method" OR intitle:"assessment method" OR intitle:"assessment technique" OR intitle:"evaluation technique" OR intitle:"assessment methodology" OR intitle:"evaluation methodology") AND (intext:"sensomotor")

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS

Processo de Seleção:

Essa etapa iniciará com a análise dos trabalhos resultantes do processo de identificação de estudos.

Para isso, serão analisados resumos verificando-se a relevância do trabalho, para subsidiar a sua seleção para leitura em sua totalidade.

Serão documentados e registrados todos trabalhos em um formulário de condução da revisão, mediante a leitura dos resumos das obras, evitando-se o registro repetido de obras idênticas.

Os critérios de inclusão e exclusão delineados a seguir permitirão identificar fatores que influenciaram na eleição ou exclusão dos trabalhos para o processo de extração na etapa posterior.

Critérios de inclusão

- Trabalhos que **apresentam** metodologias para avaliação de (HSM);
- Trabalhos que **usem ou referenciem** metodologias para avaliação de HSM;
- Trabalhos que apresentem **parâmetros** relevantes para uma metodologia de avaliação de HSM;

- Trabalhos que apresentem **fundamentos teóricos ou técnicas** relevantes para uma metodologia de avaliação de HSM;

CrITÉrios de exclusão

- Trabalhos nos quais o(s) aprendiz(es) ou treinando(s) não houver (em) executado na prática a aquisição de HSM;
- Trabalhos cuja avaliação é feita apenas com o foco na observação de especialistas;
- Trabalhos que não apresentem avaliação de HSM;
- Trabalhos que já foram eleitos e considerados para leitura anteriormente.

Condução da Revisão

O objetivo desta etapa será formalizar um processo de revisão, de acordo com o protocolo estabelecido na proposta atual.

PROCESSO DE SELEÇÃO FINAL

Consistirá na leitura dos trabalhos eleitos na etapa do processo de seleção, realizando uma súmula e considerações provenientes dos trabalhos selecionados.

Nessa etapa serão estratificados dados em um formulário de extração conforme descreve-se a seguir:

DADOS SOBRE O TRABALHO:

Autores:

Título do artigo:

Palavras-chaves:

Data de publicação:

Tipo de periódico:

Resumo:

Ano:

Tipo:

Comentários:

DADOS DE EXTRAÇÃO:

Resumo do trabalho: (feito pelo pesquisador)

Objetivo do trabalho:

Resumo do experimento:

Local:

Participantes:

Materiais envolvidos:

Descrição da metodologia empregada:

Descrição de técnicas ou métodos:

Técnicas de ensino: (Como se ensinou)?

Objeto(s) central (is) da avaliação: (O que foi avaliado? Desempenho? Qualidade?
Segurança?
Outros)

Parâmetros da avaliação:

Hipóteses: (caso haja):

Natureza do método:

Categoria/domínio de aplicação:

Tipo de ambiente:

Resultados:

Referências relevantes:

Observações:

Trabalhos futuros:

Sumarização dos resultados:

Todos os artigos eleitos pela etapa de seleção serão lidos em sua totalidade, e as informações serão registradas em um formulário de extração.

Critérios de qualidade de estudos facultarão aos pesquisadores a rejeição do trabalho caso não apresente relevância para o problema de pesquisa ou haja uma reavaliação dos pesquisadores sobre os critérios de inclusão definidos na etapa de seleção.

Para livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado será desenvolvido um processo de resumo em formato de súmula.

Critérios de qualidade de estudos

Serão considerados preferencialmente artigos que apresentem métodos, técnicas ou metodologias para avaliar a aquisição de HSM, que considerem a execução de estratégias de ensino-aprendizagem desenvolvidas em casos de execução de procedimentos de treinamento na prática, envolvendo a aquisição de HSM.

Os trabalhos que não apresentarem ou referenciem metodologias para avaliação de aquisição de HSM, mas tenham métodos ou técnicas que possam contribuir para a criação de uma metodologia de avaliação de aquisição de HSM também serão considerados.

Além disso, trabalhos que apresentarem resultado metodologias que consideram apenas a avaliação observação humana ou de especialistas não deverão ser considerados para análise.

Definição da síntese dos dados extraídos

Após a leitura e a estratificação das informações nos trabalhos eleitos, será elaborado um relatório técnico, que contemple uma análise de metodologias encontradas para avaliar a aquisição de HSM.

Essa análise envolverá uma avaliação das **principais técnicas ou métodos presentes nas metodologias encontradas**, sejam estas aplicadas em ambientes reais ou virtuais, e, especialmente, com destaque para os trabalhos direcionados para a área de treinamento médico.

As variáveis identificadas a partir do processo de seleção final deverão ser apresentadas em forma de tabelas, gráficos e outras formas de representação, que permitam ilustrar métodos, técnicas e parâmetros presentes nas metodologias, para avaliação da aquisição de HSM encontradas.

Como forma de publicação dos resultados da presente revisão, a proposta irá contemplar a publicação de um artigo e também, como trabalho conclusivo, a elaboração do projeto de pesquisa.

APÊNDICE C – Questionário de Pesquisa Semiestruturada Avaliação de Aquisição de HSM

BLOCO 1 – Perfil do especialista

- a) Idade: _____
- b) Sexo: _____
- c) Formação (curso): _____
- d) Há quanto tempo está formado: (em anos) _____
- e) Especialidade: _____
- f) Domínio do conhecimento ou área do trabalho: _____

BLOCO 2 – Experiência com ensino

- a) Possui experiência com o ensino de atividades que envolvem a aquisição de habilidades na prática?

() Sim () Não

- b) Caso sim, que tipos de atividades ou habilidades são ensinadas? Descrever.

- c) Há quantos meses/anos desenvolve essa atividade de ensino: _____

BLOCO 3 – Técnicas utilizadas para ensinar

- a) Que técnica(s) utiliza para ensinar (Exemplo: Exposição oral com demonstração e acompanhamento dos aprendizes, Ilustração com vídeos, áudio outros) ?

- b) Poderia descrever em etapas os procedimentos necessários para realizar a atividade que ensina (pelo menos uma)?

- c) Que instrumentos ou equipamentos utiliza (Exemplo: computadores, equipamentos laboratoriais entre outros). _____

BLOCO 4 – Técnicas utilizadas para avaliar

- a) Que técnica(s) utiliza para avaliar se alguém aprendeu ou desenvolve uma determinada habilidade (Exemplo: Observação, descrição ou outras).

- b) Utiliza algum indicador (notas, conceitos ou outros) para qualificar se alguém aprendeu ou não uma habilidade?

- c) Que critério(s) utiliza e como você avalia se um aprendiz desenvolveu ou não a aprendizagem de determinada habilidade?

- d) Nesse procedimento específico poderia detalhar que métricas que utiliza para comparar o grau de desenvolvimento de habilidades de um aprendiz e outro (Exemplo: Tempo, números de erros, colisões ou outras).

- e) Utiliza alguma técnica de avaliação ou método que é específico do campo de Avaliação de Habilidades? Se sim descrever.

-
-
-
- f) Tempo de experiência enquanto docente que atua avaliando atividades práticas ou de HSM. _____

BLOCO 5 – Utilizando-se de dispositivos de captura de dados, se você tivesse como capturar os parâmetros destacados na tabela 1, em uma escala de 0 a 10 avalie o peso da contribuição de cada categoria de parâmetros na caracterização de aprendizes não habilidosos, mais habilidosos ou menos habilidosos.

Tabela 1 – Categoria de Parâmetros

Atividades	Escala de 0 a 10
Medidas de esforço físico e orientação (Força, posição, velocidade e massa)	
Medidas de registro de percursos e procedimentos (gravação de padrões de comportamento, gravação de trajetórias)	
Medidas de destreza, sucesso ou insucesso de procedimentos (destreza, sucesso ou insucesso)	
Medidas de usabilidade ou de avaliação de grau de experiência do usuário (Medida de automaticidade da habilidade, Medida de facilidade da habilidade, Capacidade de o usuário recordar, Capacidade de o usuário recordar)	
Medidas de Feedback para o usuário (Resposta tátil (<i>Feedback</i> de força), <i>Feedback</i> sonoro, <i>Feedback</i> visual)	

Fonte: Anjos, A. M. Nunes, F. L. S. Tori R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em ambientes de realidade virtual para treinamento médico: uma revisão sistemática. J. Health Inform. 2012 Janeiro-Março; 4(1): 28-34.

APÊNDICE D – Avaliação da aquisição de HSM – Aplicação de Injeção Intramuscular na Região Glútea

Turma: () 5º semestre () 1º semestre

Código do avaliado: _____

Iniciais do avaliador: _____ Data: ____/____/2013

PROCEDIMENTO	DE QUE FORMA FOI REALIZADA A TAREFA?
POSICIONAMENTO:	
P1 – Colisão do instrumento (agulha) em região que possui hematoma.	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P2 – Colisão do instrumento (agulha) fora da região ideal (<i>quadrante superior externo direito</i>)	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P3 – Trajetória mais retilínea possível ou mais econômica	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
INSERÇÃO	
P1 – Inserção do instrumento até o final (agulha)	() Habilidade () Não habilidosa Observação:

P2 – Angulação - inserção do instrumento (agulha) em 90 graus (tolerância de + ou – 15 graus)	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P3 – Suavidade do movimento na inserção.	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
P4 – Firmeza (tremedeira) durante a inserção do instrumento (agulha)	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
RETIRADA	
P1 – Angulação - retirada do instrumento (agulha) em 90 graus (tolerância de + ou – 15 graus)	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P2 – Firmeza (tremedeira) durante a retirada do instrumento (agulha)	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:

APÊNDICE E - Avaliação da aquisição de HSM – Aplicação de Injeção Subcutânea.

Turma: () 5º semestre () 1º semestre

Código do avaliado: _____

Iniciais do avaliador: _____ Data: ____/____/2013

PROCEDIMENTO	DE QUE FORMA FOI REALIZADA A TAREFA?
POSICIONAMENTO:	
P1 – Colisão do instrumento (agulha) na região fora da proximidade ao umbigo.	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P2 – Colisão do instrumento (agulha) fora da região ideal permitida.	() Habilidade () Não habilidosa Observação:
P3 – Trajetória mais retilínea possível ou mais econômica	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
P4- Avalie a posição correta do bisel observada durante a colisão da agulha com o membro. (Apenas observação humana será coletada)	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
INSERÇÃO	
P1 – Inserção do instrumento até o final (agulha)	() Habilidade () Não habilidosa Observação:

P2 – Angulação - inserção do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de + ou – 10 graus) (Apenas observação humana será coletada)	☐ Habilidade ☐ Não habilidosa Observação:
P3 – Suavidade do movimento na inserção.	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
P4 – Firmeza (tremedeira) durante a inserção do instrumento (agulha)	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:
RETIRADA	
P1 – Angulação - retirada do instrumento (agulha) em 45 graus (tolerância de + ou – 10 graus) (Apenas observação humana será coletada)	☐ Habilidade ☐ Não habilidosa Observação:
P2 – Firmeza (tremedeira) durante a retirada do instrumento (agulha)	Avalie de 0 a 10 (<i>considerando 0 o pior caso e 10 o melhor caso</i>): Nota: _____ Observação:

APÊNDICE F - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado(a) Voluntário(a),

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário, em uma pesquisa acadêmica intitulada “Análise da viabilidade de um modelo de Avaliação da Aquisição de Habilidades Sensório-Motoras em Ambientes virtuais tridimensionais para treinamento médico”, que tem como objetivos criar uma metodologia para avaliar a aquisição de Habilidades sensório Motoras.

Suas respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o seu nome em qualquer fase do estudo. Os dados coletados serão utilizados apenas para fins de pesquisa científica e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em responder as perguntas a serem realizadas sob a forma de um questionário estruturado em papel ou de forma eletrônica. Caso necessário, você também poderá participar de um experimento que consiste na realização de tarefas virtuais simuladas por meio de um Ambiente Virtual (AV) tridimensional (3D) em um computador.

Sua participação é voluntária, isto é, a qualquer momento você pode recusar-se a responder qualquer pergunta ou desistir de participar. Não há nenhuma compensação financeira relacionada a sua participação.

Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição que forneceu os seus dados, como também na que trabalha.

Durante todas as atividades, você será acompanhado pelo pesquisador responsável, caso tenha dúvidas ou necessite de mais esclarecimentos durante os procedimentos de pesquisa. Caso você sinta algum desconforto no uso de óculos 3D, você pode interromper imediatamente o teste.

Durante a realização do experimento as tarefas que você executar serão avaliadas tanto por profissionais (especialistas da área) como de forma automática pela tecnologia AV 3D, com o objetivo de verificar se estade fato colabora para a avaliação de aquisição de habilidades sensório-motoras.

Alguns riscos aos sujeitos, que merecem atenção especial, são descritos abaixo.

Cabe ainda ressaltar que, como precaução adicional visando à prevenção de contágio de doenças qualquer natureza entre os sujeitos, todo o equipamento será higienizado após e antes de cada teste, com lenços descartáveis embebidos em álcool gel antisséptico.

Ao final da pesquisa, você receberá uma palestra instrutiva acerca da importância da aquisição de habilidades sensório-motoras no treinamento médico.

Se você concordar em participar, solicitamos a assinatura do termo de consentimento em anexo.

Atenciosamente

Pesquisador responsável: Alexandre Martins dos Anjos

Programa de Pós-Graduação Interinstitucional em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da USP em parceria com a UFMT

Telefone: 65 3615 8028 – Email: dinteralexandre@gmail.com

Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) – UFMT/HUJM: Professora Dra. Shirlei Ferreira Pereira

Telefone: 65) 3615-8254

Av. Fernando Correa da Costa, 2367 – Boa Esperança - CEP 78060-900, Cuiabá – MT.

Local de Atendimento: CCBS I - 1º Andar

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, _____,
RG _____, sexo _____, nascido em
____/____/____, residente na _____ (Rua/Av.)

_____, Telefone _____, profissão
_____, declaro que concordo em participar do experimento que
investiga uma Análise da viabilidade de um modelo de Avaliação da Aquisição de
Habilidades Sensório-Motoras em Ambientes virtuais tridimensionais para
treinamento médico.

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

APÊNDICE G - Questionário de pesquisa semiestruturada – Análise pós-experimento

Prezados senhores,

O presente instrumento tem como objetivo analisar a percepção de especialistas (avaliadores) na análise de requisitos que orientou um experimento. Considerando a apresentação dos resultados solicitamos a gentil atenção de análise e resposta do presente questionário semiestruturado.

QUESTÕES:

- 01) Você identificou fatores críticos que precisam ser sanados ou aperfeiçoados para que o método de avaliação desenvolvido para avaliar a aquisição de HSM possa ter melhores resultados? Caso sim, nas linhas abaixo, identifique esses fatores.

- 02) O método de avaliação apresentado no experimento que você participou é capaz de identificar indivíduos habilidosos e não habilidosos a partir de critérios pré-definidos por especialistas humanos?

- 03) O método de avaliação em Ambientes Virtuais 3D apresentado no experimento que você participou é capaz de classificar indivíduos habilidosos e não habilidosos a partir de critérios pré-definidos por especialistas humanos?

- 04) Que fatores você acredita terem influenciado na divergência entre os julgamentos de avaliação entre o modelo e os especialistas humanos?

- 05) Você seria capaz de citar vantagens de utilização do modelo de avaliação 3D em seu contexto de ensino-aprendizagem? Se sim, identifique-as.

--

06) Considerando tenhamos solucionado os fatores apresentados na questão 01, você identificaria desvantagens ou limitações para utilização do modelo de avaliação 3D em seu contexto de ensino-aprendizagem? Se sim, identifique-as.

--

Observações gerais: (Caso tenham)

--

Iniciais do avaliador: _____ Tempo aproximado de experiência como docente (em anos): _____

APÊNDICE H - Avaliação de Habilidade das Mãos - Perfil do Participante

Data de nascimento

Sexo

- ☐ Masculino
☐ Feminino

Nível de escolaridade

- ☐ Fundamental incompleto
☐ Fundamental completo
☐ Médio incompleto
☐ Médio completo
☐ Superior incompleto
☐ Superior completo
☐ Superior completo
☐ Outro:

Trabalha?

- ☐ Sim
☐ Não

Se sim, em que área?

O seu trabalho depende da utilização de computadores?

- ☐ Sim
☐ Não

Como classifica a sua habilidade com computadores?

- ☐ Inexperiente
☐ Pouco experiente
☐ Experiente
☐ Muito experiente

Com que frequência você utiliza computadores?

- ☐ Diariamente
- ☐ Semanalmente
- ☐ Mensalmente
- ☐ Raramente

Como classifica sua habilidade na utilização do mouse?

- ☐ Inexperiente
- ☐ Pouco experiente
- ☐ Experiente
- ☐ Muito experiente

Você joga ou jogou algum tipo de game cuja interação é feita pelo mouse?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Você joga ou já jogou algum tipo de game cuja interação é feita por outro dispositivo que não usa o mouse?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Caso sim - Identifique o dispositivo(s)

Qual a última vez que interagiu com um sistema/jogo 3D ou sistema/jogo com efeito 3D?

- ☐ Há mais de 1 semana
- ☐ Há menos de 1 mês
- ☐ Há menos de 3 meses
- ☐ Há mais de 3 meses
- ☐ Nunca

Você já utilizou ou utiliza sistema(s) com interação por dispositivos hápticos?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Caso sim - identifique que sistema(s)

Você já sofreu algum tipo de lesão em suas mãos ou nos braços?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Se resposta sim, qual?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Você já sofreu algum tipo de fratura em suas mãos ou nos braços?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Se sim, qual?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Possui problemas de visão?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Caso sim - identifique que problema.

--

Qual das mãos você usa para escrever?

Nas questões abaixo assinale qual a mão utilizada na realização das atividades descritas.

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para pegar no lápis quando desenha?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para segurar a escova de dente?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para lançar uma bola?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para dar as cartas de um baralho?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para pegar numa raquete de tênis?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para pegar numa colher quando come sopa?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para abrir a tampa de uma caixa?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para apagar com uma borracha?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para segurar uma tesoura quando recorta papel?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda

- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para abrir uma porta com uma chave?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para segurar o martelo quando crava um prego?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para segurar a linha quando a enfia numa agulha?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

Qual das mãos você usa para manipular o mouse quando utiliza o computador?

- ☐ Direita
- ☐ Esquerda
- ☐ Ambas

APÊNDICE I - Diagrama de Classes (Folha 1/2)

Calibração

APÊNDICE I - Diagrama de Classes (Folha 2/2)

ANEXO A – Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise da viabilidade de um modelo de Avaliação da Aquisição de Habilidades Sensório-Motoras em Ambientes Virtuais tridimensionais para treinamento médico

Pesquisador: Alexandre Martins dos Anjos

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 20850213.0.0000.5541

Instituição Proponente: Universidade Federal de Mato Grosso/ UFMT

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 391.019

Data da Relatoria: 11/09/2013

Apresentação do Projeto:

O estudo envolverá a aplicação de instrumentos de pesquisa (questionários estruturados e semiestruturados); realização de experimentos em Ambientes Virtuais (AVs) tridimensionais (3D) - simulação por computador. O Estudo será caracterizado a partir da análise do perfil executante de indivíduos iniciantes e especialistas em AVs 3D que simulam a realização de 2 tarefas virtuais. Essas tarefas serão julgadas/avaliadas por especialistas humanos a partir de parâmetros e técnicas específicos de determinado campo de Habilidade Sensório-Motora (HSM). Um modelo teórico de avaliação deverá permitir a realização de experimentos conduzidos em cenários virtuais comparando o julgamento/avaliação de especialistas humanos (observando indivíduos executando 2 tarefas virtuais) com o julgamento/avaliação do modelo teórico implementado em AVs 3D. Serão convidados aprendizes iniciantes de determinados contextos (exemplo: alunos em primeiro ano de formação da área médica ou usuários iniciantes) e aprendizes com determinado grau de experiência no desenvolvimento de determinadas tarefas (exemplo: alunos no último ano de formação de determinado currículo da área médica ou usuários experientes). Em AVs 3D serão observados fatores como: Gravação da trajetória de movimentos humanos a partir da execução de determinadas tarefa por indivíduos utilizando AVs 3D; Implementação e análise de parâmetros e

Endereço: Rua Fernando Correa da Costa nº 2367

Bairro: Boa Esperança

UF: MT

Município: CUIABA

CEP: 78.060-900

Telefone: (63)3615-3254

E-mail: shirleytp@bol.com.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
JÚLIO MULLER-
UNIVERSIDADE FEDERAL DE

Continuação do Parecer: 391.019

técnicas simuladas em cenários virtuais a partir de fatores que especialistas consideram como relevantes em estratégias de avaliação de aquisição de HSM; Análise de indicadores sobre tarefas realizadas com habilidade e sem habilidade; Análise sobre de graus ou níveis de habilidades em processos de avaliação de HSM. Os dados coletados serão analisados de forma qualitativa e quantitativa, como forma de validar o modelo definido para avaliação da aquisição de HSM em AVs 3D no campo de treinamento médico.

Objetivo da Pesquisa:

Esse trabalho tem como objetivo estabelecer um modelo de avaliação de tarefas virtuais na ótica das teorias de aprendizagem e performance motora humana. Esse modelo deverá ser capaz de avaliar tarefas virtuais realizadas por indivíduos que atuam no campo de treinamento médico. Para isso, serão criados instrumentos de pesquisa com objetivo de verificar parâmetros e técnicas de avaliação que especialistas utilizam para

avaliar aprendizes em estratégias de aquisição de HSM. Essas informações permitirão implementar ajustar e validar o modelo teórico proposto por Anjos et al (2013) e ao mesmo tempo subsidiar a construção de um método de avaliação de HSM que é parte integrante da tese de doutorado do pesquisador. Para validar o modelo proposto, pretende-se desenvolver ou adaptar aplicações de simulação em AVs 3D ou adaptar aplicações geradas por frameworks desenvolvidos por outros projetos do Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab) da Escola Politécnica da USP e do LApIS (Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde) da Escola de Artes Ciências e Humanidades da USP.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Trata-se de riscos de baixo impacto aos sujeitos, conforme descrito a seguir. Ressalte-se que, a qualquer momento, qualquer sujeito poderá desistir da pesquisa, sem qualquer prejuízo; 1 - Risco de constrangimento: para evitar esse risco, será deixado claro que o experimento não tem como propósito tornar público conceito ou nota a ser atribuído ao sujeito, garantindo-se o anonimato de cada sujeito. O que se pretende analisar é se o AV 3D é capaz de avaliar uma tarefa virtual de forma análoga à feita por especialistas humanos; 2 - Risco de constrangimento por dificuldade de utilização do ambiente virtual: para evitar esse risco, o treinamento será acompanhado por especialista, que estará disponível para esclarecimento de quaisquer dúvidas em relação à utilização do ambiente; 3- Risco de desconforto visual devido ao uso de óculos 3D: para evitar esse risco, o participante será comunicado pelo avaliador da possibilidade de tal desconforto, sendo ainda esclarecido quanto à possibilidade de interromper imediatamente o experimento, caso o participante assim deseje; 4 -

Endereço: Rua Fernando Correa da Costa nº 2367

Bairro: Boa Esperança

CEP: 78.060-900

UF: MT

Município: CUIABA

Telefone: (63)3615-3254

E-mail: shirleytp@bol.com.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
JÚLIO MULLER-
UNIVERSIDADE FEDERAL DE

Continuação do Parecer: 391.019

Durante a realização dos experimentos, medidas de higiene serão providenciadas no que tange ao manuseio dos instrumentos por parte dos sujeitos de pesquisa, como precaução adicional visando à prevenção de contágio de doenças qualquer natureza entre os sujeitos. Todo o equipamento que tiver contato direto com as mãos dos sujeitos será higienizado a cada teste por lenços descartáveis, embebidos em álcool gel antisséptico.

Benefícios: O benefício relacionado à sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de tecnologias interativas e Realidade Virtual aplicadas ao campo de treinamento médico. No entanto, durante a realização da pesquisa diagnóstica, pretende-se realizar um seminário com os professores especialistas divulgar as possibilidades de utilização da tecnologia em contextos de ensino a que esses profissionais atuam e ao mesmo

tempo permitir que os mesmos possam contribuir para a adequação do experimento que propomos. Ao final da pesquisa, pretende-se também desenvolver uma palestra informativa para explicitar os resultados do trabalho em questão e também as possibilidades de utilização dessas tecnologias no campo da saúde e em especial para profissionais e alunos que atuam nessa área.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Estudo de relevância para a área.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto: adequada, com compromisso da gestora da instituição.

TCLE: adequado.

Incluiu todos os documentos necessários para o desenvolvimento do estudo.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O pesquisador esclareceu todas as pendências. Propomos a aprovação do projeto.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Projeto aprovado em relação à análise ética.

Endereço: Rua Fernando Correa da Costa nº 2367

Bairro: Boa Esperança

CEP: 78.060-900

UF: MT

Município: CUIABÁ

Telefone: (63)3615-3254

E-mail: shirleytp@bol.com.br

Continuação do Parecer: 391.019

CUIABA, 11 de Setembro de 2013

Assinador por:
SHIRLEY FERREIRA PEREIRA
(Coordenador)

Endereço: Rua Fernando Correa da Costa nº 2367
Bairro: Boa Esperança CEP: 78.060-900
UF: MT Município: CUIABA
Telefone: (63)3615-3254 E-mail: shirleyfp@bol.com.br