

**CLÉBER GIMENEZ CORRÊA**

**Simulação de inserção de agulha para  
treinamento de procedimento de anestesia  
odontológica**

São Paulo  
2015

**CLÉBER GIMENEZ CORRÊA**

**Simulação de inserção de agulha para  
treinamento de procedimento de anestesia  
odontológica**

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

São Paulo  
2015

**CLÉBER GIMENEZ CORRÊA**

**Simulação de inserção de agulha para  
treinamento de procedimento de anestesia  
odontológica**

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

Área de Concentração:

Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Livre-docente Romero  
Tori

Coorientadora: Profa. Livre-docente Fá-  
tima L. S. N. Marques

São Paulo  
2015

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

São Paulo, 2 de junho de 2015.

Assinatura do autor: \_\_\_\_\_

Assinatura do orientador: \_\_\_\_\_

## FICHA CATALOGRÁFICA

Corrêa, Cléber Gimenez

Simulação de inserção de agulha para treinamento de procedimento de anestesia odontológica / C. G. Corrêa. – versão corr. – – São Paulo, 2015.

183 p.

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

1. Interação homem-máquina 2. Realidade virtual 3. Odontologia (Procedimentos terapêuticos) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas DigitaisII. t.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, Neusa e Odair, por acreditarem no meu trabalho.

À minha família, especialmente aos meus avós.

Aos orientadores, professores Romero Tori e Fátima L. S. N. Marques, pela sabedoria compartilhada.

Aos amigos, de São Paulo: Rosely, Beth, Mauro, Mariana, Ronaldo, Renato, Sônia, Da. Nilda, Janine, Lucy, Pretinha, Dama, Théo, Chiquinho, Rogério, Juliana, Da. Olga, Cris, Eliana, Silvana, Abel, Bia, Zuza, Da. Florinda, Toninha, Zezinho, Bruno, Lima; e do interior: Deborat, Maria Manso, Juninho, Ailton, Antonio Carlos, Danilo, Dimas, Nilza, Márcio, Silvana, Paulão, André, Júlio, Ivanilda, Ana, Lurdinha, Tiago, Nil, Fernando, Carlos, Lenita, Sandra, Silvana, Rodrigo, Juscelino e João Louco.

Aos amigos do laboratório que me acolheu: Makoto, Silvio, Ana Cláudia (Prof. José Carlos), Alexandre Tomoyose (Claudia), Alexandre dos Anjos, Lucas, Eunice, Obana, Fábio Carmo (Renata), Daniel Lemes, Cilene, Daniel Calife, Tsuda, Prof. João Bernardes (Alair), Prof. Ricardo Nakamura, Maurício, Marylia, André, Lucy Mari, Elen, Jéssica, Profa. Edith, Profa. Maria Alice, Fábio Picchi, Ian, Artur, Missae, Bruno, Lígia, Victor, Pedro Kayatt (Keila), Pedro Câmara; e de outros laboratórios: Soraia, Walter, Juan, Rafael, Juliana, Ivairton, Raul, Allan, Wilian, Diego, Bruno, Leonardo, Michel, Roberto, Prof. Valdinei, Profa. Anna Reali, Profa. Anarosa, Prof. João José, Prof. Ricardo Rocha, Prof. Paulo Barreto, Prof. Sérgio Furuie e Leila.

Aos funcionários da Escola Politécnica da USP, principalmente da Engenharia Elétrica, especialmente a Mariza e a Mayra, mas não esquecendo Nilton, Edson, Suzano, Daniel, Lourdes, Clara, Rubens, Alex, Antônio, Mariana, Patrícia, Léia e Tânia.

Aos professores, alunos e funcionários da Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB/USP, especialmente Profa. Cidinha, Susy, Sileide, Mariana, Marina, Allan, Kim, Valéria, Graciane, Wanda, Luiz, Geraldo e Ever, pela acolhida, confecção dos objetos tridimensionais e auxílio nos experimentos científicos.

Às bancas, de qualificação e defesa, pela dedicação na leitura e apresentação de considerações para o aperfeiçoamento do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC) - Edital 15/2008, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo 559931/2010-7, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

(FAPESP) - Processo 2010/15691-0, à FDTE (Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia), pelos apoios financeiros.

## **RESUMO**

A Realidade Virtual tem apresentado importantes contribuições para a área de saúde, principalmente no domínio de treinamento, o qual visa à aquisição de conhecimento e habilidades na realização de determinados procedimentos. Um procedimento ainda não simulado consiste na aplicação de anestesia local para tratamento odontológico, especificamente para bloqueio do nervo alveolar inferior. A execução de tal procedimento apresenta uma alta taxa de insucesso, elevando os riscos aos pacientes e a insegurança dos aprendizes. Dessa forma, e considerando a complexidade para a criação de uma simulação realista, o presente trabalho visou ao desenvolvimento de um protótipo de sistema computacional baseado em Realidade Virtual, para simulação de parte do procedimento de anestesia (tarefa de inserção de agulha), enfatizando a etapa do procedimento de aplicação da anestesia que envolve a correta manipulação e inserção da agulha. Ou em termos de Realidade Virtual, a parte que envolve a interação humano-computador, contemplando aspectos visuais e hápticos. A abordagem háptica é uma parte importante em sistemas computacionais desse tipo e o realismo é considerado um dos principais objetivos no desenvolvimento de sistemas dessa natureza. Adicionalmente, uma análise da interação humano-computador foi realizada, indicando que embora diversas limitações tecnológicas ainda existam, o sistema pode ser considerado uma ferramenta auxiliar de treinamento para a tarefa, complementando os métodos tradicionais. Também, uma métrica objetiva perceptual para avaliação da interação háptica foi formulada, visto que na literatura as formas subjetivas dominam amplamente os testes e uma métrica encontrada na literatura falha diante de determinadas situações, especialmente aquelas relacionadas com a inserção de agulha, etapa do procedimento de anestesia simulada no presente estudo.

**Palavras-chave:** Interação humano-computador, Realidade Virtual, Odontologia.

## **ABSTRACT**

Virtual Reality has made important contributions to the health care, especially in the training field, which aims to acquisition of knowledge and skills in performing certain procedures. A procedure still not simulated consists of making local anesthesia for dental treatment, specifically to block inferior alveolar nerve. The execution of this procedure has a high failure rate, increasing the risk to patients and the insecurity of beginners. Thus, and considering the complexity for creating a realistic simulation, this work aims to develop a computer system prototype based on Virtual Reality, for simulation of anesthesia procedure stage (needle insertion task), emphasizing the stage of the anesthesia administration procedure that involves the correct handling and needle insertion. Or in terms of Virtual Reality, the part that involves human-computer interaction, taking into account visual and haptic aspects. The haptic approach is an important part in computer systems of this kind and the realism is considered one of the main objectives in the development of these systems. Additionally, an analysis of human-computer interaction was examined, indicating that although there are still several technological limitations, the system can be regarded as an auxiliary training tool for the task, complementing traditional methods. Also, a perceptual objective metric for evaluation of haptic interaction was formulated, because in the literature the subjective ways dominate the tests and a metric found in the literature fails on certain situations, especially those related to the insertion needle, stage of the anesthesia procedure simulated in this study.

Keywords: Human-computer interaction, Virtual Reality, Dentistry.

# SUMÁRIO

**Lista de Ilustrações**

**Lista de Tabelas**

**Lista de Abreviaturas e Siglas**

**Lista de Símbolos**

<b>1 Introdução</b>	<b>21</b>
1.1 Objetivos . . . . .	23
1.2 Justificativas . . . . .	24
1.3 Organização do Texto . . . . .	25
<b>2 Interação em Ambientes Virtuais</b>	<b>27</b>
2.1 Classificação de Interação em Ambientes Virtuais . . . . .	31
2.1.1 Navegação . . . . .	32
2.1.2 Seleção e Manipulação . . . . .	35
2.1.3 Controle do Sistema . . . . .	36
2.1.4 Entrada Simbólica . . . . .	37
2.2 Interação Hápatica . . . . .	38
<b>3 Treinamento Odontológico em Anestesia</b>	<b>41</b>

3.1	Anatomia . . . . .	42
3.2	Materiais e Instrumentos . . . . .	43
3.3	Técnicas para Aplicação de Anestesia . . . . .	44
3.4	Avaliação do Treinamento . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Revisão da Literatura</b>	<b>48</b>
4.1	Tipos de Simulações . . . . .	50
4.2	Área . . . . .	51
4.3	Dispositivos . . . . .	56
4.4	Modelos e Métodos . . . . .	61
4.5	Validação . . . . .	65
4.6	Métricas Objetivas Perceptuais para Avaliação da Interação Hápatica . . . . .	73
4.7	Considerações Finais . . . . .	77
<b>5</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>80</b>
5.1	Materiais . . . . .	80
5.2	Métodos . . . . .	82
<b>6</b>	<b>Desenvolvimento do Sistema Interativo para Treinamento e Elaboração Métrica Objetiva para Avaliação da Interação Hápica</b>	<b>86</b>
6.1	Sistema de Treinamento . . . . .	86
6.1.1	ViMeT . . . . .	88
6.1.2	Detecção de Colisão . . . . .	90

6.1.3	Visualização . . . . .	93
6.1.4	Objetos 3D . . . . .	93
6.1.5	Navegação e Controle da Interação . . . . .	94
6.1.6	Dispositivo Háp tico . . . . .	94
6.2	Versões para Testes do Sistema . . . . .	96
6.3	Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação Háp tica . . . . .	99
6.3.1	Formulação da métrica objetiva perceptual para avaliação de interação háp tica . . . . .	102
6.4	Versões para Testes da Métrica Objetiva . . . . .	104
<b>7</b>	<b>Experimentos</b>	<b>107</b>
7.1	Sistema . . . . .	111
7.2	Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação da Interação Háp tica	112
<b>8</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>114</b>
8.1	Análise da Interação . . . . .	115
8.1.1	Preferências dos Participantes . . . . .	121
8.1.2	Considerações Adicionais . . . . .	123
8.2	Análise da Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação da Interação Háp tica . . . . .	125
8.3	Comparação das Métricas Objetivas Perceptuais para Avaliação da Interação Háp tica . . . . .	127
<b>9</b>	<b>Conclusões</b>	<b>130</b>

<b>Referências</b>	<b>134</b>
<b>Apêndice A - Levantamento de Requisitos - Método Volere</b>	<b>153</b>
<b>Apêndice B - Revisão Sistemática - Resultados Detalhados em Tabelas</b>	<b>162</b>
<b>Apêndice C - Parecer Consustanciado do Comitê de Ética em Pesquisa</b>	<b>180</b>

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 <i>Continuum</i> de Milgram - Realidade Misturada . . . . .	29
Figura 2 - Inervação da estrutura mandibular . . . . .	42
Figura 3 - Instrumentos para aplicação da anestesia odontológica . .	44
Figura 4 - Categorização dos artigos incluídos . . . . .	49
Figura 5 - Tipos de simulações . . . . .	51
Figura 6 - Tipos de procedimentos . . . . .	53
Figura 7 - Regiões corporais alvo . . . . .	53
Figura 8 - Graus de liberdade para a tarefa simulada . . . . .	55
Figura 9 - Tipos de dispositivos . . . . .	56
Figura 10 - Tipos de dispositivos comerciais . . . . .	57
Figura 11 - Modificação de dispositivo Phantom Omni para palpação antes da inserção de agulha . . . . .	59
Figura 12 - Modificação de dispositivo Phantom Omni para punção de tireoide . . . . .	60
Figura 13 - Força máxima oferecida pelos dispositivos . . . . .	60
Figura 14 - Modelos de retorno háptico . . . . .	62
Figura 15 - Métodos de deformação e retorno háptico . . . . .	64
Figura 16 - Tipos de testes envolvendo usuários . . . . .	66
Figura 17 - Natureza do realismo . . . . .	67

Figura 18 - Tipos de testes estatísticos . . . . .	68
Figura 19 - Números de participantes dos testes . . . . .	69
Figura 20 - Números de especialistas nos testes . . . . .	70
Figura 21 - Números de novatos nos testes . . . . .	70
Figura 22 - Números de centros médicos nos testes . . . . .	70
Figura 23 - Tipos de questionários utilizados nos testes . . . . .	72
Figura 24 - Caso de Uso - Configuração do ambiente . . . . .	88
Figura 25 - Caso de Uso - Treinamento virtual . . . . .	88
Figura 26 - Diagrama de classes do ViMeT . . . . .	89
Figura 27 - AV com as esferas em pontos estratégicos para detecção de colisão . . . . .	91
Figura 28 - Fases principais da detecção de colisão baseada em <i>Oc- tree</i> - (a) Divisões do AV e (b) Cálculo face a face . . . . .	92
Figura 29 - Adaptação do dispositivo háptico substituindo a caneta pela seringa Carpule - (a) Manipulação com a seringa, (b) Manipulação com a caneta do dispositivo, (c) Dispositivo modificado e (d) Manipulação da seringa Carpule acoplada ao dispositivo . . . . .	95
Figura 30 - AV utilizado no teste informal - 2 Pontos de vista e <i>Wire- frame</i> . . . . .	97
Figura 31 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores - Expe- rimento I . . . . .	97
Figura 32 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com texturas - Experimento I . . . . .	98

Figura 33 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores - Experimento I . . . . .	98
Figura 34 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com texturas - Experimento I . . . . .	99
Figura 35 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores - Experimento II . . . . .	99
Figura 36 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com texturas - Experimento II . . . . .	100
Figura 37 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores - Experimento II . . . . .	100
Figura 38 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com texturas - Experimento II . . . . .	101
Figura 39 - AV para análise da métrica . . . . .	102
Figura 40 - Cenários com duas distorções - Experimento I - (a) Durante todo o processo interativo de <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> <i>Frequência Constante</i> e (b) No pré-contato de <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> - <i>Frequência Variável</i> . . . . .	105
Figura 41 - Cenários com diferentes distorções no pré-contato e na perfuração - Experimento II - (a) Distorção durante o movimento livre de <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> - <i>Frequência Variável</i> e (b) Distorção na perfuração de <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> <i>Frequência Variável</i> . . . . .	105

Figura 42 - Cenários com diferentes distorções no movimento livre - Experimento <i>II</i> - (a) Distorção em forma de oscilações ou <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> - <i>Frequência Variável</i> , (b) Constante distorção após uma baixa intensidade ou <i>Magnitude = JND(position)</i> - <i>Frequência Variável e Constante</i> e (c) Constante distorção após uma alta intensidade ou <i>Magnitude &gt; JND(position)</i> - <i>Frequência Variável e Constante</i> . . . . .	106
Figura 43 - Tela inicial do sistema de treinamento utilizado nos experimentos . . . . .	109
Figura 44 - Tela para registro de usuário . . . . .	109
Figura 45 - Sujeito participando dos testes . . . . .	109
Figura 46 - AV utilizado no Experimento <i>II</i> - 2 Pontos de vista e Textura	112
Figura 47 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Todos os participantes do Experimento <i>I</i> - (a) Visual e (b) Hápatico . . . . .	115
Figura 48 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Todos os participantes do Experimento <i>II</i> - (a) Visual e (b) Hápatico . . . . .	115
Figura 49 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento <i>I</i> - (a) Novatos, (b) Médios e (c) Especialistas . . . . .	116

Figura 50 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos hápticos em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento <i>I</i> - (a) Novatos, (b) Médios e (c) Especialistas . . . . .	117
Figura 51 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento <i>II</i> - (a) Novatos e (b) Médios . . . . .	117
Figura 52 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos hápticos em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento <i>II</i> - (a) Novatos e (b) Médios . . . . .	118
Figura 53 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Os participantes dos grupos Novatos e Médio que participaram do Experimento <i>I</i> - (a) Visual e (b) Hápatico . . . . .	118
Figura 54 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Os participantes dos grupos Novatos e Médio que participaram do Experimento <i>II</i> - (a) Visual e (b) Hápatico . . . . .	119
Figura 55 - Comparação do comprimento entre os instrumentos acondidos ao dispositivo (seringa Carpule e caneta original) . .	119
Figura 56 - AV com a remoção das estruturas anatômicas Pele e Crânio	124
Figura 57 - Artigos incluídos e excluídos classificados por ano de publicação. . . . .	164

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características dos dispositivos encontrados . . . . .	58
Tabela 2 - Relação entre atributos hápticos e eventos da tarefa de inserção de agulha . . . . .	104
Tabela 3 - Relação entre atributos hápticos e transições da tarefa de inserção de agulha . . . . .	104
Tabela 4 - Comparação entre duas métricas . . . . .	127
Tabela 5 - Publicações realizadas no período do doutorado . . . . .	133
Tabela 6 - Artigos excluídos - Base IEEE . . . . .	165
Tabela 7 - Artigos excluídos - Base ACM . . . . .	165
Tabela 8 - Artigos excluídos - Base Scopus . . . . .	167
Tabela 9 - Revisão Sistemática - Resultados da base IEEE . . . . .	171
Tabela 10 - Revisão Sistemática - Resultados da base ACM . . . . .	175
Tabela 11 - Revisão Sistemática - Resultados da base Scopus . . . . .	177

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASQ	<i>After-Scenario Questionnaire</i>
AV	Ambiente Virtual
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DOF	<i>Degree-of-Freedom</i>
EACH/USP	Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPERJ	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FOB/USP	Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo
HMD	<i>Head Mounted Display</i>

<i>HPWPSNR</i>	<i>Haptic Perceptually Weighted - Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
INCT-MACC	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Medicina Assistida por Computação Científica
Interlab	Laboratório de Tecnologias Interativas
JND	<i>Just Noticeable Difference</i>
JNI	<i>Java Native Interface</i>
LApIS	Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde
LaSiT	Laboratório de Simulação e Treinamento
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MEF	Método de Elementos Finitos
mm	milímetros
<i>MSE</i>	<i>Mean-Squared Error</i>
N	Newton
N/mm	Newton por milímetro
PMRE	<i>Point of Motor Response Equality</i>
<i>PMSE</i>	<i>Perceptual Mean-Squared Error</i>
PSE	<i>Point of Subjective Equality</i>
<i>PSNR<sub>HPW</sub><sup>Task</sup></i>	Nova métrica especializada

QoE	<i>Quality-of-Experience</i>
QoS	<i>Quality-of-Service</i>
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada
RS	Revisão Sistemática
RV	Realidade Virtual
RV/RA	Realidade Virtual e Realidade Aumentada
Unesp	Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho
USP	Universidade de São Paulo
VA	Virtualidade Aumentada
ViMeT	<i>Virtual Medical Training</i>

# LISTA DE SÍMBOLOS

<i>attr</i>	Valor do atributo - normalmente com determinada distorção
<i>attr_max</i>	Valor máximo do atributo
<i>attr_min</i>	Valor mínimo do atributo
<i>c</i>	Constante escalar
<i>C</i>	Constante
<i>dB</i>	Decibel
<i>for</i>	Força
<i>E</i>	Evento
<i>Er</i>	Evento <i>r</i>
<i>final</i>	Amostra final de um subconjunto do conjunto <i>N</i>
<i>i</i>	Cada amostra do conjunto <i>I</i>
<i>I(i)</i>	Magnitude do estímulo de referência
<i>I<sub>0</sub>(i)</i>	Magnitude do estímulo distorcido
<i>i<sub>n</sub></i>	Universo de discurso
<i>initial</i>	Amostra inicial de um subconjunto do conjunto <i>N</i>
<i>JND(force)</i>	Função para o atributo de força
<i>JND(position)</i>	Função para o atributo posição
<i>JND(velocity)</i>	Função para o atributo de velocidade
<i>K</i>	Constante de rigidez

$\mu_c$	Função resultante agregada dos conjuntos <i>fuzzy</i> de saída
$n$	Cada amostra do conjunto do conjunto $N$
$N$	Conjunto total de amostras
$pos$	Posição
$ori$	Orientação
$orig\_attr$	Valor original do atributo
$r$	Número do evento ou transição
$R$	Conjunto de regras de inferência
$S$	Número de eventos
$T$	Transição
$Tr$	Transição $r$
$tor$	Torque
$U$	Número de eventos e transições com pesos diferentes de 0
$vel$	Velocidade
$w_r$	Peso do evento ou transição

# 1 INTRODUÇÃO

O treinamento adequado na área de saúde, incluindo aulas práticas, pode ser considerado requisito fundamental no aprendizado de procedimentos médicos e clínicos, visto que muitos danos aos pacientes são causados por procedimentos mal executados. Por exemplo, nos Estados Unidos, estima-se que todos os anos ocorra entre 210.000 e 440.000 mortes de pacientes em decorrência de erros médicos (JAMES, 2013).

Nesse contexto, o papel das simulações é notório, com a utilização de manequins e outros objetos tangíveis, sistemas computacionais e híbridos. No entanto, observa-se o crescimento de simulações baseadas em sistemas computacionais desenvolvidos com técnicas de Realidade Virtual (RV) (KORMOS et al., 2013). Os conceitos de RV são apresentados no Capítulo 2.

Tal crescimento pode estar relacionado aos benefícios proporcionados pelas tecnologias de RV, como: redução de riscos aos pacientes, evitando desconforto e complicações que podem causar prejuízos à saúde (AKHTAR et al., 2014) (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011); elevação da segurança por parte dos aprendizes, que muitas vezes treinam nos próprios colegas ou pacientes (SHAKIL; MAHMOOD; MATYAL, 2012) (O'NEILL; MILANO; SCHELL, 2011) (LAMBDEN; MARTIN, 2011); possibilidade de executar avaliações automatizadas de desempenho (WILLIS et al., 2014) (ANJOS; NUNES; TORI, 2012).

Além disso, tais tecnologias permitem contemplar diversos níveis de trei-

namento, com variação de situações e graus de dificuldade (ULLRICH; KUHLEN, 2012) (SATAVA; GALLAGHER; PELLEGRINI, 2003) (MARAN; GLAVIN, 2003) e podem minimizar ou eliminar custos que envolvem a manutenção de laboratórios físicos, com infraestrutura constituída por cadáveres ou animais (GOMOLL et al., 2007) (BALCOMBE, 2004). Embora ofereçam a presença física, cadáveres apresentam diferenças fisiológicas em relação aos organismos vivos (JAUNG; COOK; BLYTH, 2011). Por sua vez, os animais possuem divergências anatômicas em relação aos seres humanos (ABOUD et al., 2004). Adicionalmente, a utilização de ambos no treinamento, envolve questões éticas (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011) (BALCOMBE, 2004).

Outros benefícios de RV no treinamento consistem na repetição do treinamento em um número considerável de vezes sem o desgaste de materiais, como ocorre na utilização de cadáveres, por exemplo (GRECHENIG et al., 1999); e na flexibilidade, principalmente dos objetos virtuais, visto que determinados objetos tangíveis, como manequins, geralmente possibilitam a presença física, no entanto, incluem limitações que envolvem a replicação da fisiologia e a variação anatômica (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011). Nas simulações híbridas, manequins e objetos virtuais gerados por computador podem ser empregados (SUTHERLAND et al., 2013), caracterizando a denominada Realidade Aumentada, que é explanada posteriormente (Capítulo 2).

A importância do tradicional uso de cadáveres e animais é evidente (STEFANIDIS et al., 2013), entretanto, tecnologias como as de RV podem ser consideradas como um complemento no treinamento (WILLIS et al., 2014), principalmente as tecnologias que permitem a interação háptica (VAPENSTAD et al., 2013). Deve-se ressaltar que a interação humano-computador em sistemas computacionais de RV é uma característica relevante (detalhes são apresentados no Capítulo 2), procurando explorar os canais sensoriais humanos

para simular a realidade. As modalidades sensoriais humanas comumente exploradas nas simulações médicas são primeiramente a visual e a tátil, seguidas a uma grande distância pela auditiva, e por último, pelas olfativa e gustativa (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011).

Apesar do crescimento de aplicações de RV no campo de saúde, algumas áreas carecem de sistemas de treinamento, como a Odontologia, vislumbrando uma série de problemas e oportunidades. Foi constatada a existência de um único sistema computacional específico para treinamento em aplicação de anestesia odontológica, similar ao desenvolvido no presente trabalho, com o início de desenvolvimento quase que paralelo (POYADE; LYSAKOWSKI; ANDERSON, 2014). Normalmente, os discentes ou aprendizes normalmente treinam a execução do procedimento em seus pares, para posteriormente, executar em pacientes reais.

Ainda no contexto de anestesia odontológica, um procedimento aparentemente simples, que consiste no bloqueio do nervo alveolar inferior (detalhes no Capítulo 3), apresenta uma alta taxa de insucesso nas sessões de treinamento. Por isso, o desenvolvimento de um sistema computacional para simulação realista do procedimento, permitindo a interação entre aprendiz e sistema, é uma importante contribuição. No âmbito de treinamento virtual, o realismo é uma questão de grande relevância, entretanto, somente a definição do termo ou de um grau de realismo aceitável representa um problema.

## 1.1 Objetivos

Os objetivos do trabalho consistem:

- (i) na implementação de um protótipo de sistema computacional de RV para treinamento de uma tarefa do procedimento de anestesia odontológica

- bloqueio do nervo alveolar inferior, enfatizando a interação humano-computador sob os aspectos visual e háptico. O último aspecto é um elemento relevante no cenário em que habilidades motoras são fundamentais, podendo causar um impacto considerável no realismo proporcionado pelo sistema de treinamento. A tarefa selecionada foi a inserção de agulha;
- (ii) na análise do realismo proporcionado pelo sistema, considerando a interação humano-computador sob aspectos visuais e hápticos. Nesse contexto, foram analisadas as limitações das tecnologias adotadas, como as limitações do dispositivo háptico na simulação da tarefa;
- (iii) na formulação de uma métrica objetiva perceptual para avaliação da interação háptica, considerando inicialmente o atributo de posição tridimensional (3D), para viabilizar em determinadas etapas do desenvolvimento, testes independentes de usuários, principalmente especialistas, e precisão nos resultados.

## 1.2 Justificativas

As principais justificativas para realização do presente trabalho são:

- (i) com relação ao treinamento odontológico virtual: pela possibilidade de repetição do treinamento para adquirir experiência; na minimização ou eliminação de riscos aos pacientes ou a outros discentes do curso de Odontologia, que são submetidos ao treinamento; e na aquisição de confiança por parte dos aprendizes para a realização do procedimento;
- (ii) no que diz respeito a interação humano-computador: para atingir um equilíbrio entre as necessidades dos usuários e as limitações tecnológicas.

cas, com a análise do realismo proporcionado pelas tecnologias de RV em um domínio pouco explorado (de anestesia odontológica para bloqueio do nervo alveolar inferior);

- (iii) na avaliação objetiva: que não é amplamente explorada na literatura, visto que testes subjetivos são comumente utilizados, consumindo diversos recursos. Adicionalmente, há a necessidade de métricas objetivas de percepção haptica precisas.

### 1.3 Organização do Texto

Como trata-se de um trabalho multidisciplinar, informações consideradas básicas pelas áreas de Odontologia e Computação foram incluídas. Dessa forma, no Capítulo 2 são relatados os conceitos de RV e RA, interação humano-computador em Ambientes Virtuais (AVs) e realismo em sistemas computacionais. No Capítulo 3 é descrito o treinamento do procedimento de aplicação da anestesia para bloqueio do nervo alveolar inferior, considerando anatomia, técnicas, materiais e formas de avaliação dos aprendizes.

No Capítulo 4 são apresentados diversos sistemas computacionais para treinamento em inserção de agulha, mostrando a importância da interação haptica.

No Capítulo 5 são relacionadas as tecnologias de *hardware* e *software* empregadas no desenvolvimento, bem como métodos para levantamento de requisitos, revisão bibliográfica e análise dos dados oriundos de experimentos.

No Capítulo 6 é apresentado o desenvolvimento de parte da simulação do procedimento de anestesia, mostrando a construção do protótipo.

Nos Capítulos 7 e 8 são descritos os testes; resultados e discussões, res-

pectivamente. Finalmente, no Capítulo 9 são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 INTERAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS

Para uma contextualização adequada do trabalho, determinados termos devem ser esclarecidos, a citar: RV, RA, Ambientes Virtuais (AVs) e interação 3D.

Iniciando pelo termo RV, pode-se encontrar na literatura diversas definições, como:

- uma simulação gerada por computador que procura criar um ambiente semelhante ao ambiente real, sendo que a simulação responde às entradas dos usuários, como gesto ou voz, em tempo real, propiciando uma interação. Dessa forma, RV pode ser definida como uma técnica que permite a criação de ambientes sintéticos e a utilização de canais sensoriais múltiplos, oferecendo ao usuário a possibilidade de realizar operações como navegação, interação e imersão por meio do computador (BURDEA; COIFFET, 2003). No entanto, em RV pode-se extrapolar o real e realizar, por exemplo, uma viagem virtual ao interior do corpo humano;
- uma forma pela qual usuários de computadores podem trabalhar com dados complexos, realizando ações de visualização, manipulação e interação (AUKSTAKALNIS; BLATNER, 1992);
- uma interface avançada para sistemas computacionais, que oferece aos

usuários formas de navegar e interagir com elementos em um ambiente 3D, o qual é gerado por computador. As ações de navegação e interação ocorrem em tempo real e dispositivos de entrada e saída podem ser empregados para estimular múltiplos canais sensoriais dos usuários, tais como: visão, audição, paladar, cheiro e tato (TORI; KIRNER, 2006);

- uma forma avançada de interação humano-computador, caracterizada pela criação de AVs, com o propósito de convencer o usuário de que esse encontra-se em uma outra realidade, semelhante ou não ao mundo real (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1993).

Embora observam-se diversas semelhanças entre as definições, as duas últimas são mais adequadas para o trabalho apresentado na tese.

No que diz respeito à RA, esta pode ser classificada como um tipo de Realidade Misturada (RM), caracterizando um ambiente formado por objetos virtuais e reais. Segundo (AZUMA, 1997), há três elementos principais que determinam um sistema de RA:

- coexistência entre objetos reais e virtuais, com predominância dos objetos reais;
- interação entre ser humano e computador em tempo real;
- registro 3D, permitindo o alinhamento de objetos virtuais com objetos presentes no ambiente real.

Na Figura 1 é apresentado o espectro de Milgram et al. (1994), que mostra a relação entre os ambientes real e virtual, considerando também RA e Virtualidade Aumentada (VA), que constituem a RM.

Figura 1 *Continuum de Milgram - Realidade Misturada*



Fonte: Autor

Devido ao fato dos sistemas de RV e RA serem considerados interessantes alternativas para o treinamento de procedimentos da área de saúde, torna-se necessária a adoção de algumas convenções para este trabalho.

Os sistemas de RV e AVs serão tratados como sinônimos, apesar da existência de diferenças sutis entre as definições de Tori e Kirner (2006) e Pimentel e Teixeira (1993) e a visão de outros autores, como Bowman et al. (2005). Estes autores utilizam a terminologia Ambiente Virtual (AV) para especificar um mundo espacial sintético, normalmente em três dimensões, com a visualização controlada pelo usuário em tempo real. RM foi abordada para explicitar a relação entre RV e RA.

Uma questão importante no que diz respeito às características dos AVs é o conceito de interação entre ser humano e computador. Hix e Hartson (1993) descrevem a interação humano-computador como o processo de comunicação bidirecional, que engloba geralmente usuários, representados pelos seres humanos, e tecnologias, como os computadores.

Nesse processo interativo e iterativo, as interfaces são os meios de comunicação, sendo responsáveis pela transformação das ações dos seres humanos ou usuários em representações que a tecnologia ou computador possa *compreender* e processar. As interfaces também realizam o inverso, transformando as saídas do processamento efetuado pelo computador em representações que o usuário possa entender e definir a próxima ação.

Bowman et al. (2005) estenderam os conceitos estabelecidos por Hix e Hartson (1993) para os AVs 3D, ou simplesmente AVs neste trabalho, cunhando as terminologias “interação humano-computador 3D” e “interface do usuário 3D”. Os autores estabeleceram que interações dessa natureza devem ocorrer explicitamente ou diretamente em um ambiente sintético 3D.

Dessa forma, as ações desempenhadas pelos usuários devem ser executadas diretamente em um contexto 3D. Na visão dos mesmos autores, sistemas interativos que empregam gráficos 3D não necessariamente propiciam a interação humano-computador 3D e, sistemas que utilizam dispositivos de entrada bidimensional (2D) para realização de ações no ambiente 3D podem prover a interação 3D.

No primeiro caso, por exemplo, se um determinado usuário visualiza um objeto 3D de um prédio por meio de um menu tradicional, o qual contém uma lista de pontos de vista, tal operação **não** é considerada uma interação humano-computador 3D. No segundo caso, se por exemplo, um determinado usuário utiliza um mouse 2D para clicar em um objeto do ambiente 3D, resultando na navegação do usuário até o objeto em questão, pode-se dizer que foi realizada uma interação humano-computador 3D.

A partir deste ponto, os AVs referem-se a “ambientes 3D” e os termos “interação em AVs”, “interação humano-computador 3D”, “interação humano-computador” e “interação 3D” serão tratados como sinônimos, adotando a definição estabelecida por Bowman et al. (2005), os quais definiram a interação humano-computador 3D.

Seguindo com a interação em AVs, um conjunto de aspectos relacionados aos dispositivos de entrada e saída, às técnicas de interação e às tarefas, deve ser levado em consideração. Os dispositivos são caracterizados pelo formato, número de graus de liberdade e espaço de trabalho (dispositivo háptico, por

exemplo), peso, resolução de imagens e campo de visão (no caso de capacetes), se devem ser acoplados ao usuário, capacidade de processamento de informações, entre outras características, que podem influenciar no conforto e na facilidade de uso do equipamento.

As técnicas de interação, por sua vez, são métodos que indicam como o usuário deve executar uma tarefa no sistema computacional usando uma determinada interface. As técnicas são responsáveis pelo mapeamento das informações dos dispositivos de entrada para o sistema e do sistema para os dispositivos de saída (BOWMAN et al., 2005). As tarefas são atividades ou ações realizadas pelo usuário no sistema computacional para atingir um determinado objetivo.

Normalmente as tarefas estão relacionadas ao usuário e são decompostas em subtarefas, da mesma forma que as técnicas de interação se referem ao sistema computacional e são segmentadas em componentes de *software*. Deve-se ressaltar que no livro de Bowman et al. (2005) as técnicas de interação e tarefas em alguns trechos são tratadas como sinônimos, no entanto, no presente texto, as tarefas serão relacionadas aos usuários e as técnicas envolverão aspectos do sistema computacional.

## 2.1 Classificação de Interação em Ambientes Virtuais

As técnicas de interação em AVs foram divididas em categorias por Bowman et al. (2005), resultando em: navegação, seleção e manipulação, controle do sistema e entrada simbólica.

A navegação consiste na movimentação do usuário pelo ambiente, geralmente em uma ação de mudança do ponto de vista. As técnicas de seleção

e manipulação são estudadas em conjunto, visto que é necessário primeiramente escolher ou selecionar um ou mais objetos de um conjunto, para posteriormente, modificar suas características, tais como rotação, posição, escala, cor, entre outras. Alguns autores consideram que a manipulação ocorre somente nos casos de alterações nas propriedades de rotação e posição dos objetos (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006).

O controle do sistema é definido como um conjunto de comandos para alteração do estado do sistema ou do modo de interação. A entrada simbólica trata da comunicação entre usuário e sistema por meio da utilização de símbolos (números e texto), atuando na composição de mensagens, documentos, cartas e outras especificações.

Nas subseções seguintes são apresentadas determinadas técnicas de interação, agrupadas em cada uma das categorias mencionadas.

### **2.1.1 Navegação**

A navegação pode ser considerada a forma mais comum de interação e consiste no movimento do usuário ou participante da experiência virtual. Há diversas classificações para as técnicas de interação de navegação. Podem ser classificadas em três subcategorias (BOWMAN et al., 2001):

- exploração, na qual o participante de uma simulação ou usuário realiza uma espécie de investigação do AV;
- busca, que consiste na movimentação do participante para um local específico do AV;
- manobras, que são caracterizadas por movimentos de navegação de alta precisão.

A navegação também pode ser categorizada em *Travel* e *Wayfinding*. O conceito de *Travel* está relacionado ao livre movimento do ponto de vista do usuário dentro do AV. Existem cinco grupos comuns para técnicas de interação deste tipo (MINE, 1995):

- movimento físico: o movimento do corpo do usuário é usado para moverlo no AV, sendo constituído por técnicas de *Walking* (simula o andar físico); *Walking in Place* (simula o andar físico, mas sem sair do lugar); Dispositivo que Simula o Caminhar (com utilização de esteiras); *Cycles* (uso de bicicleta ou dispositivo contendo pedal);
- manipulação manual do ponto de vista: os movimentos das mãos do usuário são usados para definir o movimento deste dentro do AV. É composto por técnicas de Agarrar o Ar (o usuário movimenta o ambiente com gestos de agarrar em qualquer lugar e mover) e Objetos Fixos (objetos são empregados para movimentar o ambiente);
- apontamento ou direcionamento: consiste na especificação contínua da direção do movimento. Grupo formado por técnicas de Direção do Olhar (movimento para um lugar do AV conforme a direção do olhar do usuário), Direção do Tórso (movimento dentro do AV vinculado à cintura do usuário), *Pointing* e Câmera Portátil (em ambas técnicas, um rastreador preso à mão do usuário determina o lugar desejado), entre outras;
- navegação baseada em alvo: o usuário especifica o destino, e sua representação no AV salta imediatamente para o local especificado, como uma espécie de “teletransporte”. Contempla técnicas de Especificação Baseada em Mapa (movimento do usuário por meio de um avatar<sup>1</sup> em miniatura, que pode ser movido em um mapa 2D ou em uma cópia do

---

<sup>1</sup>Representação do usuário no AV (MORNINGSTAR; FARMER, 1991)

AV em escala reduzida) e *Zoomback* (movimento do avatar para a frente de um determinado objeto);

- planejamento de rota: o usuário define o caminho que percorrerá no AV, composto por técnicas de Desenho de um Caminho (o usuário desenha uma linha ou caminho para o local onde deseja estar e o sistema executa o movimento) e Determinação de Pontos ao Longo do Caminho (o usuário insere pontos que são ligados para determinar o caminho). Nas duas técnicas o caminho pode ser definido em um mapa 2D do ambiente ou em uma cópia em escala reduzida do AV 3D.

Na classificação mencionada, não foi especificado nenhum grupo para manipulação do ponto de vista baseada em dispositivo, como teclado ou mouse.

*Wayfinding* pode ser entendido como um processo de utilização da habilidade espacial do usuário e da percepção humana em um determinado ambiente, com o propósito de encontrar um local. Trata-se do uso de conhecimento prévio somado ao conhecimento adquirido durante a navegação para encontrar o caminho e chegar a um certo local no AV.

Segundo Trombetta, Silva e Pinho (2007), no que diz respeito ao *Wayfinding*, algumas técnicas podem ser implementadas, como: mapa, para indicar locais ou características do AV; placas, para indicar ao usuário os locais dentro do AV ou até mesmo um objetivo a ser atingido; bússola, um artefato virtual de orientação que aponta para o objetivo, como a bússola no mundo real, auxiliando o usuário na navegação; e rastro, uma representação, como uma sequência de setas, inserida nos lugares pelos quais o usuário transitou.

## 2.1.2 Seleção e Manipulação

Para a manipulação de um ou mais objetos virtuais, é necessário primeiramente selecioná-los. A seleção é a indicação de qual objeto ou quais objetos o usuário deseja interagir ou manipular no AV. A manipulação consiste na modificação de características dos objetos selecionados, permitindo, por exemplo, mudanças na posição, rotação, escala, entre outras características.

Na categoria seleção e manipulação, há uma subdivisão das técnicas de interação que estabelece os grupos Apontamento, Manipulação Direta, Mundo em Miniatura, Agregação e Integração e Manipulação 3D para Desktop (BOW-MAN et al., 2005).

O grupo Apontamento é formado por técnicas de *Ray-casting* (um raio virtual partindo do avatar específica a direção do apontamento); *Two-Handed* (utiliza rastreadores nas mãos do usuário, sendo uma mão responsável pela identificação da origem do raio virtual enquanto a outra define o destino); *Aperture* (usa um cone virtual com controle do ângulo de abertura, substituindo o raio de apontamento e permitindo a seleção de diversos objetos dentro do cone, o que dificulta seleções individuais).

O grupo Manipulação Direta é constituído pelas técnicas de *Simple Virtual Hand* (mapeamento da mão do usuário diretamente na mão do avatar) e *Go-Go* (mapeamento da mão do usuário diretamente na mão do avatar com a possibilidade de extensão do braço, o que permite, diferentemente da técnica anterior, trazer para próximo do usuário objetos distantes e levá-los para a posição inicial após a manipulação). Nas técnicas desse grupo, os objetos são manipulados diretamente com os movimentos das mãos do usuário, podendo ser caracterizadas como técnicas intuitivas. Além disso, uma representação 3D da mão do usuário no AV se faz necessária.

O Mundo em Miniatura consiste na presença de uma cópia em escala reduzida do AV no mundo sintético, possibilitando a manipulação de objetos dentro e fora da área de alcance do usuário.

O grupo Agregação e Integração engloba técnicas elaboradas a partir da combinação de outras técnicas, como HOMER (*Hand-Centered Object Manipulation Extending Ray Casting*), que mescla as técnicas de *Ray-casting*, para seleção, e Mão Virtual para manipulação de objetos selecionados; e *Voodoo Dolls*, que reduz a escala do objeto e o coloca na mão do usuário.

No grupo Manipulação 3D para Desktop estão as técnicas de Controle de Interface 2D (o usuário, usando um teclado por exemplo, insere os valores de posição e rotação nos três eixos para especificação das coordenadas 3D dos objetos) e Esfera Virtual (uma esfera transparente ao redor do objeto permite a rotação de tal objeto por meio de movimentos do cursor de um mouse comum).

### **2.1.3 Controle do Sistema**

O controle do sistema consiste em comandos para a comunicação com o sistema computacional, possibilitando ao usuário alterações no estado do sistema ou no modo de interação. É dividido em Menus Gráficos, Comandos de Voz, Comandos de Gestos e Ferramentas (BOWMAN et al., 2005).

Os Menus Gráficos podem ser Menus 2D Adaptados, consistindo em uma adaptação dos menus 2D de ambientes Desktop para os AVs; Menus 1-DOF (*Degree-of-Freedom*), que são presos à mão do usuário; Menus TULIP (*Three-Up, Labels in Palm*), com as opções do menu posicionadas nos dedos do usuário; e Widgets 3D, cujas opções são inseridas nos próprios objetos virtuais.

Os Comandos de Voz consistem no reconhecimento de discurso, de pala-

vras ou sentenças para indicar comandos, exigindo o treinamento do sistema no reconhecimento e na superação de problemas como: diversidade de tons de voz e ruídos sonoros no ambiente.

Os Comandos de Gestos consistem em posturas e movimentos de partes do corpo do usuário, como as mãos, para indicar comandos ao sistema, sendo que os usuários devem memorizar os gestos para interação. As Ferramentas permitem a adoção de objetos reais e virtuais para especificação de comandos.

#### **2.1.4 Entrada Simbólica**

A entrada simbólica trata da utilização de símbolos (números e texto), para composição de mensagens, documentos, cartas e outras especificações (BOWMAN et al., 2005).

As técnicas de interação dessa categoria foram divididas em Baseadas em Teclado, Baseadas em Caneta, Baseadas em Gestos e Baseadas na Fala. O conjunto de técnicas Baseadas em Teclado é constituído por Teclado em Miniatura (teclado em tamanho reduzido); Teclado *Chord* (teclado contendo poucas teclas); Teclado *Soft* (teclado virtual). O conjunto Baseadas em Caneta é formado por técnicas de Reconhecimento de Gestos *Pen-Stroke*, envolvendo o movimento da caneta quando toca uma superfície, sendo que *stroke* representa a unidade básica de reconhecimento; Entrada *Unrecognized Pen*, uma espécie de “tinta digital”.

O grupo Baseadas em Gestos inclui Gestos de Linguagem de Sinais, exigindo o treinamento do sistema para reconhecimento e a aprendizagem do usuário na linguagem adotada; Gestos Numéricos, cujos dedos são empregados para indicar números; Gestos Instantâneos, indicados por meio de luva

de dados, que capturam a flexão dos dedos.

O grupo Baseadas na Fala envolve Reconhecimento de Fala - Caracteres, para reconhecimento de caracteres em um processo de soletrar e Reconhecimento de Fala - Palavras Inteiras, para reconhecimento de palavras ou frases completas.

## 2.2 Interação Háptica

O termo háptico origina-se da palavra grega *haptesthai* cujo significado   tato (CUNHA-CRUZ et al., 2007) (SALISBURY, 1999). O toque consiste em sensa es desencadeadas quando a pele   submetida a estímulos mecânicos, elétricos, térmicos ou químicos (BURDEA, 1996).

A intera o humano-computador háptica, ou simplesmente intera o háptica, deve permitir ao usuário uma comunica o bidirecional com o sistema computacional de simula o, envolvendo determinados movimentos do usuário, usualmente com as mãos, e sensa es hápticas (resistências de materiais quando em contato com as mãos, por exemplo). As sensa es hápticas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza (CUNHA-CRUZ et al., 2007) (BURDEA, 1996):

- *feedback* tátil: sensa o que indica as características de um objeto (temperatura e rugosidade);
- *feedback* de força: retorno de sensa o de peso ou resistência de algo;
- *feedback* cinestésico: percep o de movimentos baseada em 茅rg os existentes em músculos, tendões, articula es e ligamentos;
- *feedback* proprioceptivo: movimentos definidos por informa es relacionadas 脿 postura, incluindo o equilíbrio corporal e articula es.

No que diz respeito ao papel da interação háptica na área de saúde, três subáreas podem ser citadas (OKAMURA et al., 2011):

1. percepção háptica humana e desempenho motor como fator relevante na execução de exames e procedimentos médicos: considera a natureza da informação háptica e o modo como tal informação é percebida e utilizada pelo usuário em um exame ou intervenção médica. A tolerância máxima do ser humano ao tempo de atraso de um *feedback* háptico, por exemplo, pode ser importante indicador para o desenvolvimento de sistemas dessa natureza;
2. o papel de sistemas hapticos no treinamento e avaliação de habilidades clínicas: interações hapticas podem auxiliar no treinamento e na avaliação de aquisição de habilidades clínicas, incluindo cirurgias, intervenção radiológica, anestesiologia, odontologia, medicina veterinária, entre outros procedimentos ou áreas. Tais interações contemplam o desenvolvimento de tecnologias, como dispositivos, sistemas computacionais e métodos para a interação háptica, além do entendimento da forma como os seres humanos empregam o tato no desempenho de atividades usando habilidades clínicas adquiridas ou adquirindo novas habilidades;
3. uso de sistemas hapticos para aperfeiçoamento de intervenções médicas: interação háptica para permitir teleoperações, eliminando o contato direto entre paciente e profissional da área de saúde. O objetivo é aperfeiçoar intervenções médicas, como cirurgias, sendo que o *feedback* háptico é importante para a orientação do profissional durante a execução do procedimento indireto, conduzido por meio de robôs.

No que se refere ao desenvolvimento de sistemas computacionais, o processo de interação háptica pode ser descrito de forma geral pelas seguintes

etapas (adaptado de (SALISBURY; CONTI; BARBAGLI, 2004)):

1. inicialização (estabelecimento da comunicação entre dispositivo e sistema computacional);
2. obtenção de coordenadas do dispositivo manipulado pelo usuário (posição e orientação nos eixos x, y e z);
3. verificação da ocorrência de eventos (detecção de colisão entre objetos virtuais);
4. cálculo do *feedback* háptico (efetuado pelo sistema computacional);
5. execução do *feedback* háptico e;
6. finalização da comunicação entre dispositivo e sistema computacional.

Com exceção das fases 1 e 6, as outras fases compõem a parte iterativa do processo.

### **3 TREINAMENTO ODONTOLÓGICO EM ANESTESIA**

O objetivo do presente capítulo é detalhar o treinamento do procedimento de anestesia odontológica para bloqueio do nervo alveolar inferior, procurando levar em consideração: anatomia, materiais e instrumentos, técnicas para execução do procedimento e formas de avaliação do treinamento.

O presente capítulo foi baseado no levantamento de requisitos, realizado nas dependências da Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo (FOB/USP), onde o procedimento foi observado e entrevistas foram realizadas. Na referida instituição, o procedimento é realizado em crianças (de 7 a 12 anos) por discentes do terceiro e quarto anos do curso de Odontologia.

Um material de aula, contendo diversos vídeos utilizados no ensino da técnica de aplicação de anestesia, foi disponibilizado pelos docentes da instituição. As informações contidas neste capítulo são provenientes de tais vídeos, que segundo os docentes, constituem um importante material didático (MALAMED, 2004b) (MALAMED, 2004a), além das entrevistas e observações obtidas no levantamento de requisitos, o qual é apresentado no Apêndice A.

O treinamento do procedimento na instituição visitada é realizado entre os próprios discentes com acompanhamento dos docentes, sendo que frutas também podem ser utilizadas segundo alguns relatos. Os vídeos didáticos citados anteriormente e peças anatômicas também auxiliam os discentes no

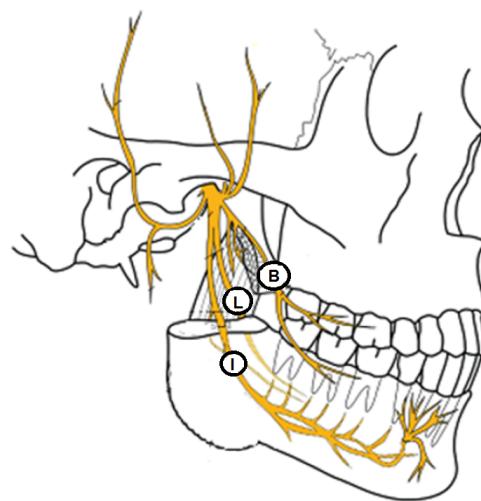
aprendizado.

### 3.1 Anatomia

Existem diversas formas em Odontologia para aplicação de anestesias, sendo que um ponto importante é a região do corpo que receberá o tratamento, normalmente partes do maxilar ou da mandíbula e os lados direito ou esquerdo. Em cada região há um ou mais nervos que devem ser bloqueados para o conforto do paciente. No procedimento envolvendo o nervo alveolar inferior, a ação pode contemplar o bloqueio de um ou três nervos: alveolar inferior propriamente dito, lingual e bucal.

Na Figura 2 são apresentados os trajetos dos nervos alveolar inferior (representado pelo círculo com a letra I), lingual (representado pelo círculo com a letra L) e bucal (representado pelo círculo com a letra B) na estrutura mandibular.

Figura 2 - Inervação da estrutura mandibular



Fonte: Adaptada de (CARIA, 2014)

O nervo alveolar inferior é um dos principais ramos do nervo mandibular, assim como o nervo lingual. O nervo alveolar inferior penetra no forame da

mandíbula, percorrendo o interior do osso pelo canal da mandíbula e estende-se até o dente incisivo central. O forame é um orifício localizado na fossa interna do ramo da mandíbula.

No canal da mandíbula, o nervo alveolar inferior emite outras ramificações em seu trajeto, cujo destino são os dentes inferiores (ramos dentais inferiores), terminando no canal do forame mentoniano, onde aproximadamente na posição do segundo pré-molar, o nervo emite outro ramo (nervo mentoniano).

O nervo lingual transmite sensações provenientes do denominado soalho da cavidade oral, da gengiva lingual (onde estão localizados os dentes inferiores) e da língua propriamente dita. O nervo bucal é responsável pelas sensações oriundas da mucosa bucal e da gengiva vestibular dos dentes posteriores na mandíbula.

### **3.2 Materiais e Instrumentos**

Na aplicação do anestésico é fundamental a adoção de uma série de materiais para evitar a contaminação, tais como: avental, gorro, máscara, luvas e óculos de proteção, bem como os instrumentos odontológicos (seringa, agulha e tubete contendo o anestésico). Deve-se lembrar que em um consultório odontológico também são encontrados equipamentos adequados para iluminação e aspiração de substâncias e resíduos.

As seringas utilizadas pelos profissionais da área são do tipo Carpule, sendo compostas por estruturas metálicas, com a opção de um mecanismo para refluxo, que por sua vez, permite a aspiração de conteúdo sanguíneo para o tubete. A aspiração impede a injeção indevida de anestésico no meio intravascular, visto que possibilita a visualização de material sanguíneo no tubete. Na Figura 3 são mostrados os instrumentos citados.

Figura 3 - Instrumentos para aplicação da anestesia odontológica



Fonte: Autor

O tubete é uma espécie de tubo plástico, com uma extremidade de metal e a outra de borracha, contendo o anestésico líquido. As agulhas são tubos de aço inoxidável, com comprimento variável, caracterizadas por tubos longos ou curtos. Tais objetos são formados por um bisel em uma das extremidades, o qual visa facilitar a penetração no tecido e o controle da direção do líquido, possuindo um invólucro de proteção. A seringa deve ser montada para a aplicação da solução anestésica, com o acoplamento da agulha e da inserção do tubete no interior da seringa.

### 3.3 Técnicas para Aplicação de Anestesia

A anestesia consiste na injeção de substâncias químicas em determinadas regiões do corpo para bloquear, por um prazo determinado, a passagem

de impulsos nervosos, impedindo as transmissões sensitivas e motoras efetuadas pelos nervos. Há anestesias locais e gerais, sendo que as primeiras são amplamente empregadas na área de Odontologia.

Após a montagem da seringa e a organização dos materiais para o tratamento, o procedimento de aplicação de anestesia pode ser iniciado. O dentista e geralmente um assistente preparam o paciente deitando-o na cadeira móvel; em seguida, posicionam-se para uma visualização adequada da parte interna da boca do paciente, regulando, inclusive, a luz do equipamento odontológico.

Antes da inserção da agulha, procura-se dialogar com o paciente, informando sobre o procedimento a ser realizado e coletando informações sobre possíveis alergias a medicamentos. O diálogo também é uma forma de acalmar o paciente, contribuindo para o sucesso do procedimento. Para um maior conforto do paciente, uma pomada pode ser aplicada na superfície da região que será perfurada com a agulha (anestésico tópico).

Durante a execução da técnica, o assistente auxilia o dentista aspirando resíduos e substâncias, como a saliva. Foram observadas duas técnicas para bloqueio do conjunto de nervos que incluem o nervo alveolar inferior, sendo:

- Técnica Direta - bloqueio dos 3 nervos (bucal, lingual e alveolar inferior) em uma única injeção;
- Técnica Indireta - bloqueios de 3 nervos na seguinte ordem: o nervo bucal, o nervo lingual e o nervo alveolar inferior.

Na primeira técnica, insere-se a agulha em uma posição diagonal em relação à boca do paciente, considerando os dentes pré-molares do lado oposto e a parte externa ao forame da mandíbula do lado a ser anestesiado. Pode-se tocar o osso (não é uma recomendação unânime) e em seguida afastar um pouco a agulha para determinar a profundidade correta.

Pode-se também usar a outra mão para abertura da boca do paciente e visualização do forame mandibular, bem como sentir os tecidos externos ao forame da mandíbula com o dedo para determinar um ponto de referência. Em seguida, aplica-se o anestésico lentamente. Normalmente, a agulha deve ser inserida aproximadamente de 20 a 25 milímetros (mm) para alcançar uma posição próxima ao nervo trigêmeo (bucal, lingual e alveolar inferior).

Na segunda técnica, insere-se a agulha em 5 mm aproximadamente de profundidade, baseando-se em uma posição em que a seringa acompanha os dentes molares - de forma paralela aos dentes molares do lado onde será realizada a aplicação, podendo usar a outra mão para abrir a boca do paciente a fim de visualizar e identificar a região correta para aplicação. Na etapa seguinte, aplica-se o anestésico lentamente para bloquear o nervo bucal.

Em seguida, insere-se a agulha por aproximadamente mais 10 mm e realiza-se a segunda aplicação para bloquear o nervo lingual (aplicação de forma lenta). Depois, deve-se afastar a agulha (podendo não retirar a agulha do tecido), rotacionar a seringa para a posição diagonal, tendo como referência: boca do paciente e os dentes inferiores do lado oposto; e inserir a agulha (20 a 25 mm aproximadamente), podendo tocar o osso (não é uma recomendação unânime), com um pequeno afastamento para aplicação do anestésico.

Em ambas as técnicas, os nervos não devem ser atingidos pela agulha. As distâncias de profundidade podem variar conforme a anatomia do paciente (MORGENTAL; SANTOS, 2009). Deve-se ressaltar que os discentes do terceiro ano utilizam a primeira técnica enquanto os discentes do quarto ano, a segunda.

### 3.4 Avaliação do Treinamento

Segundo os docentes da FOB/USP não há uma forma precisa de avaliação do procedimento real, principalmente durante a execução, sendo que a dor do paciente após a aplicação da anestesia determina o sucesso do procedimento. Segundo relatos, determinadas avaliações incluem a visualização ou o toque no lábio inferior do paciente, principalmente do lado que recebeu o anestésico. O lado do lábio inferior deve apresentar uma espécie de inchaço e o paciente, insensibilidade ao toque do dentista.

Os motivos para os altos índices de insucesso podem ser classificados em: anatômicos (variações no trajeto do nervo e do forame da mandíbula), patológicos (infecção, cirurgias anteriores e inflamações), farmacológicos (alcoolismo e uso de determinadas substâncias), fisiológicos (medo e ansiedade) e finalmente, realização inadequada da técnica (inserção imprópria da agulha e rapidez para iniciar o tratamento) (MORGENTAL; SANTOS, 2009).

Os docentes da FOB/USP mencionaram que em uma situação na qual a quantidade de anestésico injetada foi insuficiente, a injeção pode ser repetida. No entanto, a aplicação de excesso de anestésico nos nervos ou a aplicação da quantidade correta em região distante dos nervos pode fazer com que o procedimento não atinja o efeito almejado. Outro erro comum é o não cumprimento de todas as etapas do procedimento, bloqueando somente um ou dois nervos, no caso da técnica indireta.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão não revelou nenhum sistema de treinamento baseado em RV específico para anestesia odontológica. Uma pesquisa preliminar identificou um único sistema dessa natureza, é um projeto que prioriza a visualização 3D em detrimento da interação háptica (POYADE; LYSAKOWSKI; ANDERSON, 2014).

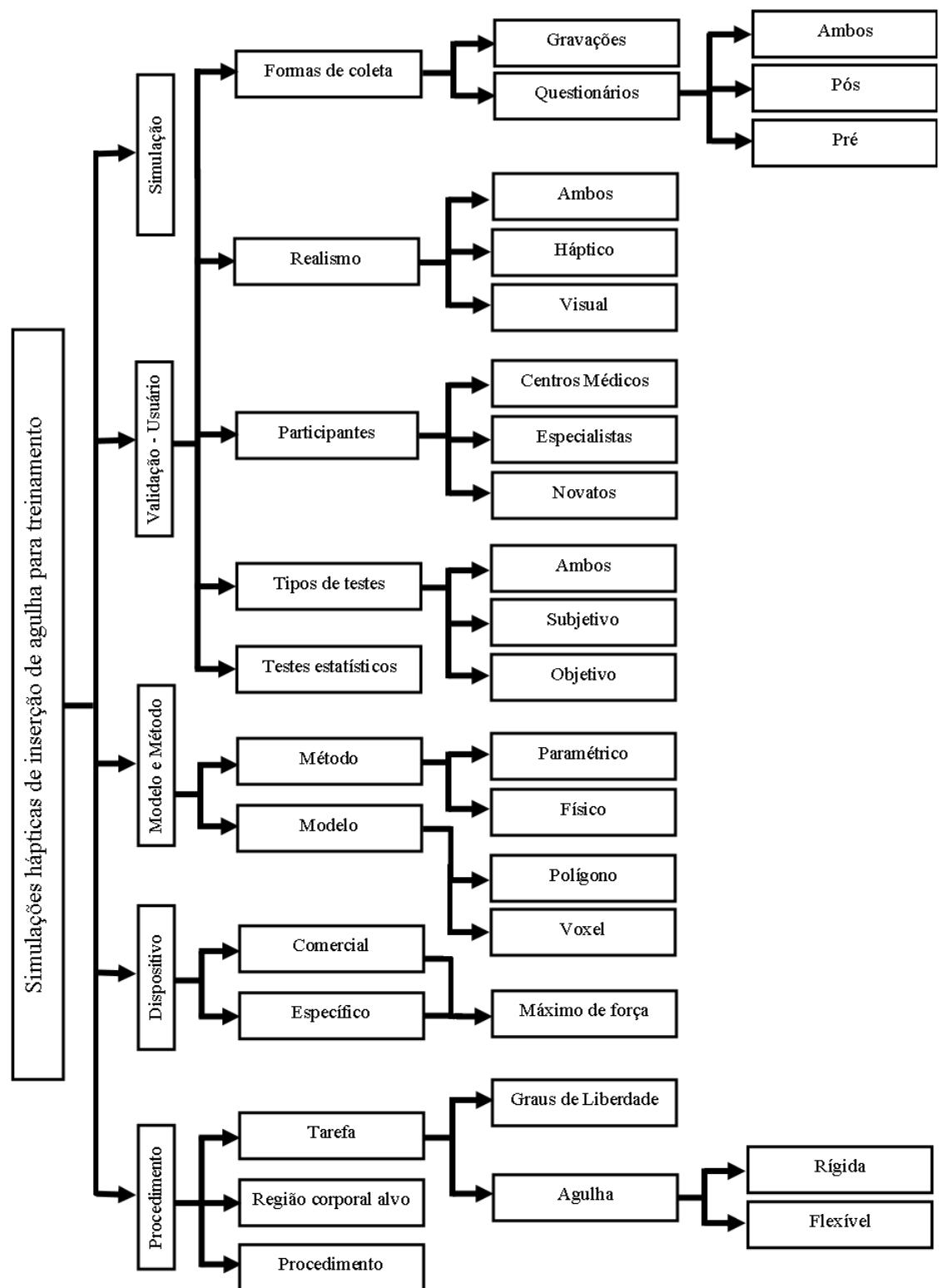
Dessa forma, devido à similaridade do procedimento em questão com procedimentos de inserção de agulha, optou-se pela condução de um processo de Revisão Sistemática (RS) seguindo essa linha. Os procedimentos de inserção de agulha são comumente citados na literatura para aplicações médicas com interação háptica. A utilização da RS foi justificada no Capítulo 5 e sua aplicação está descrita no Apêndice B.

Os resultados da RS foram categorizados em tipos de simulações; área; dispositivos; modelos e métodos; validação com usuários. As categorias foram especificadas com base nos artigos incluídos, visando ao detalhamento e organização das informações extraídas.

Na Figura 4 são apresentadas as categorias para classificação dos artigos incluídos (caixas de texto verticais) e demais subcategorias (caixas de texto horizontais). Acredita-se que essa classificação permite uma descrição abrangente dos artigos.

Os valores de porcentagens apresentados neste capítulo foram baseados

Figura 4 - Categorização dos artigos incluídos



Fonte: Autor

no número total de artigos incluídos (62 artigos), sendo que todos os artigos incluídos não puderam ser classificados em todas as categorias, visto que alguns não mencionaram algum aspecto considerado e outros apresentaram mais de um aspecto para determinada categoria ou subcategoria.

Nos gráficos deste capítulo são apresentados os valores em porcentagens, calculados de acordo com o total de artigos da revisão. No entanto, as fatias de cada gráfico representam as proporções em conformidade com o total de artigos que atendem a subcategoria descrita pelo gráfico, independente do total de artigos da revisão.

## 4.1 Tipos de Simulações

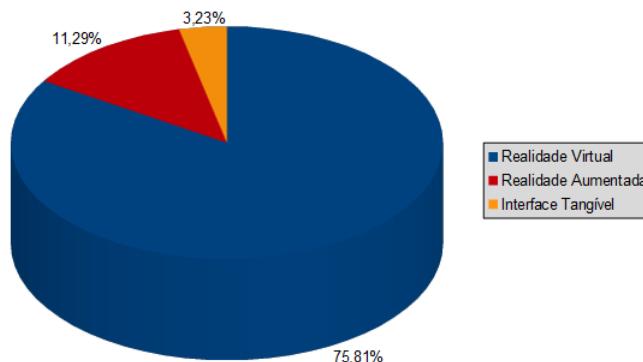
Para classificar as simulações, os artigos foram categorizados em Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Interface Tangível.

Foram enquadrados em RV artigos que trataram da interação humano-computador em AVs 3D (BOWMAN et al., 2005) (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1993), mesmo em monitores de vídeo comuns, sem o uso de capacetes ou óculos especiais. Com relação à RA, foram incluídos artigos que apresentaram a interação humano-computador 3D com elementos virtuais e reais (AZUMA, 1997).

Trabalhos relacionados à interação tangível englobaram elementos reais, sem a presença de elementos gerados graficamente por computador. Na Figura 5 pode-se visualizar a distribuição dos artigos incluídos na categoria citada.

Nesta categoria, observou-se a predominância de artigos de RV (75,8%). É possível que tal evidência esteja associada ao fato da interação háptica ser amplamente utilizadas em sistemas baseados em RV.

Figura 5 - Tipos de simulações



Fonte: Autor

Uma parte dos artigos - 9,7% - não forneceu informações para a classificação de tipos de simulação. Outro caso foi a possibilidade de inclusão do artigo em mais de um item, como por exemplo, RV ou Interface Tangível, como foi o caso de (DANKELMAN; DOBBELSTEEN; BREEDVELD, 2011).

## 4.2 Área

Nesta seção foram apresentados os artigos considerando-se o procedimento a ser simulado, a região corporal alvo do procedimento e a tarefa específica a ser desempenhada durante o treinamento. É importante destacar que tarefa é uma parte do procedimento, pois em diversos casos, o procedimento foi dividido em tarefas para facilitar o projeto e o desenvolvimento das simulações de treinamento. Determinados artigos trataram da inserção de agulha em um domínio genérico, com pesquisas que podem ser empregadas para diversos procedimentos.

Certos procedimentos de mesma natureza não foram agrupados por questões da nomenclatura adotada nos artigos, como por exemplo, telecirurgia, microcirurgia e cirurgia; biópsia e injeção de fluidos/biópsia. Além disso, intervenção radiológica, que pode ser considerada um tipo de cirurgia minima-

mente invasiva, também foi isolada de microcirurgia, cirurgia e telecirurgia.

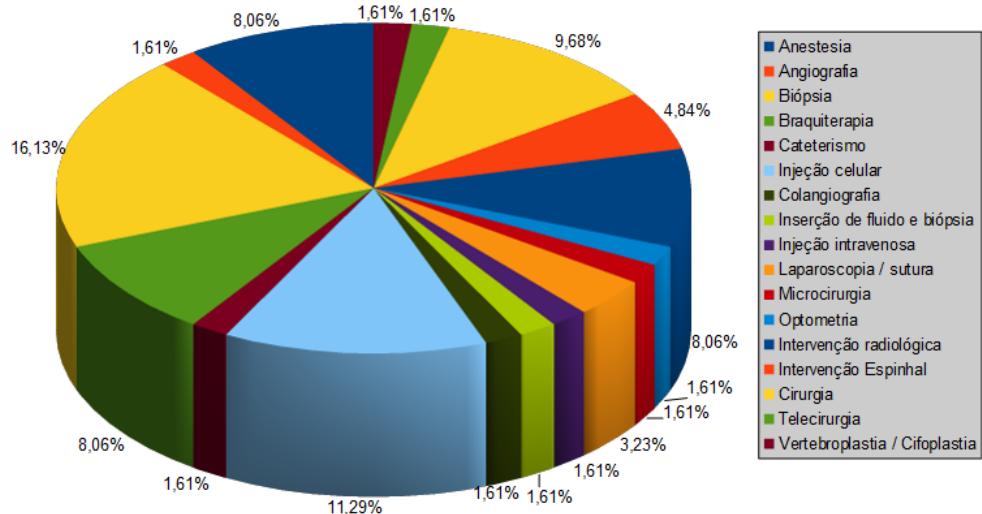
Telecirurgia foi adicionada na subcategoria procedimentos devido a um trabalho de simulação de um sistema de teleoperação (GHANBARI et al., 2012), visto que sistemas de teleoperação foram separados de sistemas de simulação de treinamento (OKAMURA et al., 2011).

Alguns artigos que abordaram o procedimento de laparoscopia foram incluídos, embora laparoscopia no presente contexto foi considerada um conjunto de procedimentos paralelo à inserção de agulha. Esta exceção está associada ao fato de que foram encontrados artigos que enfatizavam uma tarefa de inserção de agulha na simulação de laparoscopia, especificamente a tarefa de sutura (HOREMAN et al., 2012) (PAOLIS, 2012). Um artigo que envolveu o cateterismo (do conjunto de procedimentos endovasculares, paralelo ao procedimento de inserção de agulha) também foi incluído, visto que o procedimento é iniciado com a inserção de uma agulha (MASTMEYER et al., 2013).

Da mesma forma que os procedimentos, as regiões alvo foram analisadas isoladamente segundo a nomenclatura adotada nos artigos, com a separação de: vasos sanguíneos e braço (neste, o alvo são os vasos sanguíneos do braço); coluna vertebral e região lombar; regiões denominadas locais sem especificação e com locais especificados explicitamente. Nas Figuras 6 e 7 pode-se observar as porcentagens dos procedimentos e das regiões corporais alvos, respectivamente.

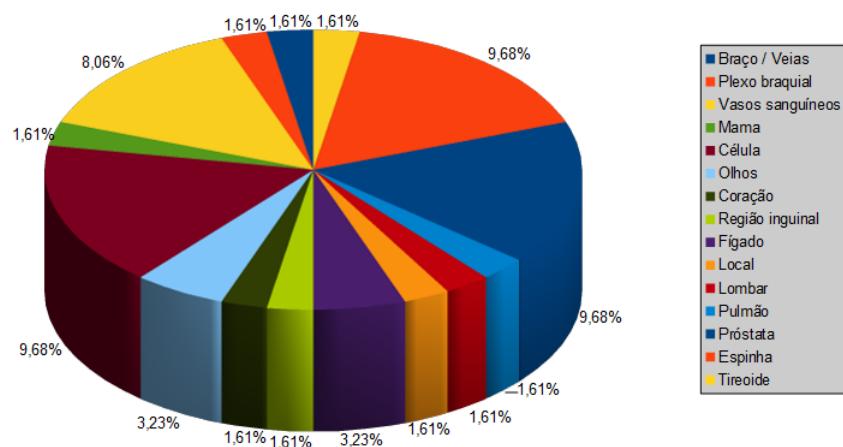
Os artigos que não informaram procedimentos específicos somaram 16,1% e os artigos que não informaram uma região específica totalizaram 41.9%. Portanto, determinados procedimentos não estão relacionados com regiões corporais específicas.

Figura 6 - Tipos de procedimentos



Fonte: Autor

Figura 7 - Regiões corporais alvo



Fonte: Autor

Os procedimentos de braquiterapia, injeção celular, anestesia e biópsia foram os destaques (8,0%, 11,3%, 8,0% and 16,1%). A medicina verterinária foi contemplada em 4,8% dos artigos, envolvendo os procedimentos de optometria e injeção intravenosa (ESTEBAN et al., 2013) (LEE et al., 2012).

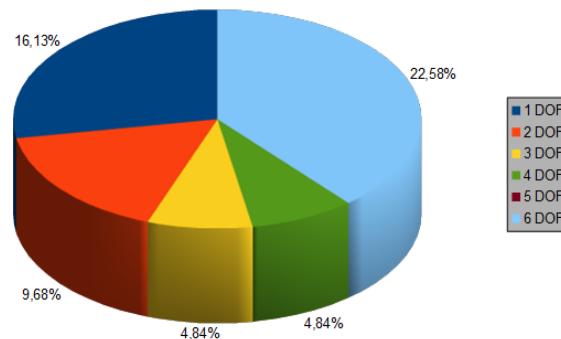
No contexto das regiões corporais alvo, próstata e célula, vasos sanguíneos e espinha receberam relevante atenção de pesquisadores de interação háptica para simulação de inserção de agulha no período.

Considerando valores dos agrupamentos de determinados procedimentos considerados de mesma natureza, tem-se: cateterismo e injeção intravenosa - 3,2% dos artigos; cirurgia, telecirurgia, microcicurgia e intervenção radiológica - 21,0%. Da mesma forma, nos agrupamentos de regiões corporais alvo, como: espinha e região lombar; braço/vasos sanguíneos e vasos sanguíneos, os valores foram 11,3% e 9,7%, respectivamente.

Nos artigos, notou-se a especificação dos tipos de agulhas, normalmente definidas como rígidas ou flexíveis. Foram identificados que 11,3% dos artigos levaram em consideração a simulação de agulhas flexíveis, no entanto, a maioria das agulhas foram consideradas rígidas ou não foram classificadas conforme o tipo. A deformação de objetos possui maior relevância do que a deformação das agulhas, ou mesmo a quebra das agulhas, que podem ocorrer no mundo real. Em determinadas simulações de procedimentos, agulhas eram acompanhadas por outros objetos (transdutor ou sonda), resultando em 8,1% dos artigos.

Adicionalmente, foram encontrados artigos que consideraram o formato da ponta da agulha na modelagem e simulação, constituindo o bisel do objeto agulha (GOKSEL et al., 2013) (LUBOZ et al., 2013) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b) (CHEN-TANEZ et al., 2009) (VILLARD P.F.AND VIDAL et al., 2009), o qual é consi-

Figura 8 - Graus de liberdade para a tarefa simulada



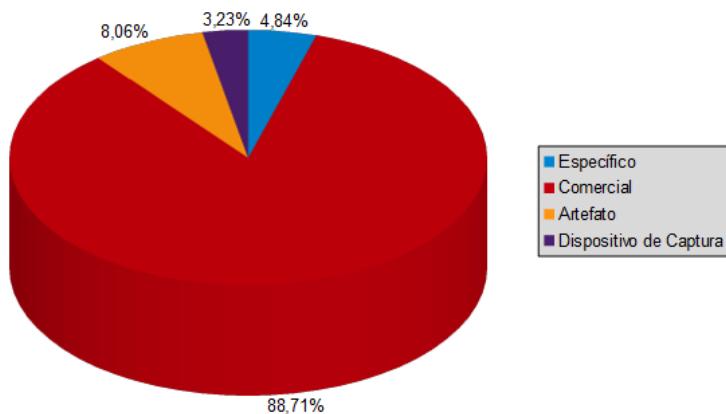
Fonte: Autor

derado um requisito importante na inserção de agulha em regiões corporais (GERWEN; DANKELMAN; DOBBELSTEEN, 2012).

Um outro ponto foi o número de graus de liberdade em cada tarefa simulada, que pode ser diferente do número de graus necessários no mundo real para execução de uma tarefa e do número de graus oferecidos pelos dispositivos, tanto de movimento quanto de retorno haptico. Normalmente, em determinadas simulações, os procedimentos são simplificados em tarefas, que também são simplificadas, com a redução, por exemplo, dos graus de liberdade. Uma determinada tarefa pode considerar dois graus de liberdade e o dispositivo haptico oferecer seis graus de liberdade de movimentação.

Para a simulação da força na inserção de agulha, um grau de liberdade pode ser suficiente para certas situações; três graus podem ser suficientes para simulação de inserção em uma única região; no entanto, cinco graus são requeridos para simulação adequada em regiões arbitrárias (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011). Na Figura 8 pode-se visualizar os graus de liberdade da agulha em relação às tarefas. Diversos trabalhos consideraram somente um grau de liberdade, totalizando 16,1%, no entanto, a maior parte considerou seis graus de liberdade (aproximadamente 22,6%).

Figura 9 - Tipos de dispositivos



Fonte: Autor

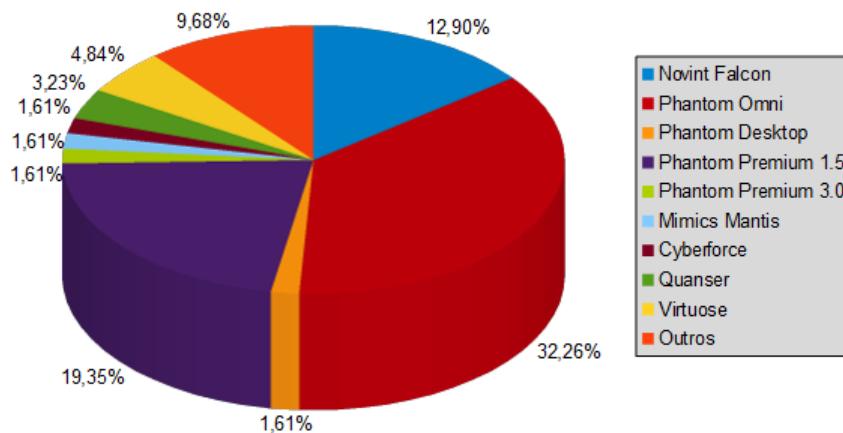
### 4.3 Dispositivos

Os dispositivos hapticos foram classificados em específicos (desenvolvidos para o propósito de pesquisa sem visar a comercialização), comerciais (dispositivos genéricos disponibilizados para compra), artefatos (recursos como caixa, silicone ou outro material, sem elementos elétricos ) e dispositivos de captura de força (utilizados para analisar propriedades de tecidos e órgãos reais).

Alguns artigos (9,7%) não mencionaram a utilização de dispositivos. Observou-se que dependendo da etapa do desenvolvimento, o tipo de dispositivo ainda não foi escolhido. Na Figura 9 são apresentadas as porcentagens para cada dispositivo.

Além da classificação dos artigos nas categorias citadas, a subcategoria de dispositivos comerciais foi refinada para permitir uma análise mais profunda. Nesta análise, foi criado o item **Outros**, que inclui dispositivos que não foram especificados devidamente nos artigos. Na Figura 10 são mostradas as porcentagens de dispositivos comerciais empregados na simulação haptica de

Figura 10 - Tipos de dispositivos comerciais



Fonte: Autor

inserção de agulha.

Os dispositivos comerciais dominaram o cenário (88,7%), com destaque para o Phantom Omni (presente praticamente em todo o período da revisão) e o Phantom Premium 1.5 (presente em trabalhos de 2009 a 2013). Determinados dispositivos comerciais citados por (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011) (dispositivos utilizados na área médica), como Omega (3, 6 e 7) e Delta (3 e 6) da Force Dimensions, bem como o Freedom 6S (MPB Technologies), não foram utilizados nos trabalhos selecionados.

Observou-se que os dispositivos hapticos para simulação de inserção de agulha foram predominantemente dispositivos de *feedback* de força (CUNHA-CRUZ et al., 2007) (BURDEA, 1996). Esta classificação, de tipo de retorno dos dispositivos, foi apresentada no Capítulo 2. Na Tabela 1 pode-se observar os dispositivos comerciais encontrados e suas características (Graus de Liberdade de Movimento, Graus de Liberdade de Força e Força Máxima em Newtons (N)).

Acredita-se que os custos e benefícios do Phantom Omni e da classe Phan-

Tabela 1 - Características dos dispositivos encontrados

Dispositivo	Graus de Liberdade	Graus de Liberdade de Força	Força Máxima
Cyberforce	6	3	8.8
Mimics Mantis	6	3	15.2
Novint Falcon	3	3	9
Phantom Deskt- op	6	3	7.9
Phantom Omni	6	3	3.3
Phantom Pre- mium 1.5	6	6 e 3	8.5
Phantom Pre- mium 3.0	6	6 e 3	22
Quanser	3	3	10.1
Virtuose	6	6	10

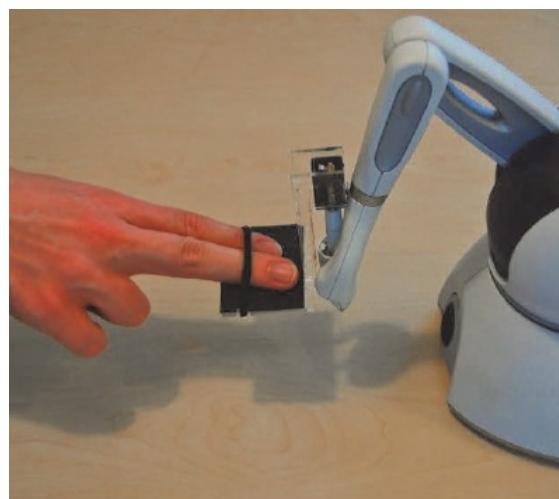
Fonte: Adaptado de (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011)

tom Premium 1.5 sejam os motivos pela liderança, pois o Novint Falcon possui o menor preço, mas número de graus de liberdade inferior aos dois primeiros, bem como um *workspace* mais reduzido. O Novint Falcon possui uma força máxima maior que ambos, no entanto, muito próxima a do Phantom Premium 1.5 (9 e 8.5 N, respectivamente).

Adicionalmente, o Phantom Premium 1.5 possui um *workspace* maior que o Phantom Omni, 191 x 267 x 381 e 160 x 120 x 70 milímetros, respectivamente, para os eixos x, y e z; e força máxima maior (3.3 e 8.5 N), no entanto, seu custo é maior. Deve-se mencionar que há dois tipos de Phantom Premium 1.5, com diferenças em relação aos graus de liberdade de retorno de força e custos (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011).

Determinados dispositivos comerciais foram modificados para simulação de inserção de agulha, com substituição da caneta por uma seringa ou agulha ou acoplando dois dispositivos, totalizando 9,7% dos artigos, com destaque para (GOKSEL et al., 2013) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b) (COLES et al., 2011a) (WANG et al., 2008) (SOUZA et al., 2008).

Figura 11 - Modificação de dispositivo Phantom Omni para palpação antes da inserção de agulha



Fonte: (ULLRICH; KUHLEN, 2012)

As modificações dos dispositivos comerciais representam formas de superar limitações, como o formato dos instrumentos e o valor máximo de força simulada. Em relação à substituição da caneta, o Phantom Omni liderou as modificações; e na modificação por acoplamento, o Novint Falcon foi o mais utilizado. Outra forma de superar uma restrição - o *workspace* do Phantom Omni, foi a alteração dos eixos *x* e *z*, visto que a abrangência em milímetros do eixo *x* deste dispositivo é maior que o eixo *z* e a simulação de determinadas tarefas são caracterizadas por movimentos no eixo *z* (WEI; NAHAVANDI; WEISINGER, 2013).

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados exemplos de modificações de dispositivos.

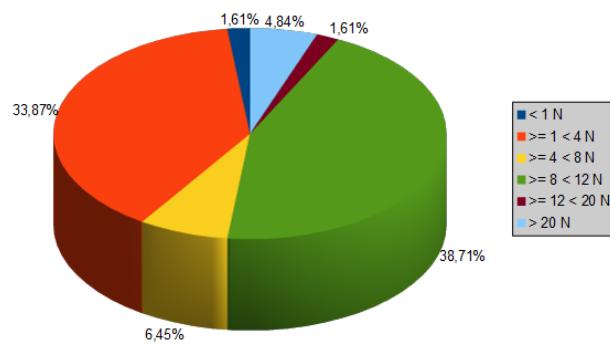
O emprego de mais de um dispositivo para uma simulação também foi computado, revelando 22,6% dos artigos com dois dispositivos iguais e 14,5% com dois dispositivos diferentes. Para dispositivos iguais no mesmo trabalho, destacam-se os seguintes artigos: (CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNELL, 2013) (CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNELL, 2011) (CHEL-

Figura 12 - Modificação de dispositivo Phantom Omni para punção de tireoide



Fonte: (SOUZA, 2007)

Figura 13 - Força máxima oferecida pelos dispositivos



Fonte: Autor

LALI; DUMAS; MILLEVILLE, 2010); para diferentes dispositivos no mesmo trabalho, destacam-se os seguintes artigos: (NI et al., 2011) (CHAN et al., 2010); e para ambos (GOKSEL et al., 2013) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b).

A força de resistência foi analisada por ser uma questão importante no realismo de simulações hapticas de inserção de agulha, visto que os trabalhos do contexto não tratavam dos retornos de natureza cinestésica, tátil e proprioceptiva, conforme classificação de (CUNHA-CRUZ et al., 2007) (BURDEA, 1996). Na Figura 13 são classificados os trabalhos conforme a força máxima (medida em N).

Foi encontrado um reduzido número de artigos com dispositivos de capacidade superior a 20 N. A maioria foi classificada entre 1 e 12 N, devido aos intervalos 8 e 12 e 1 e 4 N incluírem os dispositivos frequentemente mais adotados, o Phantom Premium 1.5 (8.5 N) e o Novint Falcon (aproximadamente 9 N) no primeiro grupo e o Phantom Omni (3.3 N) no segundo grupo. Na Tabela 1 é possível visualizar as forças dos dispositivos encontrados.

Deve-se ressaltar que para tarefas cada vez mais complexas são necessários dispositivos mais sofisticados, dotados, por exemplo, de 6 graus de liberdade de retorno de força.

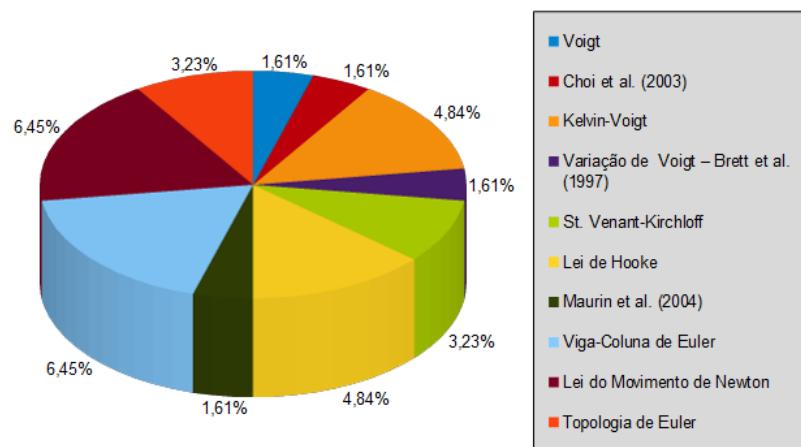
#### 4.4 Modelos e Métodos

A presente subseção engloba os modelos de geração de força e métodos de deformação dos chamados tecidos moles. Os modelos e métodos são importantes para as simulações hápticas e visuais do comportamento de agulhas e tecidos, influenciando diretamente a interação humano-computador.

As terminologias “modelos” e “métodos” podem gerar discussões, pois na literatura encontram-se divergências. Dessa maneira, no contexto do presente artigo, as abordagens que descrevem forças de resistência ou retorno háptico de tecidos virtuais sob ações externas serão denominadas modelos. Os métodos, por sua vez, são abordagens para determinar o comportamento dos tecidos virtuais sob ações externas, incluindo deformações visuais dos tecidos virtuais, que podem empregar os modelos e estabelecer forças de resistência ou retorno háptico. Por isso, os métodos serão denominados métodos de deformação.

Os modelos são caracterizados por propriedades mecânicas (elasticidade, viscosidade e plasticidade) e físicas (creep, relaxamento ao estresse e histerese).

Figura 14 - Modelos de retorno háptico



Fonte: Autor

rese) (TAYLOR et al., 1990). O creep consiste na deformação contínua durante aplicação de carga constante por um intervalo de tempo; o relaxamento ao estresse é caracterizada pela redução da resistência do material tecidual por deformação constante; e histerese é a perda de energia em forma de calor por diversas aplicações e retiradas de carga (TAYLOR et al., 1990)

A simulação de objetos deformáveis baseada em física não é uma tarefa trivial, pois tais estruturas apresentam características peculiares, como: não linearidade, viscoelasticidade, heterogeneidade e anisotropia (BASDOGAN; HO; SRINIVASAN, 2001).

Na Figura 14 podem ser observados os modelos de força informados nos trabalhos.

Os principais modelos identificados foram: modelos baseados na Lei de Hooke (4,8%), modelo baseados na Lei do movimento de Newton (6,4%), modelos de Euler viga-coluna (6,4%) e de St. Venant-Kirchhoff (3,2%). O modelo de Maxwell não foi encontrado e em 64,5% dos artigos não foram citados mo-

delos para simulação de quaisquer propriedades das anteriormente citadas.

Certos modelos encontrados (por exemplo: Voigt e Kelvin-Voigt - 6,4%) não contemplam determinadas propriedades físicas dos tecidos moles na ocorrência da inserção de agulha, tais como *creep*, relaxamento ao estresse e histerese (TAYLOR et al., 1990).

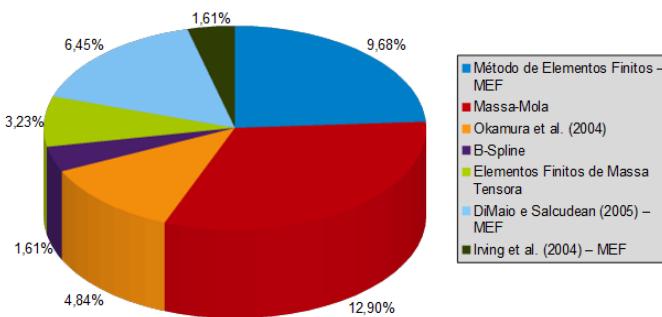
A utilização de propriedades físicas e geométricas para os modelos pode ser encontrada em alguns trabalhos, como módulo de Young, raio de Poisson, diâmetro, tensor de Cauchy e massa (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2011) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008a) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008b).

Foi encontrado um conjunto de modelos e métodos oriundos de variações de modelos e métodos clássicos. O modelo de força baseado em (CHOI; SUN; HENG, 2003) foi encontrado em um artigo (1,6%) (CHAN et al., 2010) e o modelo de força baseado na variação do modelo de Voigt (BRETT et al., 1997) também foi encontrado em um trabalho (NI et al., 2011). O modelo de (MAURIN et al., 2004) foi adotado em um trabalho (1,6%) (VILLARD P.F. AND VIDAL et al., 2009) e o modelo de força de (OKAMURA; SIMONE; O'LEARY, 2004) foi utilizado em três trabalhos (4,8%) (GONENC; GUROCAK, 2012) (NISKY et al., 2011) (SOUZA et al., 2008).

Na Figura 15 podem ser notados os métodos de simulação de deformação dos tecidos quando em contato com a agulha, podendo considerar o pré-contato e a ruptura de um ou mais tecidos dispostos em camadas.

Foram citados métodos geométricos, que envolvem fundamentos matemáticos como pontos de controle ou formas paramétricas (*Spline* e *Free-Form Deformation*); e métodos físicos, que englobam princípios da Física, como dinâmica e mecânica do contínuo (Elementos Finitos e Massa-Mola) (GIBSON;

Figura 15 - Métodos de deformação e retorno háptico



Fonte: Autor

MIRTICH, 1997). Observou-se a predominância do emprego de Elementos Finitos e suas variações (aproximadamente 25,8%) e Massa-Mola (aproximadamente 12,9%). Em 61,4% dos artigos não foi mencionada a utilização de métodos de deformação, sendo que 3,2% dos artigos apresentaram mais de um método.

A maioria dos artigos empregou métodos físicos, sendo que somente dois trabalhos adotaram método geométrico, baseado em *B-Spline* (3,2%) (LUBOZ et al., 2013) (VIDAL et al., 2008). Normalmente, métodos geométricos consomem poucos recursos computacionais e sua implementação é considerada mais simples, no entanto, proporcionam pouco realismo, visto que não possuem a simulação de propriedades mecânicas (BASDOGAN; HO, 1999).

Os métodos baseados em Elementos Finitos, embora sejam indicados para simulações de características de tecidos, possuem um elevado consumo de recursos computacionais (BASDOGAN; HO; SRINIVASAN, 2001), e sistemas de simulação são caracterizados pela interação humano-computador em tempo real, o que leva a simplificação de estruturas de dados ou a execução de cálculos preliminares (pré-processamento) (GOKSEL et al., 2013) (SUTHERLAND et al., 2011) (GOKSEL; SALCUDEAN, 2010), bem como interpolações (ULLRICH; KUHLEN, 2012) (ZHANG et al., 2010b).

Os métodos baseados em Massa-Mola são conceitualmente simples e consomem poucos recursos computacionais (TERZOPOULOS et al., 1987). Determinados artigos utilizaram mais de um método para representar estruturas teciduais distintas, como os trabalhos de injeção celular (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2011) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008a) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008b).

Sobre a variação dos métodos, o de Elementos Finitos de (DIMAIO; SALCUDEAN, 2005) foi adotado em 4,8% dos artigos (SUTHERLAND et al., 2013) (SUTHERLAND et al., 2011) (GOKSEL; SALCUDEAN, 2010), e o de (IRVING; TERAN; FEDKIW, 2004) foi empregado em 1,6% dos artigos (CHENTANEZ et al., 2009).

Deve-se ressaltar que com relação aos tipos de modelagens geométricas, 6.45% dos trabalhos realizaram operações com objetos virtuais baseados em voxels, com destaque para (GOKSEL et al., 2013) (MASTMEYER et al., 2013) (NI et al., 2011) (VIDAL et al., 2008), no entanto, a maior parte dos objetos virtuais foram baseados em polígonos (30.6%).

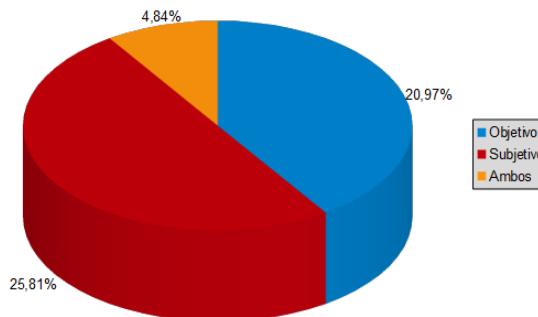
Os artigos que apresentaram modelos e métodos de deformação somaram 6,4% (CHAN et al., 2010) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008b) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008a) (VIDAL et al., 2008).

## 4.5 Validação

Em geral, a validação dos trabalhos considera duas vertentes: validação com seres humanos e validação técnica, relacionada ao desempenho da simulação.

Em relação ao desempenho computacional, foi observada uma preocupação com a velocidade de processamento (MAHDAVIKHAH et al., 2014)

Figura 16 - Tipos de testes envolvendo usuários



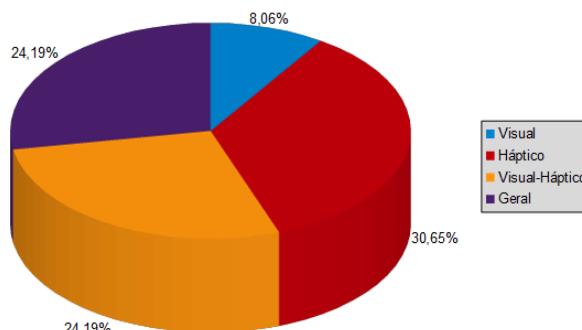
Fonte: Autor

(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2011) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a) (WANG et al., 2008) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2011), principalmente com relação à deformação de objetos 3D, que influenciam na interação háptica, a qual deve ser mantida a altas taxas de renderização.

Na Figura 16 são mostrados trabalhos que realizaram testes com a participação de usuários (49,4% do total).

Normalmente em projetos de simulação, principalmente de RV e RA, o nível de realismo proporcionado é uma preocupação recorrente, sendo mencionado nos textos de 87,1% dos artigos. Na Figura 17 são apresentados dados sobre os tipos de realismo avaliados, mesmo que determinados trabalhos somente mencionem a preocupação com tal aspecto, sem a realização de testes específicos para determinar o nível de realismo. As modalidades sensoriais humanas analisadas no contexto de realismo foram visual e tátil. Ressalta-se que mesmo a modalidade sonora foi pouco explorada nos trabalhos, tendo sido citada somente em (LEE et al., 2012). Os recursos visuais e hápticos foram amplamente explorados quando comparados com simulações de som, cheiro e paladar, sendo que os dois últimos não tiveram nenhuma representação no conjunto de artigos.

Figura 17 - Natureza do realismo



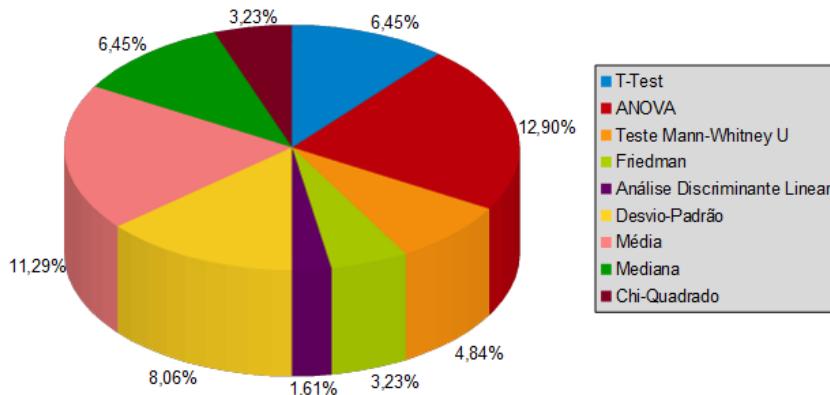
Fonte: Autor

O treinamento de determinados procedimentos de inserção de agulha envolveu a coordenação entre mãos e olhos, pois diversas técnicas adotaram imagens médicas para auxiliar a execução, por isso, o realismo visual também é importante no contexto. Outros trabalhos englobaram palpação inicial e posterior inserção de agulha, não incluindo o auxílio de imagens médicas.

Outro ponto abordado foi a distinção entre testes objetivos e subjetivos com usuários. Os testes objetivos estão relacionados ao desempenho do usuário (tempo de execução de tarefa, erros e acertos durante o movimento da agulha, entre outras métricas de desempenho) (PAOLIS, 2012) (CHAN et al., 2012).

As métricas de desempenho diferem-se de métricas objetivas citadas em trabalhos que visam criar técnicas para avaliação da qualidade da interação háptica com base na percepção do usuário, (STEINBACH et al., 2012) (CHAUDHARI; STEINBACH; HIRCHE, 2011) (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007). A seção 4.6 foi elaborada para descrever métricas objetivas perceptuais para avaliação da interação háptica, visto que constitui um dos objetivos do presente trabalho. Em 1,6% dos artigos, as métricas objetivas de desempenho foram definidas, mas ainda não aplicadas (PAOLIS, 2012) (valor não computado para os testes objetivos). No conjunto de estudos incluídos houve

Figura 18 - Tipos de testes estatísticos



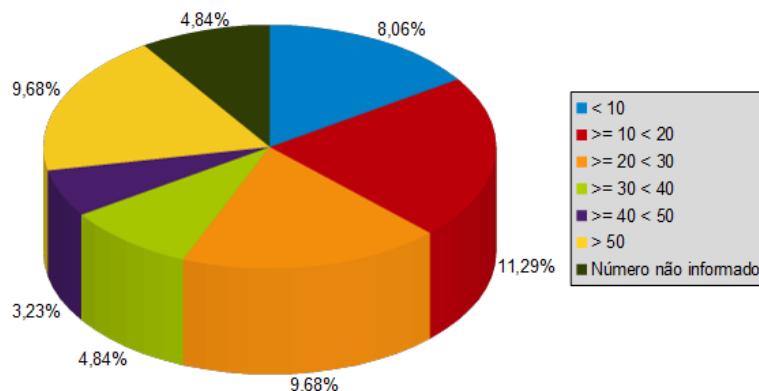
Fonte: Autor

uma predominância dos testes puramente subjetivos, especialmente com o emprego de questionários. Foi observada a presença de 3,2% dos artigos com dois tipos de testes psicofísicos (PSE - *Point of Subjective Equality* e PMRE - *Point of Motor Response Equality*) (NISKY et al., 2011) (LÉCUYER; BURKHARDT; TAN, 2008).

Na Figura 18 são apresentados dados sobre os testes estatísticos exclusivamente com a participação de usuários. 55,2% dos artigos incluídos utilizaram testes estatísticos e 3,2% destes apresentaram mais de um teste estatístico. Os testes estatísticos empregados com maior frequência foram ANOVA (*Analysis of Variance*) (12,9%), média (11,3%), desvio-padrão (8,0%), mediana (6,4%) e t-test (6,4%). No ano de 2009 não foi detectada nenhuma aplicação de teste estatístico envolvendo usuários.

Na Figura 19 são apresentados dados referentes ao número de participantes dos testes conforme determinados intervalos (menos de 10, de 10 a menos de 20, de 20 a menos de 30, de 30 a menos de 40, de 40 a menos de 50, mais de 50 e Número não informado para artigos que não especificaram

Figura 19 - Números de participantes dos testes



Fonte: Autor

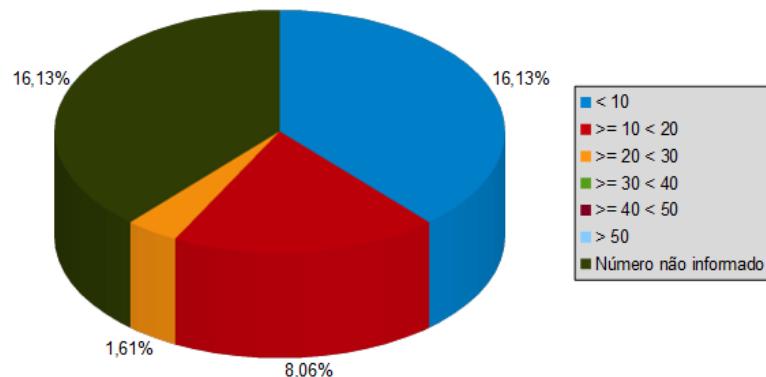
o número de participantes).

Nas Figuras 20 e 21 são apresentados dados sobre os números de especialistas e novatos que participaram dos testes, considerando os mesmos intervalos adotados para o número de participantes. O grupo de novatos pode ser formado por iniciantes, residentes e estudantes em qualquer fase do curso, podendo possuir determinada experiência na realização do procedimento ou tarefa a ser simulada. Os especialistas são professores e profissionais relacionados ao procedimento ou tarefa a ser simulada.

Na Figura 22 são apresentados dados sobre o número de centros médicos que participaram da validação nos experimentos dos artigos incluídos. Tal classificação foi efetuada devido à possibilidade de especialistas de diferentes centros executarem um certo procedimento de formas distintas, apresentando mais de uma solução (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011).

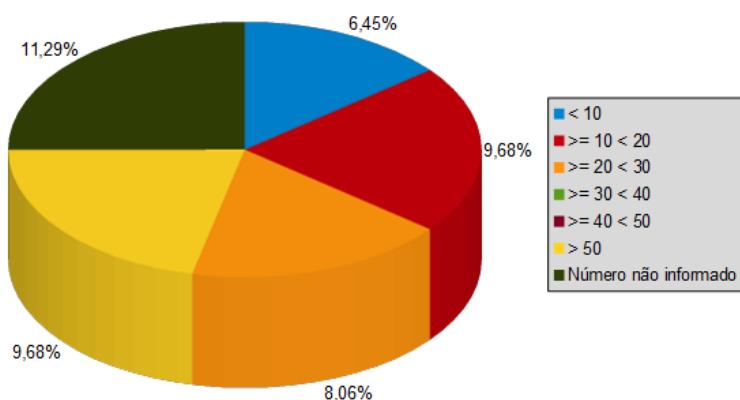
A maioria das validações com usuários foi realizada com ambas classes de participantes - especialistas e novatos, com 6,4% para artigos envolvendo **somente** especialistas e 9,7% **somente** novatos. Em 48,4% dos artigos não foi verificada a participação de usuários. Em alguns artigos não foi determi-

Figura 20 - Números de especialistas nos testes



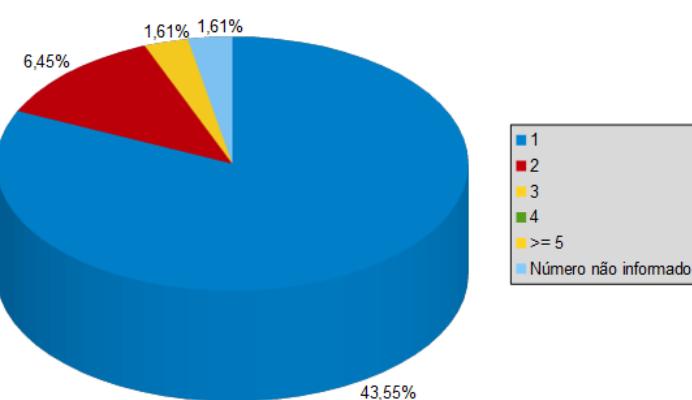
Fonte: Autor

Figura 21 - Números de novatos nos testes



Fonte: Autor

Figura 22 - Números de centros médicos nos testes



Fonte: Autor

nada a classe dos participantes (4,8%).

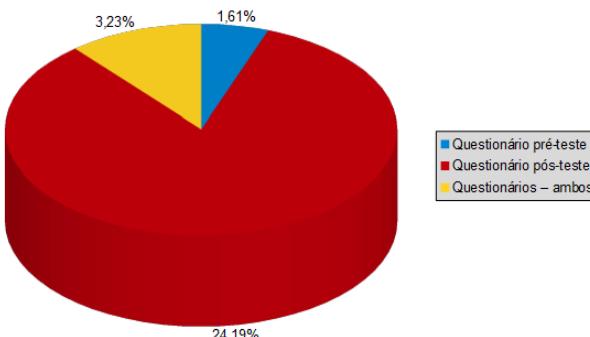
O número de novatos foi maior, com a exceção de 3,2% dos artigos (CHALASANI et al., 2011) (JALOTE-PARMAR; BADKE-SCHAUB, 2010). Os especialistas não superaram o intervalo de 20 a 30 pessoas, sendo que os novatos atingiram o intervalo máximo especificado de mais de 50 pessoas, alcançando um valor máximo de 63 (LUCIANO et al., 2013).

Em 6,4% dos artigos ocorreu uma variação nos números de participantes de uma fase para outra do experimento por motivos diversos (exclusão, desistência, participação prévia de especialista ou grupo de calibração preliminar, entre outros), normalmente causando a redução desses números, como em (LUBOZ et al., 2013) (CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNEL, 2013) (MANOHARAN et al., 2012) (NISKY et al., 2011).

Os testes foram realizados em um único centro médico (43,5%) do total de 53,2% de artigos que mencionaram os centros, sendo que 6,4% foram em 2 centros e 1,6% em 6 centros. Um único centro médico foi predominante nos anos de 2009, 2011 e principalmente 2012. Dois artigos (3,2%) apresentaram testes formais com especialistas de áreas distintas (computação e medicina) (CHAN et al., 2010) (SOUZA et al., 2008).

Na Figura 23 é mostrada a porcentagem de artigos que empregaram questionários na validação, classificados como pré, pós-testes e ambos. Questionários utilizando escalas Likert com 5, 6 ou 7 itens foram empregados em 11,3% dos artigos. Uma gravação dos usuários em ação foi observada (LE; NAHAVANDI; CREIGHTON, 2010), entretanto, acredita-se que nos testes objetivos as entradas dos usuários tenham sido gravadas, como trajetórias, tempo de execução de tarefas ou fases, números de erros e acertos, considerando tais entradas como métricas objetivas de desempenho.

Figura 23 - Tipos de questionários utilizados nos testes



Fonte: Autor

Os números de questionários somente pré-teste e ambos foram inferiores ao número de questionários pós-teste, no entanto, são dados difíceis de interpretar, pois informações consideradas prévias, como sexo, idade, profissão, experiências, entre outras, podem ser adquiridas nos questionários pós-testes e termos de consentimento para participação em experimentos. Seguindo a análise, 3,2% dos artigos utilizaram questionários específicos - ASQ (*After-Scenario Questionnaire - IBM (International Business Machines)*) (CHOI; CHAN; PANG, 2012) e Coleta Bibliográfica e Escala de Usabilidade de Sistema com 16 itens de satisfação (BIBIN et al., 2008).

Para a validação de simuladores cirúrgicos, normalmente são utilizadas as medidas *validity* (MCDOUGALL, 2007). Dessa forma, os números de artigos envolvendo *face validity*, *construct validity* e *content validity* foram 4,8%, 1,6% e 1,6%, sendo que em 3,2% dos artigos foram utilizadas mais de uma medida, sempre com a presença da *face validity*. As medidas *predictive validity* e *concurrent validity* não foram adotadas.

Para finalizar, com relação à validação sob aspectos computacionais, o teste estatístico de regressão linear foi observado em 4,8% dos artigos, empregado para comparação entre métodos de Elementos Finitos Linear e Não Linear (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013) (LADJAL; HANUS; FERREIRA,

2011), além da comparação de trajetórias (NISKY et al., 2011). Os testes estatísticos média e desvio-padrão foram adotados para análise de erros de processamento (MAHDAVIKHAH et al., 2014) (ZHANG et al., 2010b) (MAHDAVIKHAH et al., 2010) (VILLARD P.F. AND VIDAL et al., 2009).

## 4.6 Métricas Objetivas Perceptuais para Avaliação da Interação Hápatica

As avaliações objetivas são pouco exploradas na literatura, no entanto, é comum a combinação de dados subjetivos e objetivos para formular medidas de qualidade (SAGARDIA et al., 2009) (HAMAM et al., 2008) (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007), incluindo valores de QoE (*Quality-of-Experience* ou Qualidade de Experiência), uma extensão de QoS (*Quality-of-Service* ou Qualidade de Serviço) (HAMAM et al., 2008).

A elaboração de tais métricas está alicerçada sobre a possibilidade de determinar a tolerância da percepção do ser humano diante de alterações de sinais, permitindo o aperfeiçoamento da interação humano-computador, e consequentemente dos sistemas computacionais, visto que tais sistemas não estão livres de erros ou ruídos. No presente texto, erros e ruídos dos sinais hapticos foram denominados distorções.

No caso da percepção haptica em AVs, as distorções podem ser causadas pela execução de algoritmos de detecção de colisão, de deformação e cálculo do retorno haptico, que consomem significativos recursos computacionais para manter o tempo real da simulação sem deixar de lado o realismo (GOKSEL et al., 2013) (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013). A renderização haptica em AVs requer alta de atualização, em aproximadamente 1.000 Hz, entretanto, variações em determinados contextos são aceitáveis (dois exem-

plos apresentaram valores de 300 Hz e de 550-600 Hz (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011)). Os sistemas de teleoperação requerem taxas de atualização háptica entre 500 e 1.000 Hz, usando em determinados casos, algoritmos de predição e compressão de dados para resolver problemas de perda de pacotes e atrasos (HINTERSEER; STEINBACH; CHAUDHURI, 2006). Adicionalmente, há também distorções causadas pela comunicação via rede de computadores. As tecnologias são empregadas em sistemas de teleoperação e em certos sistemas de treinamento. Nestes últimos, arquiteturas são construídas para distribuição dos processamentos háptico e visual (HENG et al., 2004) ou para processamento de informações provenientes de dois dispositivos hápticos (NI et al., 2011).

Duas métricas foram encontradas e são apresentadas a seguir. Deve-se ressaltar que alguns símbolos matemáticos foram modificados em relação aos artigos originais, para organização da informação e um melhor entendimento. Sakr, Georganas e Zhao (2007) conceberam a métrica *HPWPSNR* (*Haptic Perceptually Weighted - Peak Signal-to-Noise Ratio*), baseado na métrica *PNSR* (comumente usada em análises de processamento de sinais), que envolve *MSE* (*Mean-Squared Error*), conforme a equação:

$$HPWPSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{(|attr_{max} - attr_{min}|)^2}{MSE.HPW} \quad (4.1)$$

sendo:

$$MSE = \frac{1}{|N|} \sum_{n=1}^N (attr[n] - orig\_attr[n])^2$$

$$HPW = \begin{cases} C, & \text{se } Q \\ (k \cdot |attr - orig\_attr| - JND(attr)) + C, & \text{outro caso} \end{cases}$$

onde *attr* representa o valor de um atributo, normalmente contendo um valor de distorção; *orig\_attr*, *attr\_max* e *attr\_min* denotam os valores original,

máximo e mínimo, respectivamente, de um atributo;  $|attr_{max} - attr_{min}|$  é a magnitude do *workspace* alcançável (nos 3 eixos) do dispositivo háptico -  $\sqrt{(maxX - minX)^2 + (maxY - minY)^2 + (maxZ - minZ)^2}$ ;  $N$  é o número amostral do atributo durante a interação háptica,  $n$  é cada unidade da amostra;  $C$  é uma constante;  $Q$  é a relação  $|attr - orig\_attr| \leq JND(attr)$ ;  $k$  é a relação  $\frac{JND(attr)}{orig\_attr}$ ; e *JND* (*Just Noticeable Difference* ou Diferença Minimamente Perceptível), estabelecida pela lei de Weber e é o valor mínimo que representa o limiar de percepção do ser humano para perceber a variação de um estímulo em uma experiência sensorial (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007). Os atributos máximo e mínimo variam de acordo com as características do dispositivo háptico.

Com respeito aos atributos, funções foram estabelecidas, sendo a função *JND(position)* para o atributo de posição; a função *JND(force)* para o atributo de força e *JND(velocity)* para o atributo de velocidade. No trabalho realizado por Sakr, Georganas e Zhao (2007), o atributo de orientação ou rotação não foi considerado.

Essas funções são descritas como segue:  $JND(position) = \pm \alpha_{position}$ , onde  $\alpha_{position}$  é a resolução do dispositivo háptico;  $JND(force) = \alpha_{force} \cdot |force|$ , onde  $\alpha_{force}$  está entre 5 e 10% da força original; e  $JND(velocity) = \alpha_{velocity} \cdot |velocity|$ , onde  $\alpha_{velocity}$  está no intervalo de 10 a 15% da velocidade original.

No mesmo artigo, a lógica *fuzzy* foi usada para determinar *HPW*, em contrapartida à formulação matemática. A lógica *fuzzy* foi baseada em duas variáveis de entrada (degradação de posição e degradação de velocidade) e uma variável de saída (qualidade perceptual). As regras de inferência foram derivadas de seres humanos, classificadas como regras linguísticas *se-então*. A saída do modelo *fuzzy* é calculada pela técnica de *desfuzzificação* de centroide (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007):

$$HPW = \frac{\sum_{n=1}^R \mu(i_n) i_n}{\sum_{n=1}^R \mu_c(i_n)}$$

onde  $R$  representa o número de regras de inferência, relacionadas a degradações ou distorções de posição e velocidade;  $\mu_c$  é a função resultante agregada do conjunto *fuzzy* de saída;  $i_n$  é o universo de discurso. Os autores usaram nove regras de inferência, sendo os valores de saída dentro do intervalo [0, 1], indicando a qualidade perceptual (0 - rica qualidade perceptual e 1 - pobre qualidade perceptual) (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007).

Conforme os autores, *HPWPSNR* considera valores máximo e mínimo para os atributos, escalando os resultados de acordo com o intervalo do atributo háptico. Como previamente mencionado, esses intervalos podem diferir porque há diferentes dispositivos hápticos, especialmente dispositivos hápticos comerciais (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007).

Recentemente, uma outra métrica, denominada *PMS E* (*Perceptual Mean-Squared Error*), foi proposta por Chaudhari, Steinbach e Hirche (2011) e é baseada na lei de Weber-Fechner, que considera sensações hápticas relacionadas a experiências humanas, conforme equação 4.2:

$$PMS E = \frac{c^2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \ln \left( \frac{I(i)}{I_0(i)} \right) \quad (4.2)$$

onde  $c$  é uma constante escalar, usualmente determinada por experimentos;  $N$  representa o número amostral de cada atributo na interação háptica;  $i$  é cada item da amostra;  $I(i)$  e  $I_0(i)$  são as magnitudes dos estímulos de referência e estímulos distorcidos, respectivamente.

De acordo com os autores, a métrica incorpora um modelo psicofísico de percepção humana e um modelo de ação humana, totalmente automático. O modelo de ação humana é importante para a realização de testes inde-

pendente da participação de usuários (CHAUDHARI; STEINBACH; HIRCHE, 2011).

## 4.7 Considerações Finais

Os resultados evidenciaram que simulações baseadas em RV e dispositivos hápticos comerciais foram predominantes durante o período analisado.

Somente a área de saúde foi encontrada na revisão, embora palavras-chave relacionadas à saúde não foram utilizadas (Apêndice B). Foi observada uma diversidade de procedimentos, com destaque para braquiterapia, injeção celular, anestesia e biópsia, sendo que os dois últimos envolvem diversas regiões corporais alvo. A maioria dos artigos focou na inserção de agulha desconsiderando uma região corporal alvo específica.

Os procedimentos braquiterapia de próstata e injeção celular foram dominados por dois grupos de pesquisa nos últimos anos, sendo que para a injeção celular há somente um grupo de pesquisa. O procedimento de braquiterapia foi simulado com dois graus de liberdade e o de injeção celular com um grau de liberdade, adotando o método de Elementos Finitos ou variações deste para a deformação de tecidos. No entanto, o método Massa-Mola foi empregado em uma simulação de braquiterapia.

Os modelos de geração de retorno háptico e os métodos de deformação de tecidos possuem restrições no que diz respeito ao custo computacional e ao realismo proporcionado em determinadas situações a que os tecidos virtuais são confrontados. O comportamento (flexibilidade da agulha) e características (ponta do objeto 3D) das agulhas são explorados superficialmente. Outros comportamentos, como quebras de agulhas em acidentes durante o procedimento, não foram mencionados.

O tipo de simulação baseado em RV contemplou diversos procedimentos e dispositivos. No tipo de simulação baseada em RA, os procedimentos de intervenção espinhal, intervenção radiológica e optometria foram simulados; e os dispositivos Phantom Premium 1.5, Phantom Omni, Novint Falcon e dispositivos específicos foram utilizados.

A participação de usuários finais nos testes é importante na validação, sendo que participantes oriundos de mais de um centro é uma raridade e o número de participantes especialistas é normalmente inferior ao número de novatos. Essas constatações expõem as dificuldades para a realização de testes com usuários da área de saúde.

A preocupação com o realismo é evidente, especialmente sob aspectos visuais e táteis (predominância da validação de ambos no ano de 2013), estando em segundo plano aspectos sonoros, olfativos e gustativos. Os testes subjetivos dominaram os trabalhos, sendo que formas objetivas de avaliação da qualidade da interação háptica constituem um desafio (há métricas objetivas de avaliação de desempenho do usuário).

É evidente a simplificação dos procedimentos, com a divisão em tarefas e delimitação de ações, como a redução do número de graus de liberdade. Acredita-se que tal fato é devido as simulações exigirem alto processamento e os dispositivos hápticos mais utilizados possuírem limitações (*wokspace* reduzido, formatos incompatíveis com instrumentos médicos ou odontológicos, número insuficiente de graus de liberdade para retorno de força) (CORRÊA; NUNES; TORI, 2014b).

Deve-se ressaltar que para tarefas cada vez mais complexas, dispositivos mais sofisticados são desejados, dotados, por exemplo, de maior número de graus de liberdade de retorno de força. Foi notado que o número de graus de liberdade permitidos está diretamente associado a uma determinada tarefa do

procedimento. O máximo de força está relacionado com o dispositivo adotado, desconsiderando previamente características e comportamento de tecidos e agulhas durante o processo inserção.

A revisão contribuiu para o presente trabalho indicando formas de superar limitações tecnológicas para elevar o realismo, como a modificação dos dispositivos, acoplando instrumentos; maneiras de aplicar testes subjetivos com usuários e de analisar o realismo oferecido, bem como a escassez de trabalhos relacionados ao treinamento em anestesia odontológica e a necessidade de formas objetivas para avaliação da interação háptica.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo foi dividido nas seções Materiais e Métodos, com o intuito de organizar o texto e facilitar o entendimento.

### 5.1 Materiais

Para a implementação de um protótipo de simulação de treinamento de aplicação de anestesia do nervo alveolar inferior, na parte dos materiais, foi adotada uma série de equipamentos e *softwares*. Os equipamentos necessários incluem computadores e dispositivo háptico, atualmente o dispositivo Phantom Omni<sup>1</sup>.

Os computadores estão disponíveis no Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde o trabalho foi desenvolvido; e no Laboratório de Simulação e Treinamento (LaSiT), da Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo (FOB/USP), onde os experimentos foram realizados com sujeitos da área de Odontologia.

O dispositivo háptico foi disponibilizado pelo Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS), da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH/USP). Os laboratórios mencionados

---

<sup>1</sup><http://geomagic.com/en/products/phantom-omni/overview>

mantêm uma parceria, colaborando em projetos de pesquisa.

Nos experimentos, o sistema foi composto por um monitor de vídeo (24 polegadas e resolução de 1920 x 1080), um dispositivo háptico modelo Phantom Omni (seis graus de liberdade para captura de posição e orientação em três eixos, três graus de liberdade de retorno de força, força máxima de retorno de 3,3 N, espaço de trabalho de 160 milímetros de comprimento, 120 milímetros de altura e 70 milímetros de profundidade). O dispositivo permite simular a manipulação de um modelo que representa um instrumento odontológico, e possibilita o retorno de força, simulando resistências quando o instrumento odontológico entra em contato com objetos 3D que representam a estrutura anatômica.

Em relação aos *softwares*, o desenvolvimento foi baseado em um *framework* voltado ao treinamento médico, denominado ViMeT (*Virtual Medical Training*), que foi construído com a utilização das linguagens de programação Java (utilização do ambiente de desenvolvimento *NetBeans 7.4* (ORACLE, 2015c)) e C (utilização do ambiente de desenvolvimento *Microsoft Visual C++ Express Edition 2010* (MICROSOFT, 2015)); as APIs (*Application Programming Interfaces*) Java3D (ORACLE, 2015a) e JNI (*Java Native Interface*) (ORACLE, 2015b), para criação de AVs 3D e para integração entre linguagens de programação, respectivamente; bem como a biblioteca háptica *OpenHaptics Toolkit* - versão acadêmica (GEOMAGIC, 2015), que permite o acesso a funcionalidades do dispositivo háptico adotado.

O referido *framework* foi adotado por estar em desenvolvimento dentro do Interlab e do LApIS e apresentar funcionalidades relevantes no desenvolvimento de sistemas interativos baseados em RV para treinamento na área de saúde (OLIVEIRA; NUNES, 2010). As principais funcionalidades oferecidas são: carregamento de objetos virtuais, incluindo a especificação de caracte-

rísticas; detecção de colisão entre objetos virtuais; simulação de comportamentos, como a deformação de objetos virtuais e; suporte a dispositivos de entrada e saída, principalmente dispositivos não convencionais, como luva de dados e equipamento háptico.

## 5.2 Métodos

Com relação à fundamentação teórica, dois métodos foram empregados: Método Volere (ROBERTSON; ROBERTSON, 1999) e Revisão Sistemática (KITCHENHAM, 2004) (BIOLCHINI et al., 2005). O Método Volere oferece uma forma rigorosa para levantamento de requisitos, com uma extensa documentação sobre o cenário a ser analisado.

A revisão da literatura foi realizada em conformidade com protocolo de Revisão Sistemática (RS). A RS visa analisar o estado da arte, permitindo o levantamento das principais pesquisas sobre um determinado tema. De acordo com (KITCHENHAM, 2004), trata-se de uma abordagem para identificação, avaliação e interpretação de trabalhos relevantes associados à pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse.

Na visão de Biolchini et al. (2005), a RS consiste em um método de pesquisa, considerado rigoroso, para identificação do conhecimento científico de um determinado domínio. Tal método envolve meios de coleta, combinação e avaliação crítica de trabalhos previamente realizados sobre o domínio em questão. A RS é formada por quatro fases principais: (i) planejamento; (ii) condução; (iii) extração da RS e (iv) elaboração de relatórios contendo os resultados.

Na avaliação da interação humano-computador proporcionada pelo sistema de treinamento (aspectos visuais e hápticos) e análise de viabilidade de

métrica objetiva para avaliação da interação háptica, foram utilizados questionários, os quais podem ser divididos em três partes: (i) perfil; (ii) preferências; e (iii) questões com escala Likert-7.

Além disso, informações inseridas no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, utilizado segundo regulamentação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da FOB/USP, foram usadas para complementar o perfil do sujeito de pesquisa (participante do experimento), como idade, por exemplo.

O perfil do sujeito contém informações sobre os tempos de experiência na execução do procedimento de bloqueio do nervo alveolar inferior e na utilização de sistemas de RV (incluindo experiência com dispositivo háptico); nível de especialidade (novato, médio e especialista); formas de treinamento (incluindo colega, paciente, frutas, *Phantom* ou manequim e outras).

As preferências tratavam da aparência dos objetos virtuais (cor, textura ou indiferente); do número de pontos de vista da cena virtual (1, 2 ou indiferente) e do instrumento de manipulação acoplado ao dispositivo háptico (com a caneta original, seringa Carpule ou indiferente). Foram utilizados os termos “Cor” e “Textura” para indicar textura com cores e textura com imagens, devidamente explicado aos sujeitos dos experimentos. A opção indiferente não foi apresentada nos questionários, sendo indicada para sujeitos que não optavam por nenhuma alternativa, também devidamente esclarecido.

As texturas são formas mais complexas para geração em comparação com as cores; um segundo ponto de vista foi inserido para auxiliar na percepção de profundidade, pois a integração da visualização 3D não estava finalizada. O dispositivo háptico adotado não é fornecido com a seringa, que foi adaptada ao dispositivo e é o instrumento utilizado pelos profissionais de odontologia para aplicação da anestesia.

As questões foram associadas aos aspectos visuais (aparência, escala e posição dos objetos virtuais) e hápticos (fidelidade na captura de movimentos, tamanho do *Workspace* para realização da tarefa, retorno de força com relação ao ambiente real). Determinadas questões trataram do entendimento do experimento; da posição do monitor de vídeo (visto que a aplicação da anestesia ocorre com o paciente deitado na maca), e de sensações de cansaço ou estresse (devido ao alto número de testes em cada experimento).

Informações adicionais foram obtidas por meio de filmagens dos sujeitos e armazenamento de dados oriundos da interação humano-computador, com captura via sistema de treinamento. As filmagens foram especificamente dos movimentos manuais, preservando as identidades dos sujeitos.

Na análise dos dados, os testes estatísticos empregados foram média, desvio-padrão, calculados no âmbito geral e para cada grupo classificado de acordo com o nível de especialidade (novato, médio e especialista); ANOVA - Dois Fatores, para os fatores Interação (composto pelos níveis aspectos visuais e hápticos) e Nível de Especialidade (composto pelos níveis novatos, médios e especialistas) e ANOVA - Quatro Fatores, para os fatores Pontos de Vista (composto pelos números de pontos de vista - níveis 1, 2 ou indiferente), Aparência dos objetos 3D (níveis cor, textura e indiferente), Instrumento acoplado ao dispositivo (níveis caneta original do equipamento, seringa Carpule e indiferente) e Nível de Especialidade (níveis novatos, médios e especialistas).

Os testes ANOVA permitem analisar as diferenças significativas estatisticamente das respostas para cada diferente configuração, considerando efeitos principais (cada fator independente dos demais, como por exemplo, Aparência independente de Pontos de Vista, Instrumento e Nível de Especialidade) e efeitos de interação (o efeito de um fator apresenta diferenças quando depende dos níveis de outros fatores, como por exemplo, Aparência \* Pontos

de Vista, Pontos de Vista \* Instrumento, Aparência \* Pontos de Vista \* Instrumento).

## **6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTERATIVO PARA TREINAMENTO E ELABORAÇÃO MÉTRICA OBJETIVA PARA AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO HÁPTICA**

O presente capítulo foi dividido em duas seções principais: a primeira voltada à descrição da implementação do sistema de treinamento, principalmente os aspectos visuais e hápticos, que influenciam a interação humano-computador; e a segunda para explanação sobre elaboração da métrica objetiva perceptual para avaliação da interação haptica.

### **6.1 Sistema de Treinamento**

Devido à complexidade do desenvolvimento de um sistema dessa natureza, uma tarefa do procedimento foi selecionada, envolvendo o nervo alveolar inferior direito e a técnica direta de aplicação anestésica. A tarefa consiste na inserção de agulha, incluindo a correta manipulação da agulha/seringa, considerando velocidade e angulação no momento da inserção, bem como a identificação do ponto correto de inserção e ponto final (ponto de depósito do anestésico). Adicionalmente, determinados tecidos não devem ser atingidos durante a inserção da agulha, como nervos e ossos.

As tarefas de injeção do anestésico, afastamento da bochecha, diálogo com o paciente e montagem da seringa não foram contempladas neste tra-

Iho. A anatomia modelada é referente à crianças (de 7 a 12 anos).

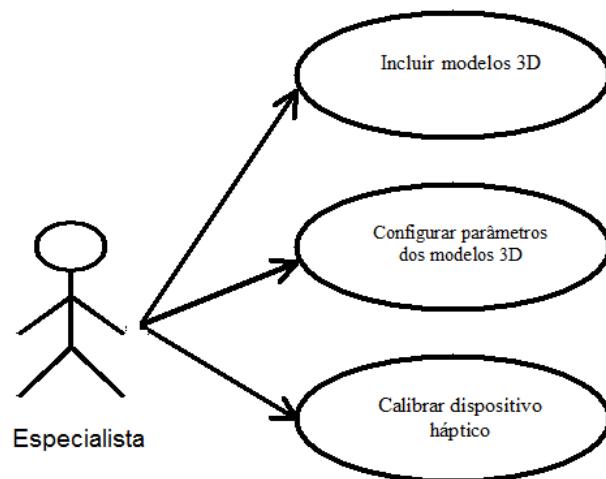
A inserção de agulha foi escolhida por ser uma tarefa importante em diversos procedimentos que são alvos de sistemas computacionais de treinamento, tais como: braquiterapia (GOKSEL et al., 2013), biópsias (CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNEL, 2013) (NI et al., 2011) (CORRÊA et al., 2009) (SOUZA et al., 2008), anestesia (MANOHARAN et al., 2012) (GROTTKE et al., 2009), injeção celular (LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013) (LE; NAHAVANDI; CREIGHTON, 2010), entre outros.

Conforme as categorias definidas em Bowman et al. (2005) para a interação humano-computador em AVs, no presente trabalho a interação pode ser caracterizada em três categorias principais:

- Navegação, nas modalidades *Travel* e Exploração, visto que é possível visualizar o AV, alterando livremente o ponto de vista por meio do dispositivo teclado. As teclas que acionam as setas podem ser usadas para rotacionar o ambiente, permitindo visualizações laterais dos objetos 3D; e criar uma espécie de *Zoom*, aumentando e reduzindo a escala dos objetos 3D;
- Seleção e Manipulação, com a ausência da etapa de seleção e a manipulação do objeto 3D que representa a agulha por meio do dispositivo haptico de retorno de força, com movimentos em seis graus de liberdade;
- Controle do Sistema, para remoção ou adição de objetos 3D durante execução; e remoção ou adição do segundo ponto de vista também durante a execução.

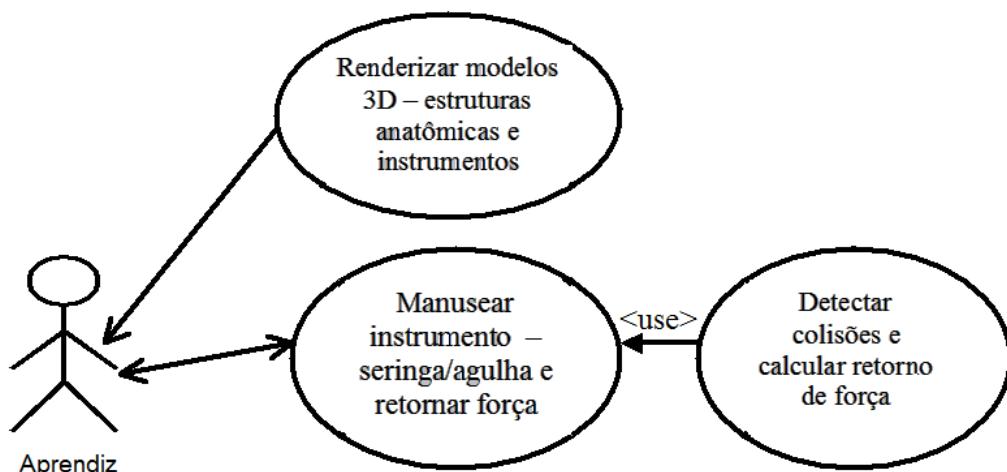
Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os diagramas de casos de uso, indicando os principais cenários para a interação humano-computador.

Figura 24 - Caso de Uso - Configuração do ambiente



Fonte: Autor

Figura 25 - Caso de Uso - Treinamento virtual



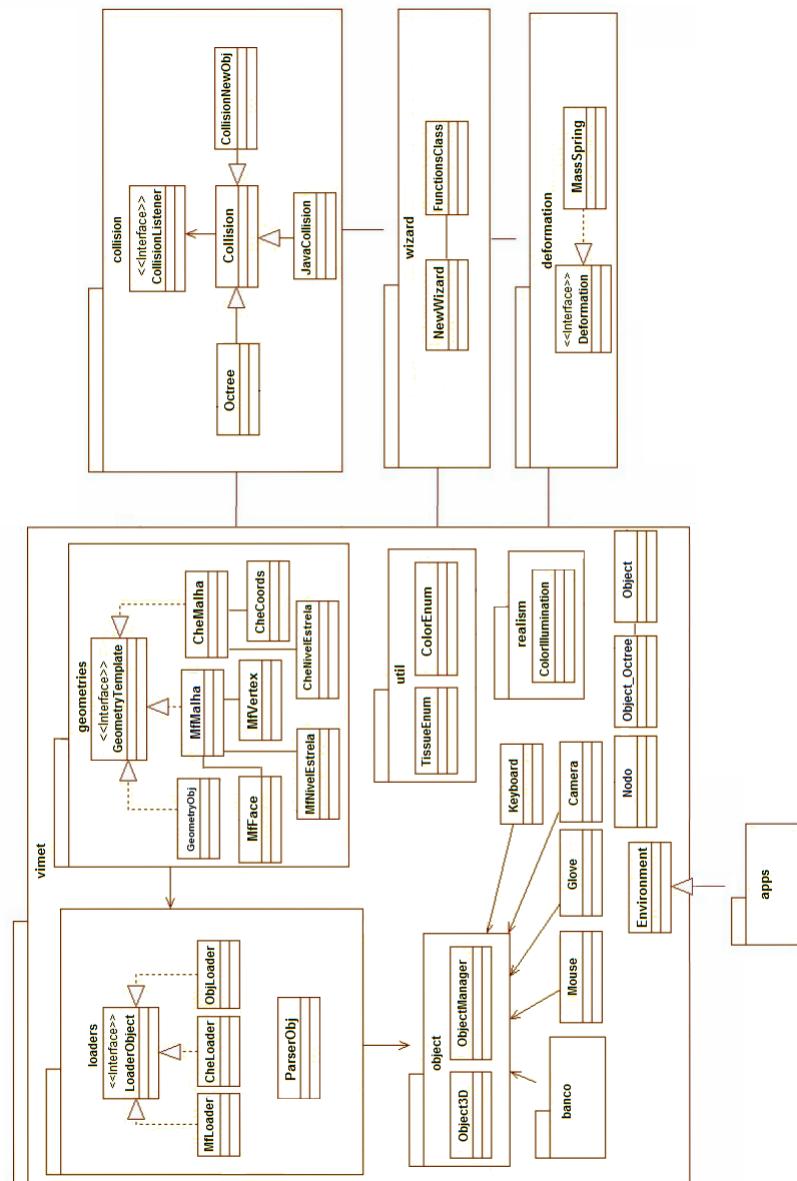
Fonte: Autor

### 6.1.1 ViMeT

Conforme mencionado, um *framework* foi adotado para contribuir com a implementação, permitindo o reuso de recursos, adaptação e adição de outros. Na Figura 26 é apresentado o diagrama de classes do ViMeT.

As classes alteradas foram *Environment*, *Haptic*, *NativeHaptic*, *Objeto*,

Figura 26 - Diagrama de classes do ViMeT



Fonte: Autor

*Object3D* e *Keyboard*. As classes adicionadas foram *ParserObj* e *CollisionNewObj*. As classes utilizadas foram *ObjLoader*, *ColorIllumination* e *Collision*.

### 6.1.2 Detecção de Colisão

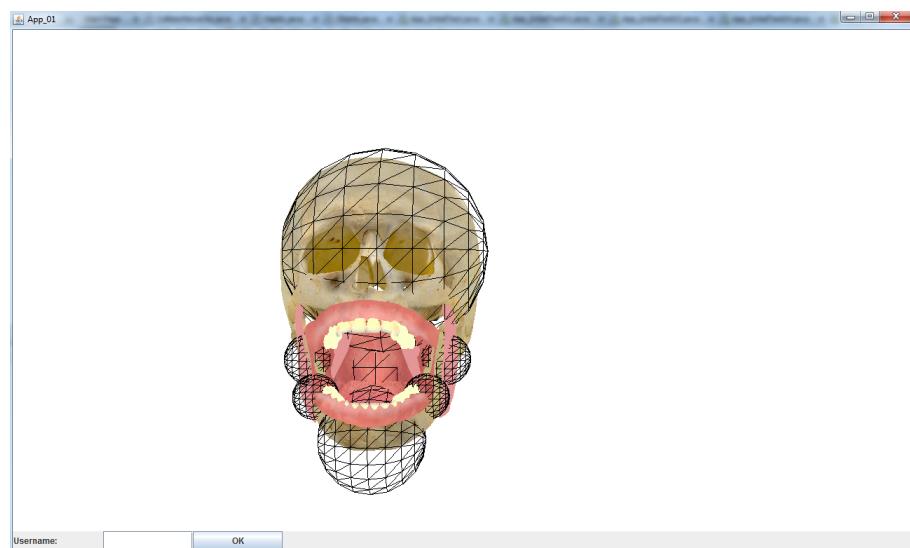
A detecção de colisão é uma parte fundamental, visto que a precisão no contato entre objetos 3D que representam agulha e estruturas anatômicas são desejáveis, inclusive para o retorno háptico.

Em uma fase inicial, a detecção de colisão foi implementada utilizando recursos disponibilizados pela API Java 3D e objetos 3D esferas, posicionados em pontos estratégicos dos objetos que representam as estruturas anatômicas. Esta abordagem é similar ao método de colisão *sphere-trees*, no qual o objeto virtual é envolvido por uma união sucessiva de esferas, que se aproximam ao máximo da resolução do objeto (HUBBARD, 1995). As esferas são invariantes à rotação e a colisão pode ser calculada considerando a distância entre um objeto e o centro e o raio das esferas.

Na Figura 27 pode-se visualizar os objetos 3D e objetos esferas, com a detecção de colisão ocorrendo entre o objeto que representa o instrumento odontológico e as esferas. Estas esferas são transparentes aos usuários, permanecendo invisíveis durante a interação humano-computador.

No entanto, a precisão da detecção não foi satisfatória nessa fase. Dessa forma, um dos métodos de detecção de colisão disponível no ViMeT, denominado *Octree*, foi adaptado com a inserção de uma matriz de transformação 3 x 3 para considerar a orientação/rotação, bem como a posição e a escala dos objetos virtuais. O cálculo é executado somente na etapa inicial, a etapa de carregamento dos objetos, sendo que somente a posição do objeto 3D que representa parte ou o instrumento odontológico, neste caso, a ponta da agulha,

Figura 27 - AV com as esferas em pontos estratégicos para detecção de colisão



Fonte: Autor

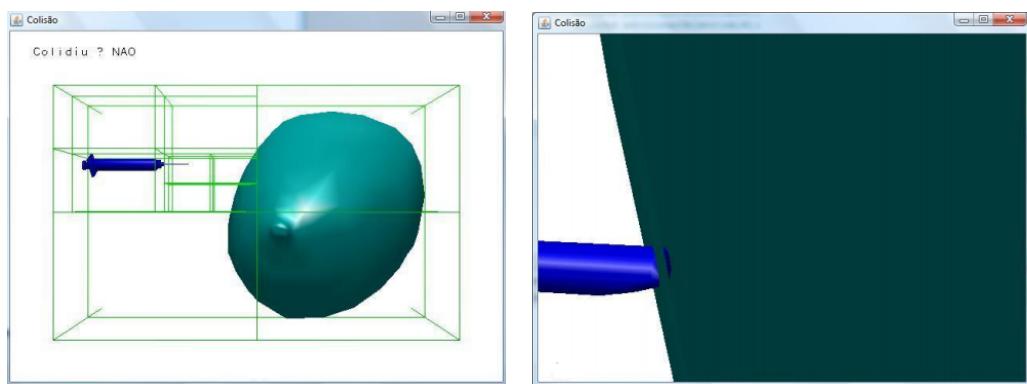
é alterada a cada iteração do processo interativo.

A implementação anterior permitia a especificação da posição e da escala, sendo que rotações deveriam ser realizadas na modelagem dos objetos, antes do carregamento no ambiente virtual. O método de detecção de colisão baseado em *Octrees* divide o ambiente virtual em 8 partes ou octantes conforme as distâncias dos objetos mais distantes no ambiente virtual e; após verificar se dois ou mais objetos estão no mesmo octante, a detecção ocorre ao nível de polígonos, analisando distâncias entre as faces dos objetos (KERA; PEDRINI; NUNES, 2011).

Na Figura 28 são apresentadas duas fases importantes da detecção de colisão, com a divisão do AV em octantes (divisões de octantes, reduzindo o espaço, podem ser necessárias) e cálculos das distâncias entre objetos; em seguida, o cálculo face a face dos dois objetos quando a distância é menor que um valor previamente definido.

Foi criada uma classe (*ParserObj*) para leitura de arquivos OBJ (formato

Figura 28 - Fases principais da detecção de colisão baseada em Octree - (a) Divisões do AV e (b) Cálculo face a face



Fonte: (KERA; PEDRINI; NUNES, 2011)

*Wavefront*), permitindo o armazenamento das posições nos três eixos (*x*, *y* e *z*) dos vértices e dos polígonos (neste caso, na forma de triângulos) dos objetos. Tal criação foi necessária devido a leitura incorreta dos polígonos dos objetos quando recursos da API Java 3D foram utilizados para esse propósito.

Com o propósito de otimizar a detecção de colisão, permitindo a distribuição do processamento em desenvolvimentos futuros, as detecções de colisão foram implementadas de acordo com os pares de objetos 3D, com somente um objeto para representar um instrumento na detecção, comum em cada par, e um outro objeto para representar uma outra estrutura anatômica, da seguinte forma: instrumento e órgão 0; instrumento e órgão 1; até instrumento e órgão *N*. Outra medida foi adicionar um objeto 3D simples ou primitivo (uma esfera ou um cubo) na ponta da agulha, de modo a limitar a detecção de colisão entre as estruturas anatômicas e este objeto; acelerando a detecção.

Na detecção de colisão, foi implementada a exibição de mensagens, indicando que objeto foi atingido e se está correto, ressaltando que nervos e ossos não podem ser atingidos, bem como a inserção deve ser executada no local correto.

### 6.1.3 Visualização

Na classe *Environment*, métodos e atributos foram adicionados para duplicar a cena e permitir a visualização com dois pontos de vista, sendo que um apresentava a parte frontal do ambiente e o outro a parte lateral. Uma solução adotada para auxiliar o usuário na percepção de profundidade enquanto os recursos de estereoscopia para visualização 3D são integrados ao *framework*.

Os métodos de adição dos objetos no ambiente foram alterados para possibilitar a aplicação de texturas aos objetos virtuais, caracterizados por arquivos de imagens. Os recursos da API Java 3D foram empregados para o mapeamento das texturas e adição de mais um ponto de vista.

Uma barra de mensagens foi adicionada na tela do sistema para auxiliar o usuário durante a interação, apresentando informações sobre o treinamento, indicando se os locais de inserção e depósito do anestésico estão corretos e que estruturas anatômicas foram atingidas pela agulha.

### 6.1.4 Objetos 3D

A classe *Object3D* foi modificada para considerar o tipo de órgão ou tecido representado pelo objeto virtual, caracterizados conforme o tipo de tecido (nervo, osso, gengiva, vasos, dentes); e de acordo com o propósito (ponto correto de inserção, ponto correto de injeção, ponto incorreto).

A modelagem dos objetos 3D, incluindo a confecção das texturas, foi realizada pelo Grupo de Odontopediatria e Design em Saúde da FOB/USP, com um trabalho rigoroso para representar com fidelidade as estruturas anatômicas. Também foi realizada a divisão dos objetos para representar cada estrutura anatômica, tais como: parte superior do crânio, mandíbula, gengiva,

dentes frontais (superiores e inferiores), dentes molares e pré-molares (superiores e inferiores), nervos, vasos sanguíneos, músculos e pele.

As texturas também receberam especial atenção, com a inclusão de detalhes, como a oleosidade da pele; bem como a utilização de imagens de um crânio real para gerar as texturas da estruturas óssea (PACCOLA, 2014). Por uma questão de utilização de recursos de memória, as imagens de texturas foram confeccionadas na resolução máxima de 2024 x 2024.

### **6.1.5 Navegação e Controle da Interação**

Com recursos nativos da API Java 3D foi possível controlar a visualização do AV, facilitando a navegação pelo ambiente com o dispositivo teclado. Para o Experimento *II*, utilizando as teclas F1 e F2, foram incluídas funcionalidades de remoção e adição do segundo ponto de vista (tecla F1); e remoção e adição de objetos 3D (tecla F2) (classe *Keyboard*).

Um *log* de interação foi adicionado com o propósito de armazenar informações sobre o processo de interação no decorrer do tempo. O *log* de interação permite armazenar informações como: nome do participante, dia e horário do início da participação, bem como os dados da interação humano-computador, posição e ângulo da agulha, objetos atingidos.

A barra de mensagens e o *log* de interação são modificados na classe de aplicação gerada (*app*) e nas classes *CollisionNewObj* e *Haptic*.

### **6.1.6 Dispositivo Háptico**

Uma adaptação do dispositivo também foi realizada, substituindo a caneta do dispositivo pela seringa Carpule (Figura 29), similar à trabalhos citados na literatura (GOKSEL et al., 2013) (GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a)

(GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b) (COLES et al., 2011a) (WANG et al., 2008) (SOUZA et al., 2008).

O próprio invólucro da agulha (material plástico) foi utilizado (Figura 3), o qual é dividido em duas partes, sendo uma para acoplamento da agulha à seringa e outra para proteção da agulha após a utilização e descarte do material. Dessa forma, a agulha da parte conectada à seringa foi retirada; e a segunda parte foi encaixada na primeira, fixada e teve a outra extremidade cortada, permitindo acoplar a seringa Carpule ao dispositivo.

Figura 29 - Adaptação do dispositivo háptico substituindo a caneta pela seringa Carpule - (a) Manipulação com a seringa, (b) Manipulação com a caneta do dispositivo, (c) Dispositivo modificado e (d) Manipulação da seringa Carpule acoplada ao dispositivo



Fonte: Autor

Na questão da implementação para controle do dispositivo, as classes *Haptic* e *NativeHaptic* foram alteradas. A primeira para incluir o retorno de força, a verificação do ângulo de inserção e as mensagens visuais sobre o desempenho do usuário quanto ao ângulo. A Lei de Hooke foi empregada,

considerando uma constante de resistência  $K$  para cada tipo de órgão ou tecido virtual representados por objetos 3D e o deslocamento da agulha. A resistência pode ser modificada pelos usuários em uma etapa de calibração do sistema.

A segunda para adicionar um novo método para aquisição de informações sobre o ângulo do braço do dispositivo. Uma interface entre as linguagens de programação Java e C foi necessária, por isso, a API JNI. Por meio da API JNI é possível especificar métodos na linguagem de programação Java para acionar funções nas linguagens C/C++, o que foi implementado para acessar comandos da biblioteca *OpenHaptics Toolkit*, que por sua vez, permite o controle do dispositivo háptico, recebendo dados (posição, orientação, matriz de transformação 4 x 4, velocidade de movimento, controle de erros) e enviando dados (força de retorno, inicialização e finalização da comunicação com o dispositivo).

## 6.2 Versões para Testes do Sistema

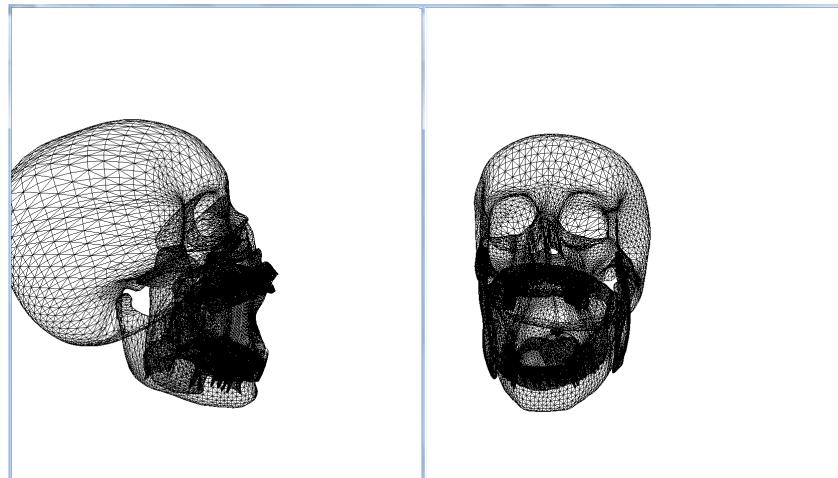
Diversas versões do sistema de simulação foram geradas para a realização dos experimentos, com alterações na aparência dos objetos (cor e textura) e número de pontos de vista (1 ou 2).

Na Figura 30 é mostrada a primeira versão do AV, com 2 pontos de vista e objetos em aramado.

Na Figura 31 pode-se observar a versão do AV utilizada no Experimento *I*, com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores.

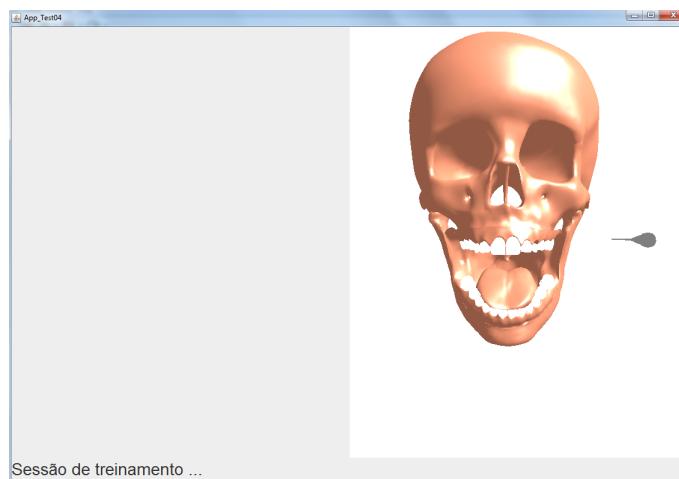
Na Figura 32 é mostrada a versão do AV utilizada no Experimento *I*, com 1 ponto de vista e objetos 3D com texturas.

Figura 30 - AV utilizado no teste informal - 2 Pontos de vista e *Wireframe*



Fonte: Autor

Figura 31 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores - Experimento I



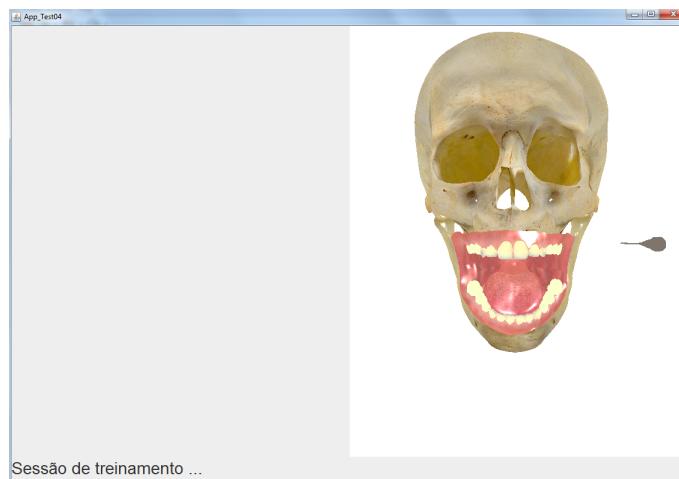
Fonte: Autor

Na Figura 33 é mostrada a versão do AV utilizada no Experimento I, com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores.

Na Figura 34 é apresentada a versão do AV utilizada no Experimento I, com 2 pontos de vista e objetos 3D, bem como as texturas mapeadas sobre os objetos.

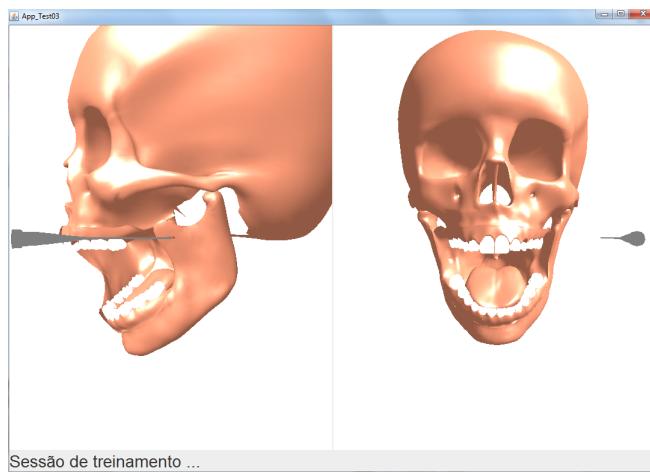
Na Figura 35 é mostrada a versão do AV utilizada no Experimento II, com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores.

Figura 32 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com texturas - Experimento I



Fonte: Autor

Figura 33 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores - Experimento I



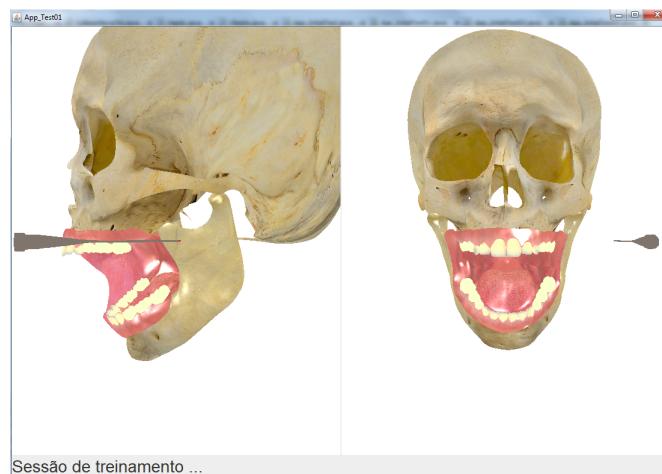
Fonte: Autor

Na Figura 36 é apresentada a versão do AV utilizada no Experimento II, com 1 ponto de vista e objetos 3D, bem como as texturas mapeadas sobre os objetos.

Na Figura 37 pode-se notar a versão do AV utilizada no Experimento II, com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores.

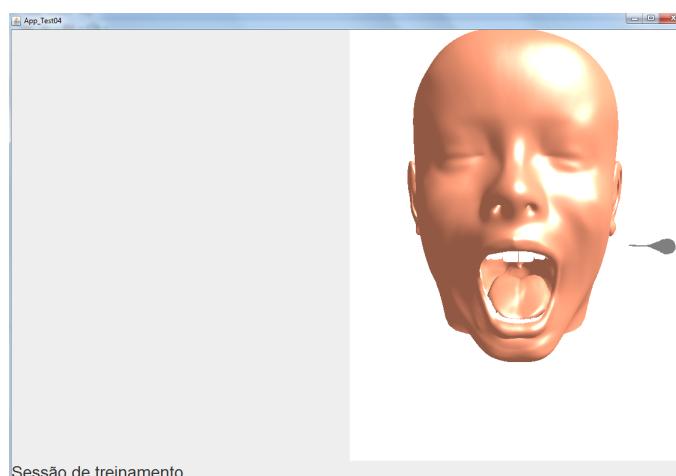
Na Figura 38, pode-se observar a versão do AV utilizada no Experimento II, com 2 pontos de vista e objetos 3D com suas respectivas texturas.

Figura 34 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com texturas - Experimento I



Fonte: Autor

Figura 35 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com cores - Experimento II

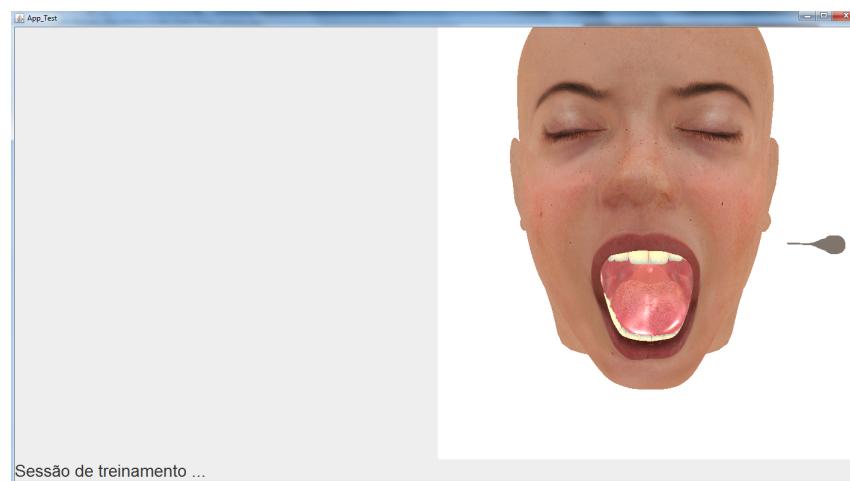


Fonte: Autor

### 6.3 Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação Hápatica

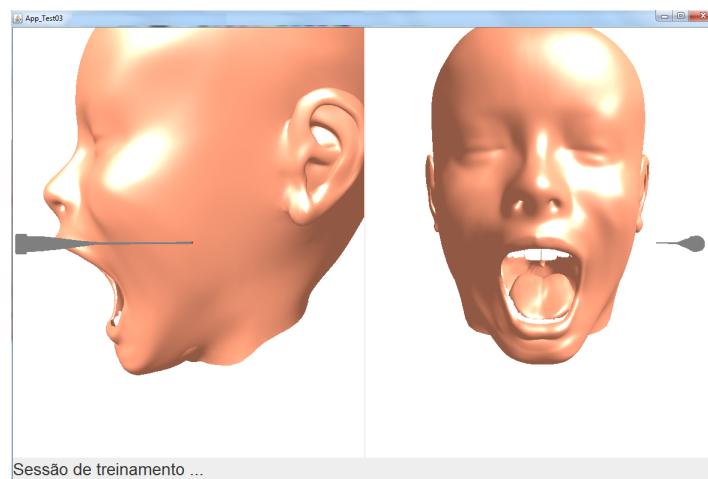
Com o intuito de auxiliar nos testes da interação hápatica, reduzindo a dependência de testes subjetivos a cada aperfeiçoamento do sistema e elevando a precisão das avaliações, métricas objetivas perceptuais foram estudadas. Futuramente, métricas objetivas envolvendo aspectos visuais e hapticos devem ser elaboradas, pois a influência de ambos na interação humano-

Figura 36 - AV com 1 ponto de vista e objetos 3D com texturas - Experimento II



Fonte: Autor

Figura 37 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com cores - Experimento II



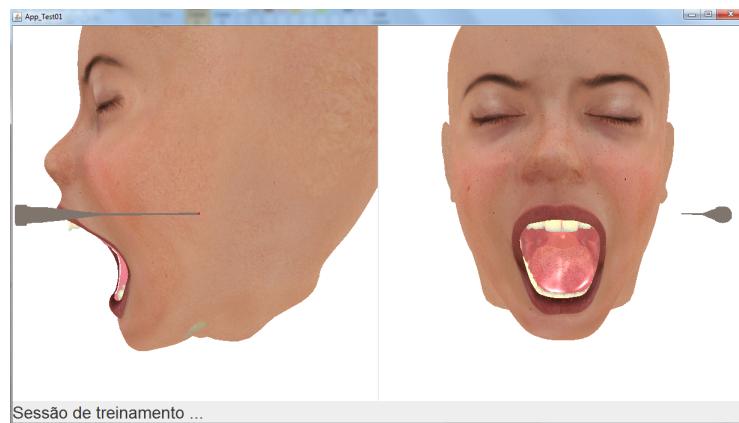
Fonte: Autor

computador é evidente, no entanto, primeiramente foram analisadas métricas voltadas à interação háptica.

Para análise da interação, a métrica  $HPWPSNR$  com a formulação matemática foi selecionada, visto que a métrica  $PMSE$  ainda não é familiar, especialmente no que se refere sobre a forma de obtenção da constante  $c$ .

A tarefa de inserção de agulha, importante em procedimentos de aplicação

Figura 38 - AV com 2 pontos de vista e objetos 3D com texturas - Experimento II



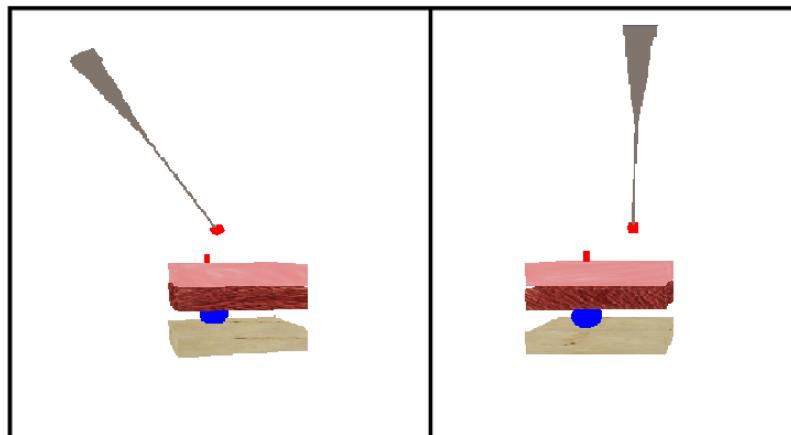
Fonte: Autor

de anestesia, foi selecionada para análise. Essa tarefa foi dividida em partes, denominadas eventos e transições. Os eventos elencados foram: movimento livre (sem proximidade entre agulha e tecido), contato (contato entre agulha e tecido), perfuração (agulha atravessando um tecido) e extração (agulha retornando para o movimento livre). As transições, que representam momentos entre eventos, foram: pré-contato (há proximidade entre agulha e tecido, mas não há contato) e ruptura (o tecido é atravessado ou perfurado pela agulha, podendo atingir um outro tecido).

Embora existam diversos atributos hapticos (posição, orientação, força e torque), somente o de posição foi analisado. Para os testes da métrica, um sistema de simulação paralelo foi criado, com objetos virtuais simplificados (esferas e cubos). Na Figura 39, o AV é mostrado.

Os valores de distorções do atributo posição poderiam ser controlados (evento ou transição em que a distorção ocorreu, magnitude e frequência). Magnitude e Frequência são terminologias criadas para o presente trabalho. A magnitude é determinada por valores em milímetros e representa a diferença entre a posição capturada e a posição renderizada haptica e visualmente,

Figura 39 - AV para análise da métrica



Fonte: Autor

podendo esta última conter uma distorção. Alguns valores adotados para a magnitude foram 0 (sem distorção), 0,05 mm (com distorção mínima - imperceptível (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007)) e 0,9 mm (com alta distorção - perceptível (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007)). A frequência representa alterações da magnitude durante a interação humano-computador, classificadas em *Constante* (a magnitude assume um valor diferente de 0 no início da interação, o qual é mantido até o final); *Variável* (a magnitude assume valor diferente de 0 em um curto período de tempo, após o início da interação, retornando ao valor 0); e *Variável e Constante* (a magnitude assume um valor diferente de 0, que é mantido constante por um período de tempo relativamente longo, após o início da interação).

### 6.3.1 Formulação da métrica objetiva perceptual para avaliação de interação háptica

Para elaborar a nova métrica, denominada  $PSNR_{HPW}^{Task}$ , a base foi a própria métrica  $HPWPSNR$  (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007). A métrica  $HPWPSNR$  foi alterada adicionando uma média de diversos  $MSEs$  com pesos  $w_r$  distintos para cada evento  $Er$  e transição  $Tr$ , denotando  $\frac{1}{U}((w_1.MSE_1) + (w_2.MSE_2) + \dots)$

$+ (w_r.MSE_r)$ ), sendo  $r \leq S$ . A notação  $S$  representa o número de eventos e transições;  $r$  é um número único para evento ou transição, de forma crescente a partir de 1;  $U$  é o número de eventos  $E_r$  e transições  $T_r$  cujos pesos são diferentes de 0.

Por exemplo, no caso de dois eventos (somente um evento relevante) e uma transição (altamente relevante):

$$MSE_1^{E1} = \frac{1}{|E1_{final}|} \sum_{n=E1_{initial}}^{E1_{final}} (attr[n] - orig\_attr[n])^2, w_1 = 0, 0$$

$$MSE_2^{T1} = \frac{1}{|T1_{final}|} \sum_{n=T1_{initial}}^{T1_{final}} (attr[n] - orig\_attr[n])^2, w_2 = 2, 5$$

$$MSE_3^{E2} = \frac{1}{|E2_{final}|} \sum_{n=E2_{initial}}^{E2_{final}} (attr[n] - orig\_attr[n])^2, w_3 = 0, 5$$

$$MSEs = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^3 w_r.MSE_r, S = 3 \text{ and } U = 2 \quad (6.1)$$

onde *initial* e *final* são subconjuntos do conjunto  $N$ , estabelecidos previamente de acordo com eventos e transições da interação háptica, não necessariamente sequenciais, visto que eventos e transições podem ser repetidos.

Nas Tabelas 2 e 3 são mostradas as relações entre os atributos hapticos e os eventos e transições definidos para a tarefa de inserção de agulha. As notações especificadas são:  $E$  (evento),  $T$  (transição),  $pos$  (posição),  $ori$  (orientação),  $vel$  (velocidade),  $for$  (força),  $tor$  (torque) e  $n$  (outro atributo).

Os pesos devem ser atribuídos de acordo com a importância de eventos e transições e distorções (intensidade e frequência), distribuídos entre eventos e transições, especificadas por especialistas em testes subjetivos. A nova

Tabela 2 - Relação entre atributos hápticos e eventos da tarefa de inserção de agulha

Atributos	Movimento livre (1)	Contato (2)	Perfuração (3)
<b>Posição (3D)</b>	$w_1^{E_{pos}}.MSE_1^{E_{pos}}$	$w_2^{E_{pos}}.MSE_2^{E_{pos}}$	$w_3^{E_{pos}}.MSE_3^{E_{pos}}$
<b>Orientação (3D)</b>	$w_1^{E_{ori}}.MSE_1^{E_{ori}}$	$w_2^{E_{ori}}.MSE_2^{E_{ori}}$	$w_3^{E_{ori}}.MSE_3^{E_{ori}}$
<b>Velocidade (3D)</b>	$w_1^{E_{vel}}.MSE_1^{E_{vel}}$	$w_2^{E_{vel}}.MSE_2^{E_{vel}}$	$w_3^{E_{vel}}.MSE_3^{E_{vel}}$
<b>Força (3D)</b>	$w_1^{E_{for}}.MSE_1^{E_{for}}$	$w_2^{E_{for}}.MSE_2^{E_{for}}$	$w_3^{E_{for}}.MSE_3^{E_{for}}$
<b>Torque (3D)</b>	$w_1^{E_{tor}}.MSE_1^{E_{tor}}$	$w_2^{E_{tor}}.MSE_2^{E_{tor}}$	$w_3^{E_{tor}}.MSE_3^{E_{tor}}$
<b>Atributo <i>n</i></b>	$w_1^{E_n}.MSE_1^{E_n}$	$w_2^{E_n}.MSE_2^{E_n}$	$w_3^{E_n}.MSE_3^{E_n}$

Fonte: Autor

Tabela 3 - Relação entre atributos hápticos e transições da tarefa de inserção de agulha

Atributos	Pré-contato (4)	Ruptura (5)
<b>Posição (3D)</b>	$w_4^{T_{pos}}.MSE_4^{T_{pos}}$	$w_5^{T_{pos}}.MSE_5^{T_{pos}}$
<b>Orientação (3D)</b>	$w_4^{T_{ori}}.MSE_4^{T_{ori}}$	$w_5^{T_{ori}}.MSE_5^{T_{ori}}$
<b>Velocidade (3D)</b>	$w_4^{T_{vel}}.MSE_4^{T_{vel}}$	$w_5^{T_{vel}}.MSE_5^{T_{vel}}$
<b>Força (3D)</b>	$w_4^{T_{for}}.MSE_4^{T_{for}}$	$w_5^{T_{for}}.MSE_5^{T_{for}}$
<b>Torque (3D)</b>	$w_4^{T_{tor}}.MSE_4^{T_{tor}}$	$w_5^{T_{tor}}.MSE_5^{T_{tor}}$
<b>Atributo <i>n</i></b>	$w_4^{T_n}.MSE_4^{T_n}$	$w_5^{T_n}.MSE_5^{T_n}$

Fonte: Autor

métrica é mostrada na equação 6.2.

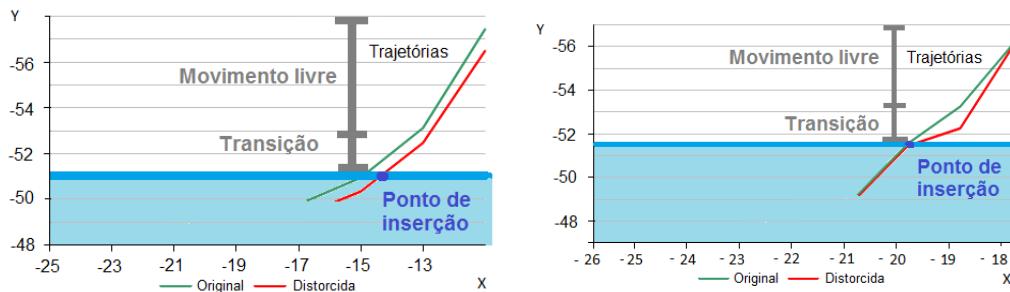
$$PSNR_{HPW}^{Task} = 10 \cdot \log_{10} \frac{(|attr_{max} - attr_{min}|)^2}{\left( \frac{1}{U} \sum_{r=1}^{r \leq S} w_r.MSE_r.HPW_r \right)} \quad (6.2)$$

## 6.4 Versões para Testes da Métrica Objetiva

Diversas versões do sistema paralelo foram geradas, inserindo valores de distorções do atributo posição, que poderiam ser controlados (evento ou transição em que a distorção ocorreu, magnitude e frequência). Uma versão sem qualquer distorção também foi gerada.

Na Figura 40 são apresentados dois cenários, sendo (a) com distorção de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Constante* durante todas as etapas da tarefa e (b) com distorção de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável* no pré-contato.

Figura 40 - Cenários com duas distorções - Experimento I - (a) Durante todo o processo interativo de  $Magnitude > JND(position)$  *Frequência Constante* e (b) No pré-contato de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável*

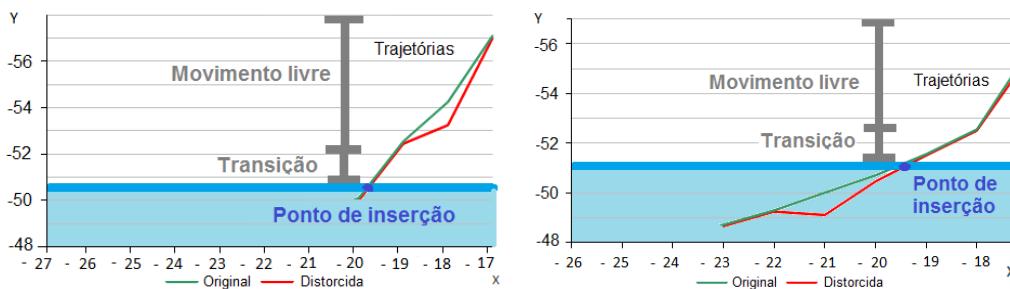


Fonte: Autor

A configuração mostrada na Figura 40 (b) foi utilizada no Experimento II.

Na Figura 41 são mostrados dois cenários: (a) distorção de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável* no movimento livre e (b)  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável* na perfuração.

Figura 41 - Cenários com diferentes distorções no pré-contato e na perfuração - Experimento II - (a) Distorção durante o movimento livre de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável* e (b) Distorção na perfuração de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável*

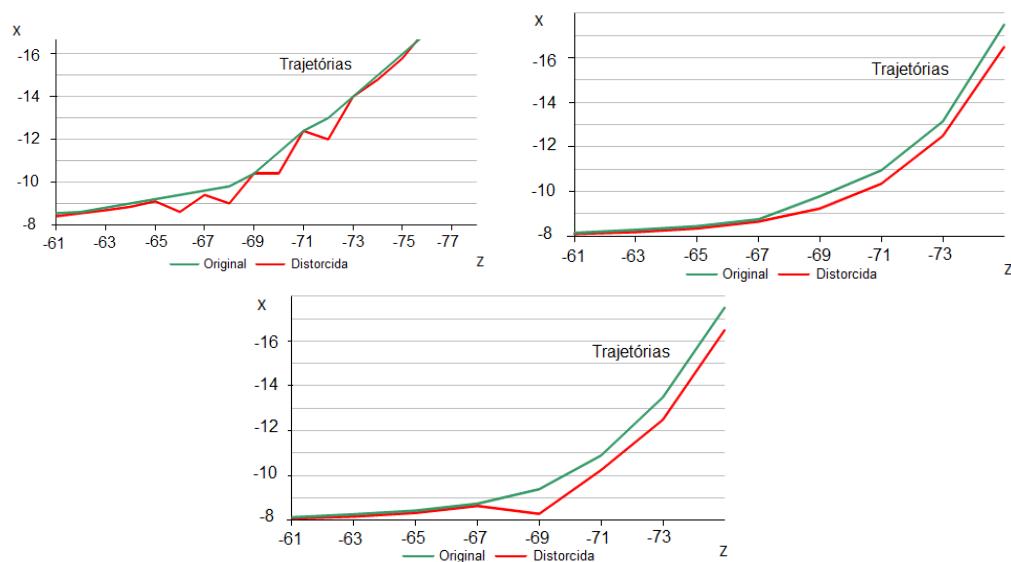


Fonte: Autor

Na Figura 42 são apresentados cenários com diferentes distorções no movimento livre: (a) diversas distorções com  $Magnitude > JND(position)$

- *Frequência Variável* no mesmo evento, (b) distorção com  $Magnitude = JND(position)$  - *Frequência Variável e Constante* e (c) distorção com  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável e Constante*.

Figura 42 - Cenários com diferentes distorções no movimento livre - Experimento II - (a) Distorção em forma de oscilações ou  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável*, (b) Constante distorção após uma baixa intensidade ou  $Magnitude = JND(position)$  - *Frequência Variável e Constante* e (c) Constante distorção após uma alta intensidade ou  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável e Constante*



Fonte: Autor

Os cenários mostrados na Figura 42 (b) e (c) foram utilizados para analisar se a percepção permanece constante após a permanência da distorção.

## 7 EXPERIMENTOS

Dois experimentos com duas etapas cada um deles, foram planejados e realizados nas dependências do LaSiT/FOB/USP, nos períodos de 5 de agosto a 7 de agosto de 2014; e de 15 de setembro a 19 de setembro do mesmo ano, com o aval do Comitê de Ética em Pesquisa da FOB/USP - ApêndiceC.. Cada experimento foi dividido segundo dois objetivos: análise da interação humano-computador em termos de realismo e verificação da viabilidade de métricas objetivas perceptuais para avaliação da interação háptica, comparando com dados perceptuais do mundo real. O realismo foi definido como as opiniões dos usuários da área de Odontologia, formadas pela associação subjetiva entre real e virtual.

A hipótese principal a ser comprovada para a análise da interação é que, mesmo com certas limitações - visuais e hápticas, a interação humano-computador pode oferecer um realismo adequado para o treinamento. Para a métrica, a hipótese consiste na dependência do contexto e da espécie de erro para formular formas objetivas de avaliação da interação háptica.

As limitações tecnológicas que poderiam inviabilizar a interação humano-computador realista para simular o procedimento, consistiram na posição do monitor de vídeo, visto que o paciente é colocado em uma posição de inclinação de 130 graus ou deitado; do dispositivo háptico adotado, o *Workspace* (160 x 120 x 70 mm para x, y e z) pode ser reduzido para os movimentos

com a seringa/agulha durante a inserção da agulha, força máxima de retorno (aproximadamente 3,3 N) pode ser insuficiente para simular as resistências das estruturas anatômicas virtuais, formato do dispositivo, principalmente da caneta de manipulação, que não é semelhante ao instrumento odontológico (seringa Carpule).

Nos dois experimentos, as duas tarefas foram semelhantes, sendo executadas em AVs com objetos 3D diferentes. Uma das tarefas era manipular a agulha virtual por meio do dispositivo haptico, procurando atingir a região externa ao forame da mandíbula, lado direito do paciente, com o intuito de anestesiar o nervo alveolar inferior direito (local correto de inserção). Outros parâmetros foram considerados, tais como: ângulo de inserção e profundidade correta atingida ou local correto de injeção do anestésico.

A outra tarefa consistia na manipulação da agulha virtual por meio do dispositivo haptico, procurando atingir uma esfera entre os cubos, no entanto, a inserção da agulha deveria ser pela parte superior dos cubos. As mensagens visuais de orientação, indicando erros e acertos, não foram exibidas no AV para esta tarefa.

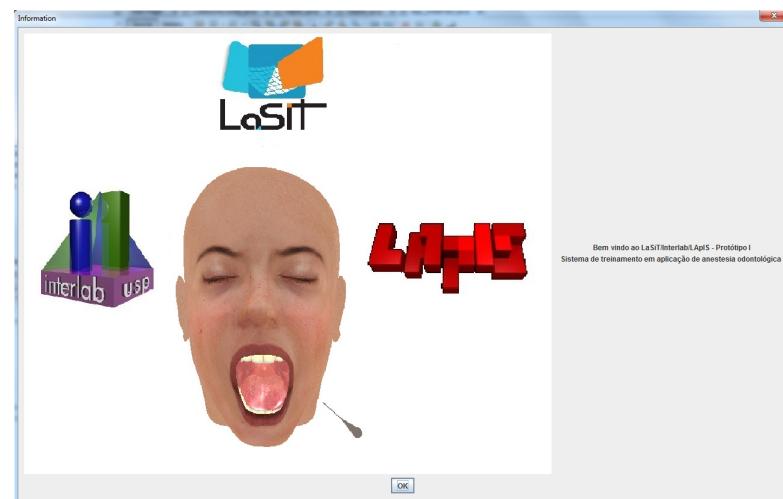
Na Figura 43 é mostrada a tela inicial de todas as versões do sistema de treinamento, exceto nas versões configurada com objetos 3D simples.

Na Figura 44 é apresentada a tela de registro do usuário, sendo obrigatória a inserção de um nome, o qual poderia conter quaisquer tipos de caracteres.

Na Figura 45 pode-se observar um sujeito manipulando a seringa Carpule acoplada ao dispositivo haptico com o objetivo de inserir a agulha no local correto, como parte do procedimento de anestesia do nervo alveolar inferior direito do paciente virtual.

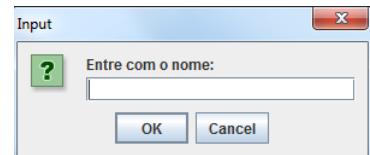
Nos dois experimentos, o cenário sem distorção foi usado primeiramente e

Figura 43 - Tela inicial do sistema de treinamento utilizado nos experimentos



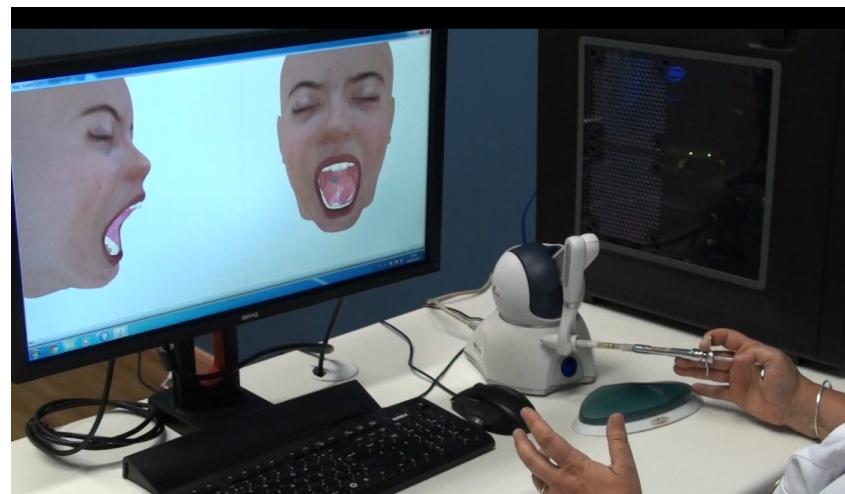
Fonte: Autor

Figura 44 - Tela para registro de usuário



Fonte: Autor

Figura 45 - Sujeito participando dos testes



Fonte: Autor

os outros foram utilizados aleatoriamente. Como no Experimento *II* eram dois cenários sem distorção, o segundo também foi realizado de forma aleatória no conjunto dos cenários com distorções. Nos experimentos, as versões para as avaliações de sistema e métrica foram agrupadas separadamente, sendo que o sistema foi avaliada primeiramente.

Os recursos de navegação e controle do sistema por meio do teclado não foram utilizados pelos sujeitos, ficando a cargo do pesquisador responsável os comandos para adequação do sistema às preferências dos sujeitos, indicadas verbalmente durante a interação. Por exemplo, no Experimento *II*, os sujeitos preferiram a remoção da pele, deixando visível dentes, mandíbula e gengiva (Figura 56), visto que no procedimento real os dentistas afastam a bochecha do paciente com uma das mãos para uma melhor visualização, funcionalidade ainda não implementada.

A presença de especialistas foi registrada somente no primeiro experimento e a presença de iniciantes sem nenhuma experiência foi registrada no segundo experimento. Os tempos dos sujeitos para completar os testes, incluindo o preenchimento do questionários, variaram entre 45 minutos e 90 minutos. Os sujeitos optaram preencher o questionário, incluindo as informações sobre o perfil, ao final dos testes.

Os valores de *K* para simulação de resistências e retorno háptico no contato entre agulha e estruturas anatômicas, no primeiro experimento foram de 1,5 (para ossos e dentes) e 1,0 (para as demais estruturas anatômicas). No segundo experimento, os valores foram de 0,15 (para ossos e dentes) e 0,09 (para as demais estruturas).

A penúltima pergunta do questionário foi verbalmente alterada durante os experimentos, acrescentando o ponto do procedimento ser realizado com o paciente deitado ou em uma posição de inclinação de 130 graus.

## 7.1 Sistema

No Experimento *I*, 6 sujeitos participaram das baterias de testes, incluindo professores (aproximadamente 33,3%), pós-graduandos (aproximadamente 33,3%) and graduandos (aproximadamente 33,3%), sendo 4 homens e 2 mulheres, destros, com uma média de idade de 29,5 anos e uma média de experiência em cerca de 8,4 anos na realização do procedimento de anestesia para bloqueio do nervo alveolar inferior. Somente um participante declarou experiência com sistemas de RV, incluindo a utilização de dispositivo háptico.

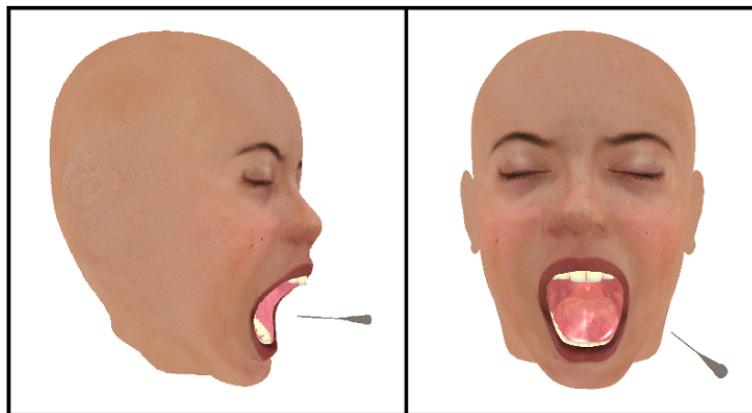
O Experimento *II* teve a participação de 20 sujeitos, incluindo novatos sem experiência prévia (25,0% - 1º ano do curso de Odontologia), sendo 4 homens e 16 mulheres, destros, com pós-graduandos (40,0%) e graduandos (60,0%), uma média de 21 anos de idade e uma experiência média em relação à execução do procedimento de anestesia de aproximadamente 1,2 anos. Somente um participante declarou experiência com sistemas de RV, porém, sem a utilização de dispositivo háptico.

Um teste preliminar, de caráter informal, foi realizado no ano de 2013 e incluiu a visualização em *wireframe*. Na Figura 30 é apresentada a tela do sistema, a qual não agradou aos usuários.

Para os testes formais, no Experimento *I* foram utilizadas as versões apresentadas nas Figuras 31, 32, 33 e 34. No Experimento *II* foram utilizadas as versões apresentadas nas Figuras 35, 36, 37 e 38.

No Experimento *II*, as estruturas anatômicas foram complementadas com objeto virtual que representava a pele do paciente, o qual poderia ser removido ou adicionado pelo próprio usuário durante a interação. Essa funcionalidade de remoção e adição foi adicionada para dirimir uma limitação do sistema (não faz parte do escopo da tarefa selecionada), pois no ambiente real os profissi-

Figura 46 - AV utilizado no Experimento *II* - 2 Pontos de vista e Textura



Fonte: Autor

onais da área afastam a bochecha com uma das mãos enquanto manipula a seringa, para visualizar o ponto correto de inserção.

Para o Experimento *II*, as resistências *k* foram alteradas baseadas nas opiniões dos usuários do Experimento *I*, com a redução de valores. Na Figura 46, a tela do ambiente virtual é mostrada com o objeto pele, textura e dois pontos de vista.

## 7.2 Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação da Interação Hápatica

No Experimento *I*, os mesmos 6 sujeitos que avaliaram a interação proporcionada pelo sistema, participaram da análise de viabilidade da métrica.

O Experimento *II* foi conduzido com 12 sujeitos, incluindo participantes sem experiência prévia (33,3% - 1º ano do curso de odontologia), sendo 4 homens e 8 mulheres, destros, incluindo pós-graduandos (25,0%) e graduandos (75,0%), com uma média de 21,4 anos de idade e uma experiência média em relação ao procedimento de anestesia de aproximadamente 1,9 anos. Somente um participante declarou experiência com sistemas de RV, porém, sem

a utilização de dispositivo háptico.

No primeiro experimento, três cenários foram simulados: um sem qualquer distorção e dois com distorções considerando diferentes frequências e altas magnitudes, sendo um com a distorção em uma etapa determinada como importante para a tarefa (Figura 40). No segundo experimento, sete cenários foram simulados, sendo dois sem qualquer tipo de distorção e cinco com distorções, conforme as Figuras 40 (b) (repetindo cenário do primeiro experimento), 41 (distorções em uma etapa de pouca relevância e em uma etapa relevante, com frequências semelhantes) e 42 (distorções com oscilações, variações com alta e baixa magnitudes, em etapas de pouca relevância, com diferentes frequências).

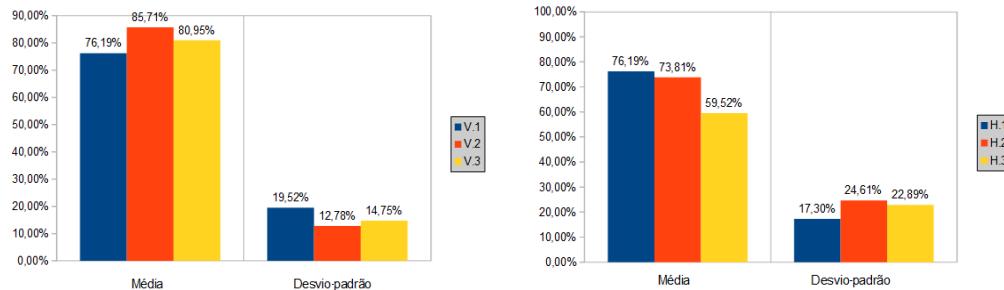
## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados isoladamente para a análise da interação (aspectos visual e háptico) e validação da métrica (atributo de posição), conforme os objetivos dos experimentos. As notações utilizadas no presente capítulo: *V.Número inteiro*, indica questões associadas ao aspecto visual e *H.Número inteiro*, questões associadas ao aspecto háptico.

Dessa forma, as notações *V* são: V.1 Os objetos 3D virtuais são realistas com relação à aparência; V.2 Os objetos 3D virtuais são realistas com relação à escala; V.3 Os objetos 3D virtuais são realistas com relação à posição dos modelos no ambiente.

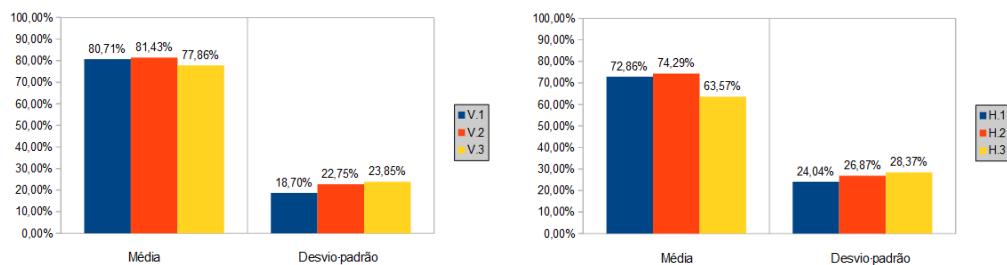
As notações *H* são H.1 Os movimentos do dispositivo foram precisos - relação entre movimento, velocidade da seringa/agulha virtual **E** movimento e velocidade do braço do dispositivo háptico no mundo real; H.2 O espaço 3D de movimentação do dispositivo é suficiente - amplitude do braço do dispositivo durante a manipulação; H.3 O retorno háptico foi realista - resistência o dispositivo quando a agulha-seringa entra em contato com alguma estrutura anatômica.

Figura 47 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Todos os participantes do Experimento I - (a) Visual e (b) Hápatico



Fonte: Autor

Figura 48 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Todos os participantes do Experimento II - (a) Visual e (b) Hápatico



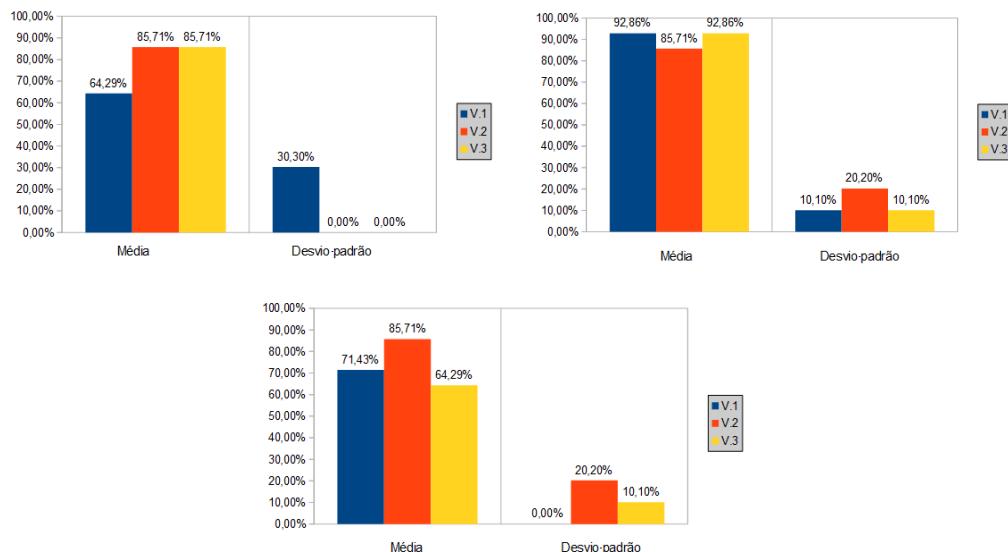
Fonte: Autor

## 8.1 Análise da Interação

Na Figura 47 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual e as três questões do aspecto háptico, considerando todos os participantes do Experimento I.

Na Figura 48 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual e as três questões do aspecto háptico, considerando todos os participantes do Experimento II.

Figura 49 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento I - (a) Novatos, (b) Médios e (c) Especialistas



Fonte: Autor

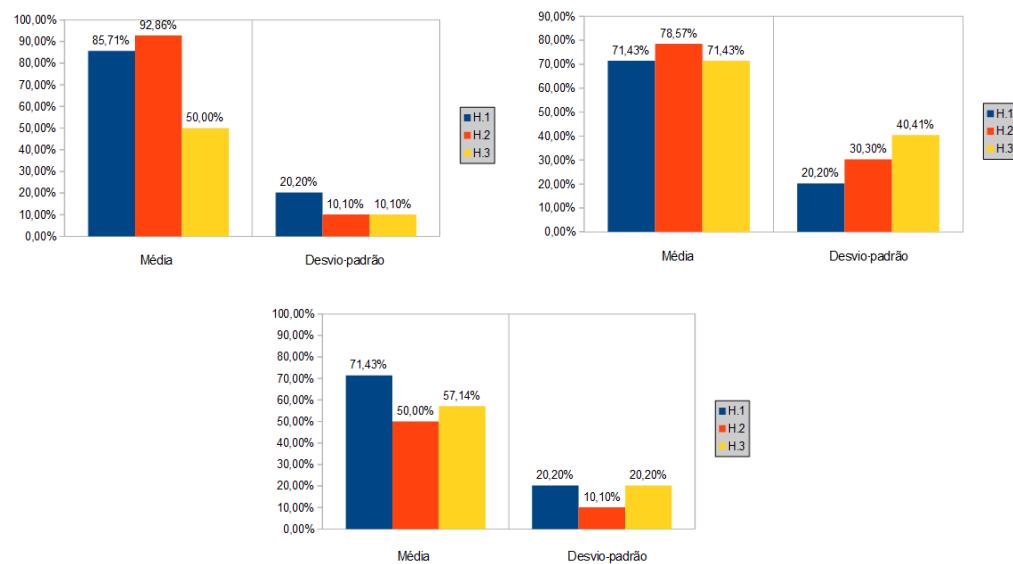
Na Figura 49 pode-se notar as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual, considerando os participantes do Experimento I, divididos de acordo com o nível de especialidade.

Na Figura 50 pode-se observar as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto háptico, considerando os participantes do Experimento I, divididos de acordo com o nível de especialidade.

Na Figura 51 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual, considerando os participantes do Experimento II, divididos de acordo com o nível de especialidade.

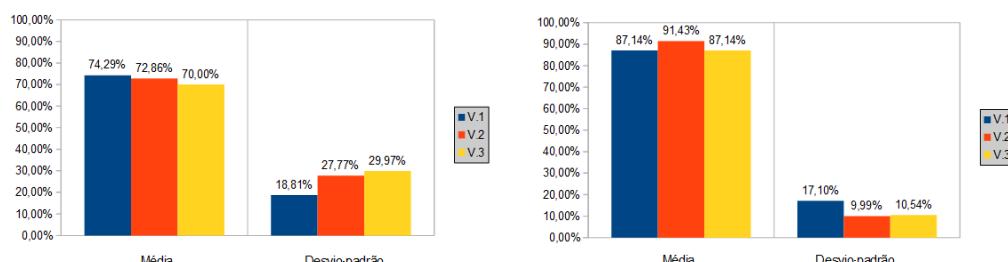
Na Figura 52 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto háptico, considerando

Figura 50 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos hápticos em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento I - (a) Novatos, (b) Médios e (c) Especialistas



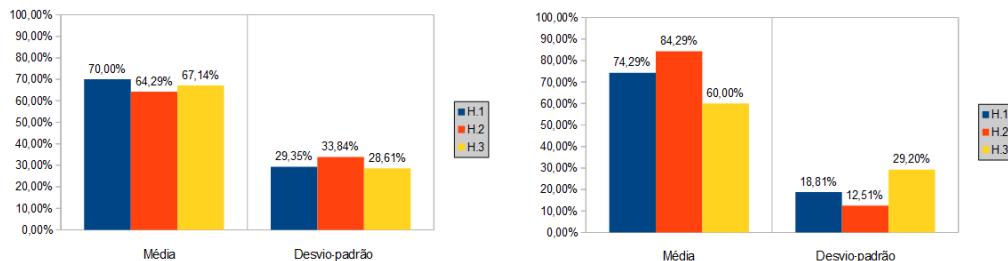
Fonte: Autor

Figura 51 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento II - (a) Novatos e (b) Médios



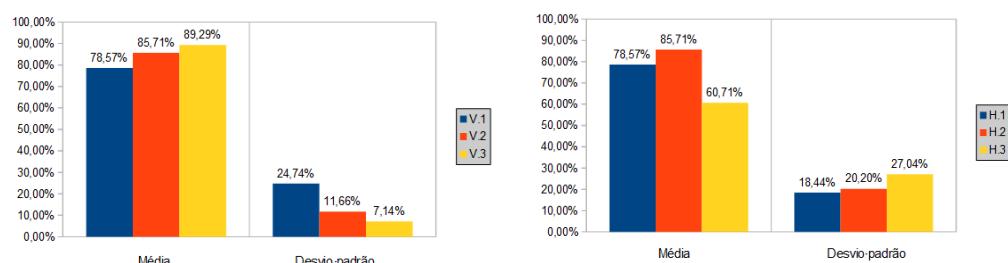
Fonte: Autor

Figura 52 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos hápticos em porcentagens - Os participantes agrupados por nível de especialidade que participaram do Experimento II - (a) Novatos e (b) Médios



Fonte: Autor

Figura 53 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Os participantes dos grupos Novatos e Médio que participaram do Experimento I - (a) Visual e (b) Hápatico



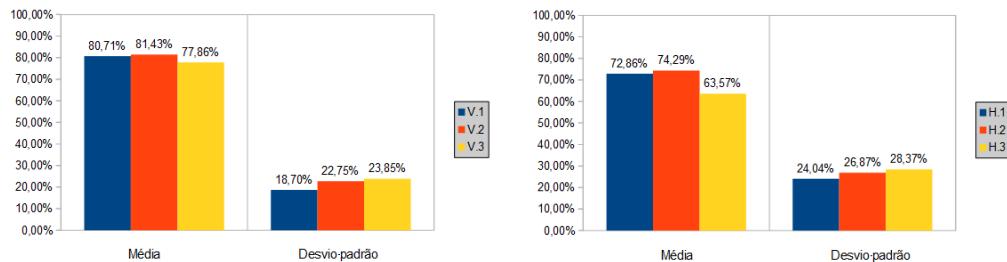
Fonte: Autor

os participantes do Experimento II, divididos de acordo com o nível de especialidade.

Como no segundo experimento não ocorreu a participação de usuários de nível especialista, as médias foram agrupadas para novatos e médios. Na Figura 53 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual, considerando os participantes do Experimento I, dos níveis de especialidade novato e médio.

Na Figura 54 são apresentadas as médias e desvios-padrão (em porcentagens) dos resultados para as três questões do aspecto visual, considerando os participantes do Experimento II, dos níveis de especialidade novato e médio, semelhante ao grupo com todos os participantes para o mesmo experimento,

Figura 54 - Médias e desvios-padrão dos resultados para os aspectos visuais e hápticos em porcentagens - Os participantes dos grupos Novatos e Médio que participaram do Experimento II - (a) Visual e (b) Hápítico



Fonte: Autor

Figura 55 - Comparação do comprimento entre os instrumentos acoplados ao dispositivo (seringa Carpule e caneta original)



Fonte: Autor

visto que somente novatos e médios participaram do Experimento II.

Na Figura 55 são apresentadas a seringa Carpule e a caneta do dispositivo háptico, para a comparação do comprimento de ambas. O comprimento maior da seringa Carpule não prejudicou os movimentos, no entanto, a maioria dos participantes dos dois experimentos preferiram a seringa. Tal preferência pode estar associada ao fato da seringa ser o instrumento utilizado pelos dentistas para aplicação da anestesia.

Considerando individualmente os conjuntos analisados e apresentados nas figuras, o aspecto visual obteve somas das médias mais elevadas que o aspecto háptico. Observou-se que os participantes do primeiro experimento

eram mais experientes que os do segundo. Neste caso, experiência é o tempo de execução do procedimento de anestesia do nervo alveolar inferior, sendo 8,2 e 1,5 anos para primeiro e segundo experimentos, respectivamente. Deve-se ressaltar que os próprios participantes informaram seu nível de especialidade, não sendo encontradas divergências entre os níveis para cada experimento individualmente, visto que os tempos de experiência dos novatos foram inferiores aos dos médios, cujos tempos foram inferiores aos tempos dos especialistas; diversos novatos sem nenhuma experiência participaram do segundo experimento.

No Experimento *I*, no que diz respeito aos aspectos visuais e hápticos para todos os participantes, a menor média foi atribuída ao retorno háptico (59,9%), semelhante ao Experimento *II* (média de 63,6%). Considerando os níveis de especialidade, destaque para as médias baixas relativas ao retorno háptico (H.3), principalmente no caso dos novatos (50%); e as médias baixas para o *Workspace* do dispositivo (H.2), no caso dos especialistas (50%).

Uma análise foi elaborada agrupando dois níveis de especialidade para ambos experimentos (novatos e médios), visto que especialistas não participaram do segundo experimento. O grupo do primeiro experimento atribui notas mais elevadas para a maior parte das questões, com exceções para a aparência dos objetos 3D (V.1) e retorno háptico (H.3).

O máximo de força (3,3 N), contrariando o pressuposto de insuficiência para a realização de procedimentos de anestesia odontológica; segundo os participantes, valores menores que 3,3 N são suficientes, mesmo considerando as resistências das estruturas anatômicas ósseas.

O *Workspace* do dispositivo háptico foi considerado insuficiente para determinados participantes, limitando seus movimentos. Algumas soluções incluem a inicialização da agulha mais próxima dos objetos 3D ou a inversão

dos espaços  $x$  e  $z$ , visto que a amplitude no eixo  $x$  é maior. Neste caso, o equipamento deve ser rotacionado na sua base, pois os valores do eixo  $x$  do dispositivo seriam responsáveis pelos movimentos no eixo  $z$  da agulha virtual.

Aplicando o teste ANOVA - Dois Fatores para analisar os efeitos do fator Interação (composto pelos grupos Visual e Háplico, que por sua vez, constituem a soma das médias das respostas V.1, V.2, V.3 e H.1, H.2, H.3, respectivamente) e do fator Nível de Especialidade (composto pelos grupos Novato, Médio e Especialista no primeiro experimento; e Novato e Médio no segundo experimento) na satisfação dos participantes, foram obtidas diferenças significativas somente no Experimento *II*, para efeitos principais de Interação ( $F(1, 38) = 2,89 - p = 0,097$ ) e Nível de Especialidade ( $F(1, 38) = 3,81 - p = 0,0582$ ). Não foram identificados quaisquer efeitos no Experimento *I* e efeitos de interação no Experimento *II* (Interação \* Nível de Especialidade).

Sobre entendimento das tarefas a serem desempenhadas no AV, a média foi de 97,0% em ambos experimentos. No caso de sensações de cansaço durante a participação, as médias foram de 24,3 e 31,0% para os experimentos *I* e *II*, respectivamente. A posição do monitor foi satisfatória para a maioria dos participantes (95 e 97% de médias, no primeiro e no segundo experimento, respectivamente).

### **8.1.1 Preferências dos Participantes**

No que se refere as preferências dos participantes, em ambos experimentos, textura, dois pontos de vista e dispositivo háptico adaptado com a seringa Carpule tiveram um maior número de votos. As formas de treinamento que contam com colegas e pacientes foram a maioria, sendo que um usuário relatou a utilização de uma peça animal (uma língua bovina).

No Experimento *I*, 100% dos participantes optaram pela aparência dos objetos 3D com textura e a seringa Carpule como instrumento; no caso do número de pontos de vista, 83,0 optaram por dois pontos e 17,0% foram indiferentes (estes últimos faziam parte do grupo de Especialistas). Dessa forma, as preferências foram semelhantes independente do nível de especialidade, com exceção do item número de pontos de vista.

No Experimento *II*, na aparência dos objetos 3D, a diferença entre cor e textura foi de 5% (45% e 40%). Considerando os níveis de especialidade, não foi detectada diferença entre cor e textura (40% e 40%) no caso do nível médio.

Considerando os novatos sem experiência, todos preferiram 2 pontos de vista, 60% os objetos com textura e 60% a seringa acoplada ao dispositivo, semelhante aos valores gerais. O segundo ponto de vista foi importante durante o processo de interação, visto que diversas vezes os participantes tinham a impressão do contato entre os objetos 3D agulha e gengiva, quando a agulha estava distante das estruturas anatômicas, principalmente no eixo z - profundidade.

A utilização de uma baixa diversidade de cores pode ter contribuído para uma maior aceitação dos objetos com as texturas, embora vários participantes preferiram as cores ou foram indiferentes quanto a superfície dos objetos.

Aplicando o teste ANOVA - Quatro Fatores para analisar os efeitos das preferências com relação às funcionalidades do sistema, incluindo o fator número de Pontos de Vista (1, 2 ou indiferente); o fator Aparência dos Objetos 3D (Cor, textura ou indiferente); o fator Instrumento acoplado ao dispositivo haptico (Caneta original, seringa Carpule ou indiferente) e o fator Nível de Especialidade (Novato, Médio e Especialista no primeiro experimento; e Novato e Médio, no segundo experimento), foram obtidas diferenças significativas dos

dados:

- (1) no Experimento *I*, para efeitos principais de Pontos de Vista ( $F(2, 158) = 10,5 - p = 0,0001$ ), Aparência ( $F(2, 158) = 18 - p \approx 0$ ), Instrumento ( $F(2, 158) = 18 - p \approx 0$ ); e efeitos de interação de Pontos de Vista \* Aparência ( $F(4, 154) = 10,5 - p \approx 0$ ), Pontos de Vista \* Instrumento ( $F(4, 154) = 10,5 - p \approx 0$ ), Aparência \* Instrumento ( $F(4, 154) = 18 - p \approx 0$ ), Pontos de Vista \* Aparência \* Instrumento ( $F(8, 146) = 10,5 - p \approx 0$ ) e Pontos de Vista \* Instrumento \* Nível de Especialidade ( $F(8, 146) = 2,25 - p = 0,027$ );
- (2) no Experimento *II*, para efeitos principais de Ponto de Vista ( $F(2, 536) = 16,4 - p \approx 0$ ), Instrumento ( $F(2, 536) = 7,06 - p = 0,0009$ ) e efeitos de interação de Pontos de Vista \* Instrumento ( $F(4, 532) = 6,63 - p \approx 0$ ).

No Experimento *I* foram encontrados efeitos principais na maioria dos fatores, com exceção de Nível de Especialidade, o que também foi observado nos efeitos de interação 2 e 3 fatores. No Experimento *II* efeitos principais não foram encontrados para Aparência e Nível de Especialidade, denotando somente efeitos principais e de interação para Pontos de Vista e Instrumento.

### **8.1.2 Considerações Adicionais**

O *log* de interação pode ser utilizado para comparar informações subjetivas, provenientes dos participantes; bem como atuar como um banco de dados para avaliação do desempenho do usuário, com a atribuição de pontos positivos para acertos (por exemplo, local correto de inserção, ângulo correto de inserção, entre outros parâmetros) e pontos negativos para erros (por exemplo, nervo atingido, vaso sanguíneo atingido, ângulo incorreto de inserção, local incorreto de inserção, entre outros).

A otimização da detecção de colisão utilizando uma primitiva, como uma

Figura 56 - AV com a remoção das estruturas anatômicas Pele e Crânio



Fonte: Autor

esfera na ponta da agulha virtual, causou um problema, pois quando esta primitiva atravessava o objeto 3D que representava alguma estrutura anatômica, a colisão, e consequentemente, a resistência ou retorno haptico, cessavam. No entanto, a agulha estava imersa na estrutura, e as resistências deveriam continuar agindo, o que ocorria quando a primitiva entrava em contato com outra estrutura anatômica. Como as estruturas estavam muito próximas, a sensação era mínima, no entanto, foi notada pelos participantes.

No Experimento *II*, os participantes preferiram a remoção do objeto que representava a pele, tornando visíveis: dentes, mandíbula e gengiva (Figura 56), visto que no procedimento real os dentistas afastam a bochecha do paciente com uma das mãos para uma melhor visualização, funcionalidade ainda não implementada.

Os participantes, na avaliação dos objetos 3D, se concentraram naqueles que representavam as estruturas anatômicas, não fazendo qualquer referência ao objeto 3D que representava a agulha. Um participante sugeriu a utilização de um objeto 3D para representar a seringa, pois no procedimento real para anestesiá o nervo alveolar inferior direito, a parte da seringa oposta à agulha é posicionada do lado esquerdo da boca, próxima aos pré-molares, para formar

um ângulo de aproximadamente 45 graus em relação a ponta de agulha, que deve estar próxima à região externa ao forame da mandíbula, lado direito da boca, onde a inserção deve ser executada.

Uma observação comum foi a profundidade de inserção da agulha, visto que durante a inserção as estruturas ósseas eram constantemente atingidas e os participantes mencionavam que não tinham inserido ao ponto de alcançar tais estruturas e que a agulha devia ser inserida mais profundamente naquele local. Uma análise da modelagem dos objetos 3D pode ser necessária para verificar a escala e a posição dos objetos, especialmente gengiva e mandíbula.

O ângulo de 45 graus para inserção foi considerado inicialmente como uma limitação, visto que o dispositivo adotado não oferece 6 graus de liberdade de retorno de força, provendo o retorno de força em 3 eixos ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) ou em 3 graus de liberdade. No entanto, como na Lei de Hooke, a força é calculada conforme uma constante  $K$  e o deslocamento em cada eixo, o retorno pode ocorrer em mais de um eixo simultaneamente, permitindo que a sensação no ângulo de 45 graus fosse satisfatória.

Deve-se salientar que 3 estrangeiras participaram dos experimentos. Segundo Coles, Meglan e John (2011), profissionais de diferentes centros médicos podem executar os procedimentos de maneiras diferentes, no entanto, corretas, o que exigiria que um sistema de treinamento atenda diversos tipos de simulações para uma mesma situação.

## 8.2 Análise da Métrica Objetiva Perceptual para Avaliação da Interação Hápatica

No Experimento *I*, a maioria dos sujeitos (aproximadamente 83,3%) reportaram que distorções da posição em certos momentos da interação hápatica,

influenciavam na percepção humana, e consequentemente, prejudicavam a interação.

No Experimento *II*, 16,7% dos sujeitos notaram as distorções, sendo 8,3% no pré-contato (Figure 40 (b)) e 8,3% dos sujeitos depois do contato (Figure 41 (b)); entretanto, ao contrário do Experimento *I*, a maioria dos participantes não reportou qualquer problema de distorção (aproximadamente 83,3%). No movimento livre, 16,7% dos usuários observaram as oscilações (Figura 42 (a)) e o ponto inicial de distorção, mas não a continuidade constante da mesma distorção (Figura 42 (c)).

Todos os sujeitos entenderam as tarefas a serem desempenhadas e continuaram os testes mesmo quando perceberam as distorções, mostrando que tentaram uma adaptação às situações. No caso da distorção constante ao longo do processo de interação háptica, os usuários não observaram nenhum problema (Figura 40 (a)). Um fator pode explicar tal constatação: a predominância de um canal sensorial durante uma atividade, especialmente nas modalidades visual e háptica, no qual a diminuição de um canal causa o domínio de outro (ERNST; BANKS, 2002).

Os sujeitos não observaram nenhuma alteração nos cenários sem a presença de distorções. A distorção em determinados momentos causou mudanças na interação háptica, causando a modificação de movimentos dos usuários. Em certos momentos, quando as distorções foram notadas, os usuários removeram a agulha dos objetos no pré-contato e aumentaram a distância entre a agulha e os objetos anatômicos virtuais.

O resultado para a configuração da Figura 40 (a) é menor do que a configuração da Figura 40 (b) quando aplicada a *HPWPSNR* (SAKR; GEORGANAS; ZHAO, 2007); entretanto, um destaque ou um peso maior para a transição de pré-contato pode ser mais adequado quando a *Magnitude > JND(position)*.

Um teste paralelo (similar à Figura 42 (b)), com os últimos 3 sujeitos, mostrou que o aumento acumulativo de distorção com  $Magnitude > JND(position)$ , somente é percebida depois de algum tempo, devido ao *Workspace* do dispositivo haptico tornar-se insuficiente quando a distorção atinge um valor maior que o alcançável.

Em ambos experimentos, a simulação com distorção na transição pré-contato foi repetida e somente usuários do grupo de professores atingiram 100%, notando as mudanças durante a interação. Os tipos de distorções apresentadas nas Figuras 40 (a) e 42 (b) não foram observadas em nenhum caso. No movimento livre, o início da distorção com  $Magnitude > JND(position)$  em um único momento, foi observado (Figura 42 (c)); e o início da distorção com  $Magnitude = JND(position)$  em um único momento, não foi notada (Figura 41(a)).

### **8.3 Comparação das Métricas Objetivas Perceptuais para Avaliação da Interação Haptica**

A métrica  $HPWPSNR$  e a métrica proposta  $PSNR_{HPW}^{Task}$  foram comparadas considerando o atributo de posição e duas situações. Na Tabela 4 é mostrada uma comparação entre as métricas para dois casos - Figura 40. Os adotados foram de 0,0, 2,8 e 0,2 para movimento livre, pré-contato e contato (3 partes - valor de 3,0 distribuído entre dois eventos e uma transição).

Tabela 4 - Comparação entre duas métricas

<b><math>HPWPSNR</math></b>	<b><math>PSNR_{HPW}^{Task}</math></b>	<b>Distorção</b>	<b>Percepção do Sujeito</b>
67,09	75,9	0,9 - Constante	100% Imperceptível
75,23	69,77	0,9 - Variável	50% Imperceptível

Fonte: Autor

Para as métricas, altos valores de resultado indicam uma baixa percepção e valores baixos indicam alta percepção. Os resultados estão relacionados

aos casos das Figuras 40(a), com *Magnitude* de 0,9 mm durante todo o processo - *Frequência Constante*; e 40(b), com *Magnitude* de 0,9 na transição de pré-contato - *Frequência Variável*.

Esta métrica aborda cada atributo isoladamente, visto que as relações entre atributos não foram estudadas. A métrica *HPWPSNR* usando lógica fuzzy levou em consideração os atributos de posição e velocidade, simultaneamente.

Embora a métrica objetiva propõe avaliar a interação háptica, em determinadas situações, principalmente na ocorrência de distorções no movimento livre (quando não há retorno háptico e agulha e estruturas anatômicas estão relativamente distantes), a percepção de alteração da posição foi influenciada pela visualização. A princípio, somente a interação háptica seria analisada, e somente posteriormente, seria realizada a junção dos aspectos visual e háptico na avaliação objetiva da interação, no entanto, observa-se uma aparente influência.

Finalmente, as métricas objetivas podem proporcionar benefícios, minimizando o número de testes subjetivos, que consomem muitos recursos, incluindo tempo, logística para transporte de equipamentos, recrutamento de sujeitos de pesquisa, documentação solicitada por comitês de ética, entre outros; bem como elevando a precisão dos resultados.

Adicionalmente, técnicas de interação háptica, especialmente aquelas utilizadas em AV para treinamento, podem ser aperfeiçoadas incorporando tais métricas, pois elas podem ser úteis na detecção e correção de erros ou distorções. Nos casos analisados, considerando certas partes da tarefa de inserção de agulha, bem como magnitudes e frequências das distorções imperceptíveis aos participantes, é possível corrigir as distorções mantendo a interação humano-computador em um nível satisfatório.

Por exemplo, uma distorção de 0,3 mm, ocorrida em uma etapa durante a interação; ou em outras palavras, uma distorção de  $Magnitude > JND(position)$  - *Frequência Variável*, que é perceptível pelos usuários, poderia ser detectada. Em seguida, poderia ser corrigida gradualmente usando valores negativos de  $Magnitude = JND(position) - Frequência Variável$ , ou -0,05 mm em cada passo do processo interativo, em uma parte irrelevante da tarefa. Em 6 passos, contando  $6 \times -0,05 = -0,3$ , a posição original do objeto seria estabelecida sem prejudicar a percepção do participante, não afetando o realismo durante a interação humano-computador.

## 9 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema foi centralizado na tarefa de inserção de agulha para aplicação de anestesia odontológica - bloqueio do nervo alveolar inferior direito utilizando a técnica direta, envolvendo ponto correto de inserção, angulação no momento da inserção e ponto final da inserção (ponto de injeção do anestésico).

Em termos de preferências, a maioria dos participantes optou por objetos 3D com textura, 2 pontos de vista e seringa Carpule acoplada ao dispositivo. As limitações do dispositivo háptico adotado no trabalho foram confirmadas, principalmente em termos de *Workspace* alcançável e retorno de força. No entanto, na opinião dos participantes dos experimentos, o sistema é viável e pode **auxiliar** no treinamento, mas não substituir ainda os métodos tradicionais.

Para as limitações do dispositivo, há formas de correção, como a inversão dos eixos *x* e *z* do dispositivo (aumentando o alcance de profundidade no ambiente virtual, pois o equipamento oferece um alcance maior no eixo *x*) e calibração do retorno pelo usuário.

Os resultados mostraram que uma métrica objetiva perceptual para avaliação de sinais hápticos descrita na literatura falha quando considera-se o contexto, especificamente a tarefa a ser desenvolvida. Deve-se salientar que as métricas encontradas tratam cada atributo háptico (posição, orientação,

força e velocidade) separadamente, e neste caso, somente um atributo háptico (posição) foi avaliado. Foram adicionadas terminologias para analisar determinados tipos de erros ou distorções (magnitude e frequência), que também influenciam na percepção.

Somente o atributo háptico de posição foi testado para algumas situações. Entretanto, métricas podem ser relevantes para o aprimoramento da interação humano-computador durante o próprio processo de interação, visto que permitem encontrar e corrigir erros. Por exemplo, uma distorção de alta intensidade poderia ser reduzida ou eliminada gradualmente, com diversas distorções de intensidade imperceptíveis pelos usuários, até retornar a posição original.

Os trabalhos futuros para o sistema de treinamento consistem no atendimento dos demais requisitos elencados, iniciando pela visualização 3D e a calibração do retorno de força para cada tecido, padronizando os valores de resistências. Outras tarefas que constituem o procedimento devem ser simuladas, como a abertura da boca do paciente, a palpação de tecidos e a injeção do anestésico.

O desenvolvimento de formas de abrir a boca do paciente, afastando a bochecha, para sentir o sulco que se forma na parte externa ao forame da mandíbula, é importante referência para identificação do local correto de inserção da agulha. Duas possibilidades seriam o uso de uma luva de dados com retorno tátil ou um dispositivo háptico adaptado para palpação.

A injeção do anestésico, considerando o comportamento do líquido, a velocidade de injeção e a quantidade de anestésico. Outros trabalhos incluiriam a deformação dos tecidos virtuais no momento do contato com a agulha e no momento da palpação de tecidos (contato entre a mão ou o dedo do usuário e a estrutura anatômica virtual); modelagem da mão virtual e de tecidos contendo determinadas patologias.

Os trabalhos futuros para a métrica consistem na inclusão de outros atributos (orientação, velocidade e força), eventos (perfuração e extração) e transição (ruptura); a especificação de valores dos pesos para todos os *MSEs*; bem como a comparação entre  $PSNR_{HPW}^{Task}/PMSE$  e  $PSNR_{HPW}^{Task}/HPWPSNR$  usando lógica *fuzzy*.

Outra questão é a participação de um número maior de usuários, incluindo participantes de outras instituições de ensino de odontologia, e posteriormente, de outras subáreas, tais como: biópsia, braquiterapia, anestesia, entre outros.

Na Tabela 5 são descritas as publicações, relacionadas, direta ou indiretamente, ao trabalho de doutorado.

Tabela 5 - Publicações realizadas no período do doutorado

Citação	Descrição
(CORRÊA et al., 2015)	Artigo submetido ao periódico <i>ACM Computing Surveys</i> , contendo revisão sobre simulação de inserção de agulha com interação haptica para treinamento (Periódico classificado no Qualis CAPES como A1 na Ciência da Computação).
(TOKUNAGA et al., 2015)	Artigo sobre erros perceptuais de registro em sistemas de RA (Conferência classificada no Qualis da CAPES como B2 na área de Ciência da Computação).
(CORRÊA; NUNES; TORI, 2014b)	Artigo apresentando o protótipo para simulação de anestesia infiltrativa do nervo alveolar inferior e validações (Conferência classificada no Qualis da CAPES como B2 na área de Ciência da Computação).
(CORRÊA; NUNES; TORI, 2014a)	Artigo sobre divergências entre métrica objetiva perceptual para avaliação de interação haptica e a percepção de usuários de um determinado grupo, publicado no evento realizado pelo Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica.
(CORRÊA et al., 2013)	Palestra apresentada no evento <i>Symposium on Virtual and Augmented Reality</i> 2013, que foi publicada em periódico.
(CORRÊA; NUNES; TORI, 2013a)	Artigo sobre a necessidade de métricas objetivas para avaliação da interação haptica, publicado em evento realizado pelo Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica.
(CORRÊA; NUNES; TORI, 2013b)	Artigo relacionado ao desenvolvimento de protótipo de sistema de treinamento para aplicação de anestesia infiltrativa do nervo alveolar inferior (Conferência classificada no Qualis da CAPES como B4 na área de Ciência da Computação).
(SANCHES et al., 2012)	Minicurso apresentado no evento <i>Symposium on Virtual and Augmented Reality</i> 2012, que foi publicado em periódico.
(OBANA et al., 2012)	Artigo proveniente de colaboração em pesquisas do laboratório, sobre presença em ambientes virtuais (Conferência classificada no Qualis da CAPES como B4 na área de Ciência da Computação).
(CORRÊA; NUNES; TORI, 2012)	Artigo descrevendo a necessidade de sistemas de treinamento para a área odontológica (especificamente para a aplicação de anestesias), publicado em evento realizado pelo Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica.
(CORRÊA; NAKAMURA; TORI, 2011)	Artigo elaborado em disciplina - Tecnologia em Ensino de Engenharia e estágio supervisionado.
(CORRÊA et al., 2011)	Artigo proveniente de colaboração em pesquisas do laboratório, sobre sistema de teleconferência imersiva (Conferência classificada no Qualis da CAPES como B4 na área de Ciência da Computação).

Fonte: Autor

## REFERÊNCIAS

- ABATE, A.; NAPPI, M.; RICCIARDI, S. A framework for computer based training to in vitro fertilization (ivf) techniques. In: . Gosier, Guadeloupe: [s.n.], 2011. p. 202–205. ISBN 9781612081175.
- ABATE, A. F. et al. Virtual-icsi: a visual-haptic interface for virtual training in intra cytoplasmic sperm injection. In: **Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces . Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2010. (AVI '10), p. 381–384. ISBN 978-1-4503-0076-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1842993.1843068>>.
- ABOUD, E. et al. New alternative to animal models for surgical training. **Alternatives to laboratory animals : ATLA**, v. 32 Suppl 1B, p. 501–507, June 2004. ISSN 0261-1929.
- ADLER, S. et al. Overlay of patient-specific anatomical data for advanced navigation in surgery simulation. In: **Proceedings of the First International Workshop on Digital Engineering. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2010. (IWDE '10), p. 52–58. ISBN 978-1-60558-992-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1837154.1837162>>.
- AHMED, A.; BENFORD, S.; CRABTREE, A. Digging in the crates: an ethnographic study of djs' work. In: **Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2012. (CHI '12), p. 1805–1814. ISBN 978-1-4503-1015-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2208276.2208314>>.
- AKHTAR, K. S. N. et al. The role of simulation in developing surgical skills. **Current Reviews in Musculoskeletal Medicine**, v. 7, n. 2, p. 155–160, 2014.
- ALP, M. et al. Ultrasound biomicroscopic evaluation of the efficacy of a transillumination technique for ciliary sulcus localization in transscleral fixation of posterior chamber intraocular lenses. **Journal of Cataract and Refractive Surgery**, v. 35, n. 2, p. 291–296, 2009. ISSN 08863350.
- 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. **Journal of Health Informatics**, v. 4, n. 1, p. 28–34, 2012.
- ARSHAD, N. et al. Software engineering for simulation systems in medical training: some initial experiences. In: **Proceedings of the 2010 ICSE Workshop on Software Engineering in Health Care. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2010. (SEHC '10), p. 100–103. ISBN 978-1-60558-973-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1809085.1809098>>.

AUKSTAKALNIS, S.; BLATNER, D. **Silicon Mirage; The Art and Science of Virtual Reality**. Berkeley, CA, USA: Peachpit Press, 1992.

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355–385, aug 1997.

BALCOMBE, J. Medical training using simulation: toward fewer animals and safer patients. **Alternatives to laboratory animals : ATLA**, v. 32 Suppl 1B, p. 553–560, June 2004. ISSN 0261-1929. Disponível em: <<http://europepmc.org/abstract/MED/23581135>>.

BASDOGAN, C.; HO, C. A force reflecting deformable objects for virtual environment. Siggraph 99 Course Notes. 1999.

BASDOGAN, C.; HO, C.-H.; SRINIVASAN, M. A. Virtual environments for medical training: Graphical and haptic simulation of laparoscopic common bile duct exploration. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 6, n. 3, p. 269–285, Spetember 2001.

BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: \_\_\_\_\_. Belém, PA, Brazil: Editora da SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. cap. Interação com Realidade Virtual e Aumentada, p. 129–148.

BIBIN, L. et al. Sailor: a 3-d medical simulator of loco-regional anaesthesia based on desktop virtual reality and pseudo-haptic feedback. In: **Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2008. (VRST '08), p. 97–100. ISBN 978-1-59593-951-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1450579.1450600>>.

BIOLCHINI, J. et al. **Systematic review in software engineering: relevance and utility**. [S.I.], 2005. Disponível em: <<http://cronos.cos.ufrj.br/publicacoes/reltec/es67905.pdf>>.

BLUM, J. et al. The timestreams platform: Artist mediated participatory sensing for environmental discourse. In: **Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (UbiComp '13), p. 285–294. ISBN 978-1-4503-1770-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2493432.2493479>>.

BOWMAN, D. A. et al. An introduction to 3-D user interface design. **Presence: Teleoperators Virtual Environments**, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 10, n. 1, p. 96–108, fev. 2001.

BOWMAN, D. A. et al. **3D User Interfaces: Theory and Practice**. Redwood City, CA, USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005.

- BRETT, P. N. et al. Simulation of resistance forces acting on surgical needles. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers / Part H Journal of Engineering in Medicine**, v. 211, p. 335–347, 1997.
- BURDEA, G. C. Virtual reality and robotics in medicine. In: **Proceedings of the 5th IEEE International Workshop Robot and Human Communication. Proceedings ...** [S.I.]: IEEE Press, 1996. p. 16–25.
- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- CARIA, P. H. F. **Anatomia geral e odontológica**. [S.I.]: Editora Artes Médicas Ltda, 2014.
- CHALASANI, V. et al. Development and validation of a virtual reality transrectal ultrasound guided prostatic biopsy simulator. **Journal of the Canadian Urological Association**, v. 5, n. 1, p. 19–26, 2011. ISSN 19116470.
- CHAN, W.-Y. et al. Learning ultrasound-guided needle insertion skills through an edutainment game. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, Changchun, v. 6250 LNCS, p. 200–214, 2010. ISSN 03029743.
- CHAN, W.-Y. et al. A serious game for learning ultrasound-guided needle placement skills. **Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on**, v. 16, n. 6, p. 1032–1042, Nov 2012. ISSN 1089-7771.
- CHARISSIS, V. et al. Exploring the simulation requirements for virtual regional anesthesia training. In: . San Jose, CA: [s.n.], 2010. v. 7525. ISBN 9780819479181. ISSN 0277786X.
- CHAUDHARI, R.; STEINBACH, E.; HIRCHE, S. Towards an objective quality evaluation framework for haptic data reduction. In: **IEEE World Haptics Conference (WHC)**. [S.I.: s.n.], 2011. p. 539–544.
- CHELLALI, A.; DUMAS, C.; MILLEVILLE, I. Haptic communication to enhance collaboration in virtual environments. In: **Proceedings of the 28th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2010. (ECCE '10), p. 83–90. ISBN 978-1-60558-946-6.
- CHELLALI, A.; DUMAS, C.; MILLEVILLE-PENNEL, I. Influences of haptic communication on a shared manual task. **Interacting with Computers**, v. 23, n. 4, p. 317–328, 2011. ISSN 09535438.
- CHELLALI, A.; DUMAS, C.; MILLEVILLE-PENNEL, I. Haptic communication to support biopsy procedures learning in virtual environments. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 22, n. 1, p. 470–489, 2013. ISSN 10547460.

- CHENTANEZ, N. et al. Interactive simulation of surgical needle insertion and steering. **ACM Transactions on Graphics**, New Orleans, LA, v. 28, n. 3, 2009. ISSN 07300301.
- CHOI, K.-S.; CHAN, S.-H.; PANG, W.-M. Virtual suturing simulation based on commodity physics engine for medical learning. **Journal of Medical Systems**, v. 36, n. 3, p. 1781–1793, 2012. ISSN 01485598. Cited By (since 1996)2.
- CHOI, K. S.; SUN, H.; HENG, P. A. Interactive deformation of soft tissues with haptic feedback for medical learning. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 358–363, 2003.
- COCA, A. et al. Building 3d models for reconstructing a virtual cataract surgery haptic simulation. In: **Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (TEEM '13), p. 43–48. ISBN 978-1-4503-2345-1. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2536536.2536544>>.
- COLES, T.; JOHN, N. The effectiveness of commercial haptic devices for use in virtual needle insertion training simulations. In: **Third International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI '10)**. Saint Maarten: [s.n.], 2010. p. 148–153. ISBN 9780769539577.
- COLES, T. et al. Haptic palpation for the femoral pulse in virtual interventional radiology. In: **Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI '09). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2009. p. 193–198.
- COLES, T. et al. Haptic palpation for the femoral pulse in virtual interventional radiology. In: . Cancun: [s.n.], 2009. p. 193–198. ISBN 9780769535296.
- COLES, T. et al. Integrating haptics with augmented reality in a femoral palpation and needle insertion training simulation. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 4, n. 3, p. 199–209, May 2011. ISSN 1939-1412.
- COLES, T. et al. Modification of commercial force feedback hardware for needle insertion simulation. In: . Newport Beach, CA: [s.n.], 2011. v. 163, p. 135–137. ISBN 9781607507055. ISSN 09269630.
- COLES, T. R.; MEGLAN, D.; JOHN, N. W. The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art. **IEEE Transactions on Haptics**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 4, n. 1, p. 51–66, jan.-mar. 2011.
- CORRÊA, C. G. et al. State of the art of simulation for needle insertion training with haptic interaction in healthcare. **ACM Computing Surveys**, 2015.
- CORRÊA, C. G.; NAKAMURA, R.; TORI, R. Avaliação de disciplina ministrada em curso de design por docentes da engenharia da computação. In: **Anais**

**do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - Cobenge. Anais ...** [S.I.: s.n.], 2011.

CORRÊA, C. G. et al. Evaluation of vr medical training applications under the focus of professionals of the health area. In: **Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2009. (SAC '09), p. 821–825. ISBN 978-1-60558-166-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1529282.1529457>>.

CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Interação háptica realista em sistema de treinamento virtual para aplicação de anestesia odontológica. In: **Anais do I Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. Anais ...** [S.I.: s.n.], 2012.

CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Avaliação de interação háptica em ambientes virtuais para treinamento na área de saúde. In: **Anais do II Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação. Anais ...** [S.I.: s.n.], 2013.

CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Haptic simulation for virtual training in application of dental anesthesia. In: **Proceedings of the 2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality. Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2013. p. 63–72. ISBN 978-0-7695-5001-5.

CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Avaliação objetiva de interação háptica em procedimentos médicos de inserção de agulha. In: **Anais do III Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação. Anais ...** [S.I.: s.n.], 2014.

CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S.; TORI, R. Virtual reality-based system for training in dental anesthesia. In: **16th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII)**. [S.I.: s.n.], 2014. v. 8526, p. 267–276.

CORRÊA, C. G. et al. Avatares baseados em vídeo e suas aplicações em sistemas virtuais imersivos. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**, v. 3, p. 121–137, 2013.

CORRÊA, C. G. et al. Immersive teleconferencing system based on video-avatar for distance learning. In: **Proceedings of the XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality. Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2011.

CUNHA-CRUZ, V. C. V. S. et al. Haptic control in tele-surgery: State of the art and challenges. **Medical Imaging Technology**, v. 25, n. 1, p. 31–37, 2007.

DANKELMAN, J.; DOBBELSTEEN, J. van den; BREEDVELD, P. Current technology on minimally invasive surgery and interventional techniques. In: **2nd International Conference on Instrumentation Control and Automation (ICA '11). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2011. p. 12–15.

DIMAIO, S. P.; SALCUDEAN, S. E. Interactive simulation of needle insertion models. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 52, n. 7, p. 1167–1179, 2005.

DRIMUS, A.; BILBERG, A. Novel approaches for bio-inspired mechano-sensors. In: **Proceedings of the 4th international conference on Intelligent Robotics and Applications. Proceedings ...** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ((ICIRA'11)), p. 12–23. ISBN 978-3-642-25488-8. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25489-5\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25489-5_2)>.

EDMUNDS, T.; PAI, D. Perceptually augmented simulator design. **Haptics, IEEE Transactions on**, v. 5, n. 1, p. 66–76, Jan 2012. ISSN 1939-1412.

ERNST, M. O.; BANKS, M. S. Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. **Nature**, Nature Publishing Group, Vision Science Program, School of Optometry, University of California, Berkeley 94720-2020, USA. marc.ernst@tuebingen.mpg.de, v. 415, n. 6870, p. 429–433, jan. 2002. ISSN 0028-0836. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/415429a>>.

ESTEBAN, G. et al. Design of a haptic simulator framework for modelling surgical learning systems. In: **Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (TEEM '13), p. 87–94. ISBN 978-1-4503-2345-1. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2536536.2536551>>.

FARBER, M. et al. Needle bending in a vr-puncture training system using a 6dof haptic device. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2009. v. 142, p. 91–93. ISBN 9781586039646. ISSN 09269630.

FARBER, M. et al. A framework for visuo-haptic simulation of puncture interventions. In: . Lubeck: [s.n.], 2009. p. 1309–1316. ISBN 9783885792482.

FARBER, M. et al. Training and evaluation of lumbar punctures in a vr-environment using a 6dof haptic device. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2008. v. 132, p. 112–114. ISBN 9781586038229. ISSN 09269630.

FARBER, M. et al. Virtual reality simulator for the training of lumbar punctures. **Methods of Information in Medicine**, v. 48, n. 5, p. 493–501, 2009. ISSN 00261270.

FEI, W. et al. Development of a microsurgery training system. In: . Vancouver, BC: [s.n.], 2008. p. 1935–1938. ISBN 9781424418152.

FORTMEIER, D.; MASTMEYER, A.; HANDELS, H. Gpu-based visualization of deformable volumetric soft-tissue for real-time simulation of haptic needle insertion. In: . Berlin: [s.n.], 2012. p. 117–122. ISBN 9783642285011. ISSN 1431472X.

FORTMEIER, D.; MASTMEYER, A.; HANDELS, H. Image-based soft tissue deformation algorithms for real-time simulation of liver puncture. **Current Medical Imaging Reviews**, v. 9, n. 2, p. 154–165, 2013. ISSN 15734056.

FUERST, D. et al. Foam phantom development for artificial vertebrae used for surgical training. In: **Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '12). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2012. p. 5773–5776. ISSN 1557-170X.

GEOMAGIC. **OpenHaptics Toolkit**. 2015. Disponível em: <<http://www.dentsable.com/products-openhaptics-toolkit.htm>>.

GERWEN, D. J. van; DANKELMAN, J.; DOBBELSTEEN, J. J. van den. Needle-tissue interaction forces - a survey of experimental data. **Medical Engineering and Physics**, v. 34, n. 6, p. 665–680, 2012.

GHANBARI, A. et al. Haptic microrobotic cell injection system. **IEEE Systems Journal**, PP, n. 99, p. 1–1, 2012. ISSN 1932-8184.

GIBSON, S.; MIRTICH, B. **A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics Technical Report**. [S.I.], 1997.

GOKSEL, O.; SALCUDEAN, S. Haptic simulator for prostate brachytherapy with simulated ultrasound. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, Phoenix, AZ, v. 5958 LNCS, p. 150–159, 2010. ISSN 03029743.

GOKSEL, O. et al. Prostate brachytherapy training with simulated ultrasound and fluoroscopy images. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, v. 60, n. 4, p. 1002–1012, April 2013. ISSN 0018-9294.

GOKSEL, O.; SAPCHUK, K.; SALCUDEAN, S. Haptic simulation of needle and probe interaction with tissue for prostate brachytherapy training. In: **IEEE World Haptics Conference (WHC '11). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2011. p. 7–12.

GOKSEL, O.; SAPCHUK, K.; SALCUDEAN, S. Haptic simulator for prostate brachytherapy with simulated needle and probe interaction. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 4, n. 3, p. 188–198, May 2011. ISSN 1939-1412.

GOMOLL, A. H. et al. Surgical experience correlates with performance on a virtual reality simulator for shoulder arthroscopy. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 6, p. 883–888, June 2007.

GONENC, B.; GUROCAK, H. Haptic interface with hybrid actuator for virtual needle insertion and tissue cutting. In: **IEEE Haptics Symposium (HAPTICS). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2012. p. 451–455.

GRECHENIG, W. et al. The graz learning and training model for arthroscopic surgery. **Surgical and Radiologic Anatomy**, v. 21, n. 5, p. 347–350, 1999.

- GROTTKE, O. et al. Virtual reality-based simulator for training in regional anaesthesia. **British Journal of Anaesthesia**, v. 103, n. 4, p. 594–600, out. 2009.
- HAMAM, A. et al. A fuzzy logic system for evaluating quality of experience of haptic-based applications. In: FERRE, M. (Ed.). **Haptics: Perception, Devices and Scenarios**. Springer Berlin Heidelberg, 2008. v. 5024, p. 129–138. ISBN 978-3-540-69056-6. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69057-3\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69057-3_14)>.
- HENG, P.-A. et al. A haptic needle manipulation simulator for chinese acupuncture learning and training. In: **Proceedings of the ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 04). Proceedings ... [S.I.]**: ACM Press, 2004. p. 57–64.
- HEUTEN, W. et al. Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. In: **Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges. Proceedings ... New York, NY, USA: ACM, 2008. (NordiCHI '08)**, p. 172–181. ISBN 978-1-59593-704-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1463160.1463179>>.
- HINTERSEER, P.; STEINBACH, E.; CHAUDHURI, S. Perception-based compression of haptic data streams using kalman filters. In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP '06). Proceedings ... [S.I.: s.n.], 2006. v. 5. ISSN 1520-6149.**
- HIX, D.; HARTSON, H. R. **Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product & Process**. [S.I.]: John Wiley Sons, 1993.
- HOREMAN, T. et al. Force parameters for skills assessment in laparoscopy. **Haptics, IEEE Transactions on**, v. 5, n. 4, p. 312–322, Fourth 2012. ISSN 1939-1412.
- HUBBARD, P. M. Collision detection for interactive graphics applications. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 1, n. 3, p. 218–230, 1995.
- IRVING, G.; TERAN, J.; FEDKIW, R. Invertible finite elements for robust simulation of large deformation. In: **Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer Animation (SCA '04). Proceedings ... Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland: Eurographics Association, 2004. p. 131–140.**
- JACOB, M. G. et al. Collaboration with a robotic scrub nurse. **Communication of the ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 56, n. 5, p. 68–75, maio 2013. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2447976.2447993>>.

- JALOTE-PARMAR, A.; BADKE-SCHAUB, P. Situation awareness in medical visualization to support surgical decision making. In: **Proceedings of the 28th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2010. (ECCE '10), p. 201–208. ISBN 978-1-60558-946-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1962300.1962341>>.
- JAMES, J. T. A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care. **Journal of Patient Safety**, v. 9, n. 3, p. 122–128, 2013.
- JANSSOONE, T. et al. Biopsym: A learning environment for trans-rectal ultrasound guided prostate biopsies. In: . Newport Beach, CA: [s.n.], 2011. v. 163, p. 242–246. ISBN 9781607507055. ISSN 09269630.
- JAUNG, R.; COOK, P.; BLYTH, P. A comparison of embalming fluids for use in surgical workshops. **Clinical Anatomy**, v. 24, n. 2, p. 155–161, March 2011.
- JIANG, Z. et al. Remote haptic collaboration for virtual training of lumbar puncture. **Journal of Computers (Finland)**, v. 8, n. 12, p. 3103–3110, 2013. ISSN 1796203X.
- JIANG, Z.-Z. et al. Remote haptic collaboration for virtual chinese acupuncture system. **Journal of System Simulation**, v. 25, n. 9, p. 2085–2090, 2013. ISSN 1004731X.
- JOHN, N. et al. Physics-based virtual environment for training core skills in vascular interventional radiological procedures. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2008. v. 132, p. 195–197. ISBN 9781586038229. ISSN 09269630.
- KANG, S.; LEE, D. Design of a haptic interface for simulation of needle intervention. In: . Istanbul: [s.n.], 2013. ISBN 9781467357692.
- KANG, S. G.; LEE, D. Y. Design of a haptic interface for simulation of needle intervention. In: **9th Asian Control Conference (ASCC '13)**. [S.I.: s.n.], 2013. p. 1–6.
- KERA, M.; PEDRINI, H.; NUNES, F. L. S. Ambiente virtual interativo com colisão e deformação de objetos para treinamento médico. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 18, n. 2, p. 205–233, 2011.
- KIKUCHI, A. et al. Development of a vr-based injection training system using a standardized patient. In: . Newport Beach, CA: [s.n.], 2012. v. 173, p. 230–232. ISBN 9781614990215. ISSN 09269630.
- KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Department of Computer Science, Keele University, UK, 2004.
- KORMOS, K. et al. New possibilities in practical education of surgery. **Magyar Sebészet (Hungarian Journal of Surgery)**, v. 66, n. 5, p. 256–262, 2013.

- KURMOS, L.; JOHN, N. W.; ROBERTS, J. C. Integration of haptics with web3d using the sai. In: **Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2009. (Web3D '09), p. 25–32. ISBN 978-1-60558-432-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1559764.1559768>>.
- LADJAL, H.; HANUS, J.; FERREIRA, A. Interactive cell injection simulation based on 3d biomechanical tensegrity model. In: **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 08). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2008. p. 2296–2302.
- LADJAL, H.; HANUS, J.; FERREIRA, A. Methodologies of dynamic cell injection techniques using fem biomechanical modeling. In: **2nd IEEE RAS EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob' 08). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2008. p. 631–636.
- LADJAL, H.; HANUS, J.; FERREIRA, A. Microrobotic simulator for assisted biological cell injection. In: **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 11). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2011. p. 1315–1320. ISSN 2153-0858.
- LADJAL, H.; HANUS, J.-L.; FERREIRA, A. Micro-to-nano biomechanical modeling for assisted biological cell injection. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, v. 60, n. 9, p. 2461–2471, Sept 2013. ISSN 0018-9294.
- LAMBDEN, S.; MARTIN, B. The use of computers for perioperative simulation in anesthesia, critical care, and pain medicine. **Anesthesiology Clinics**, v. 29, n. 3, p. 521–531, set. 2011.
- LE, V.; NAHAVANDI, S.; CREIGHTON, D. A haptic training environment for the heart myoblast cell injection procedure. In: **11th International Conference on Control Automation Robotics Vision (ICARCV' 10). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2010. p. 448–452.
- LÉCUYER, A.; BURKHARDT, J.-M.; TAN, C.-H. A study of the modification of the speed and size of the cursor for simulating pseudo-haptic bumps and holes. **ACM Transactions on Applied Perception**, ACM, New York, NY, USA, v. 5, n. 3, p. 14:1–14:21, set. 2008. ISSN 1544-3558. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1402236.1402238>>.
- LEE, J. et al. An intravenous injection simulator using augmented reality for veterinary education and its evaluation. In: **Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2012. (VRCAI '12), p. 31–34. ISBN 978-1-4503-1825-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2407516.2407524>>.
- LERMAN, I.; SOUZDALNITSKI, D.; NAROUZE, S. A low-cost, durable, combined ultrasound and fluoroscopic phantom for cervical transforaminal

injections. **Regional Anesthesia and Pain Medicine**, v. 37, n. 3, p. 344–348, 2012. ISSN 10987339. Cited By (since 1996)4.

LEUSCHKE, R. et al. Haptic characteristics of document conservation tasks. In: **Symposium on Haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems (Haptics' 08). Proceedings ...** [S.l.: s.n.], 2008. p. 383–388.

LIM, Y.-J. et al. Mr fluid haptic system for regional anesthesia training simulation system. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2008. v. 132, p. 248–253. ISBN 9781586038229. ISSN 09269630.

LUBOZ, V. et al. Real-time seldinger technique simulation in complex vascular models. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 4, n. 6, p. 589–596, 2009. ISSN 18616410. Cited By (since 1996)11.

LUBOZ, V. et al. Imagine seldinger: First simulator for seldinger technique and angiography training. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 111, n. 2, p. 419–434, 2013. ISSN 01692607. Cited By (since 1996)2.

LUCIANO, C. et al. Percutaneous spinal fixation simulation with virtual reality and haptics. **Neurosurgery**, v. 72, n. SUPPL. 1, p. A89–A96, 2013. ISSN 0148396X. Cited By (since 1996)4. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872073216&partnerID=40&md5=4b0934063145c3272f217f7c005c34c9>>.

MACHORRO-FERNANDEZ, F.; PARRA-VEGA, V.; LOPEZ-JUAREZ, I. Human training using hri approach based on fuzzy artmap networks. In: **Proceedings of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction. Proceedings ...** Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2010. (HRI '10), p. 113–114. ISBN 978-1-4244-4893-7.

MAHDAVIKHAH, B. et al. Haptic rendering of deformable objects using a multiple fpga parallel computing architecture. In: **Proceedings of the 18th annual ACM/SIGDA international symposium on Field programmable gate arrays. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2010. (FPGA '10), p. 189–198. ISBN 978-1-60558-911-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1723112.1723147>>.

MAHDAVIKHAH, B. et al. A multiple-fpga parallel computing architecture for real-time simulation of soft-object deformation. **ACM Transactions on Embedded Computing Systems**, ACM, New York, NY, USA, v. 13, n. 4, p. 81:1–81:23, mar. 2014. ISSN 1539-9087. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2560031>>.

MALAMED, S. **Handbook of local anesthesia**. 5th. ed. St. Louis, MO, USA: Mosby, 2004. ISBN 9780323024495.

MALAMED, S. F. Malamed's local anesthesia administration. DVD. 2004.

- MANOHARAN, V. et al. Design and validation of an epidural needle insertion simulator with haptic feedback for training resident anaesthesiologists. In: **IEEE Haptics Symposium (HAPTICS' 12). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2012. p. 341–348.
- MARAN, N. J.; GLAVIN, R. J. Low- to high-fidelity simulation - a continuum of medical education? **Medical Education**, Blackwell Synergy, v. 37, n. suppl 1, p. 22–28, nov. 2003.
- MASTMEYER, A. et al. Ray-casting based evaluation framework for haptic force feedback during percutaneous transhepatic catheter drainage punctures. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, p. 1–11, 2013. ISSN 18616410. Cited By (since 1996)0; Article in Press.
- MAURIN, B. et al. In vivo study of forces during needle insertions. In: **Proceedings of the Scientific Workshop Medical Robotics, Navigation and Visualization (MRNV' 04). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2004. p. 415–422.
- MCDougall, E. M. Validation of surgical simulators. **Journal of Endourology**, v. 21, n. 3, p. 244–247, March 2007.
- MENTIS, H. M.; TAYLOR, A. S. Imaging the body: Embodied vision in minimally invasive surgery. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (CHI '13), p. 1479–1488. ISBN 978-1-4503-1899-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2466197>>.
- MICROSOFT. **Visual Studio Downloads**. 2015. Disponível em: <<http://www.visualstudio.com/downloads/download-visual-studio-vs>>.
- MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. **Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies**, SPIE Press, p. 282–292, 1994.
- MINE, M. **Virtual Environment Interaction Techniques**. [S.I.], 1995.
- MONZON, E. et al. Training effects of a visual aid on haptic sensitivity in a needle insertion task. In: **IEEE Haptics Symposium (HAPTICS' 12). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2012. p. 199–202.
- MONZON, E. R. et al. Training effects of a visual aid on haptic sensitivity in a needle insertion task. In: . [s.n.], 2012. p. 199–202. ISBN 9781467308090. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860806048&partnerID=40&md5=5077da2210b7ca74194adcfbdd595c0b>>.
- MORGENTAL, R. D.; SANTOS, R. B. dos. Falha do bloqueio do nervo alveolar inferior em endodontia. **Revista de Endodontia - Pesquisa e Ensino (UFSM)**, v. 5, 2009.

- MORNINGSTAR, C.; FARMER, F. R. Cyberspace. In: BENEDIKT, M. (Ed.). Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1991. cap. The lessons of Lucasfilm's habitat, p. 273–302.
- NAEMURA, K. et al. Epidural insertion simulator of higher insertion resistance & drop rate after puncture. In: **30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS' 08). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2008. p. 3249–3252. ISSN 1557-170X.
- NARAYANAN, M. et al. Data driven development of haptic models for needle biopsy phantoms. In: . Fort Lauderdale, FL: [s.n.], 2012. v. 3, p. 419–427. ISBN 9780791845318.
- NI, D. et al. An ultrasound-guided organ biopsy simulation with 6dof haptic feedback. **Medical image computing and computer-assisted intervention: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)**, v. 11, n. Pt 2, p. 551–559, 2008.
- NI, D. et al. A virtual reality simulator for ultrasound-guided biopsy training. **Computer Graphics and Applications, IEEE**, v. 31, n. 2, p. 36–48, March 2011. ISSN 0272-1716.
- NISKY, I. et al. Perception and action in teleoperated needle insertion. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 4, n. 3, p. 155–166, May 2011. ISSN 1939-1412.
- NUNES, F. L. S.; COSTA, R. M. E. M. The virtual reality challenges in the health care area: a panoramic view. In: **Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied Computing. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2008. (SAC '08), p. 1312–1316. ISBN 978-1-59593-753-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1363993>>.
- OBANA, F. Y. et al. Influence of user training in presence perception in virtual environments. In: **XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality. Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2012.
- OKAMURA, A. M. et al. Haptics in medicine and clinical skill acquisition. **IEEE Transactions on Haptics**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 4, n. 3, p. 153–154, jul.-set. 2011.
- OKAMURA, A. M.; SIMONE, C.; O'LEARY, M. D. Force modeling for needle insertion into soft tissue. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 51, n. 10, p. 1707–1716, 2004.
- OLIVEIRA, A. C. M. T. G.; NUNES, F. L. S. Building an open source framework for virtual medical training. **Journal of digital imaging: the official journal of the Society for Computer Applications in Radiology**, v. 23, n. 06, p. 706–720, dez. 2010.
- O'NEILL, M. J.; MILANO, M. T.; SCHELL, M. C. Simulation training in health care: A role in radiation oncology? **International Journal of Radiation Oncology Biology Physics**, v. 81, n. 2, p. 697–698, out. 2011.

ORACLE. **Java 3D API.** 2015. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-138252.html>>.

ORACLE. **Java Native Interface Specification Contents.** 2015. Disponível em: <<http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/jni/spec/jniTOC.html>>.

ORACLE. **Java SE.** 2015. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>>.

PACCOLA, S. A. de O. **Design aplicado em simulação de anestesia infiltrativa bloqueio do nervo alveolar inferior.** Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo, 2014.

PAOLIS, L. d. Serious game for laparoscopic suturing training. In: **Sixth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS' 12). Proceedings ...** [S.l.: s.n.], 2012. p. 481–485.

PAYANDEH, S.; SHI, F. Interactive multi-modal suturing. **Virtual Reality**, v. 14, n. 4, p. 241–253, 2010. ISSN 13594338. Cited By (since 1996)1.

PIELOT, M. et al. A tactile compass for eyes-free pedestrian navigation. In: **Proceedings of the 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction. Proceedings ...** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. (INTERACT'11), p. 640–656. ISBN 978-3-642-23770-6. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2042118.2042179>>.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality: through the new looking glass.** Blue Ridge Summit, PA, USA: Windcrest/McGraw-Hill, 1993.

PODDER, T. et al. Methods for prostate stabilization during transperineal Idr brachytherapy. **Physics in Medicine and Biology**, v. 53, n. 6, p. 1563–1579, 2008. ISSN 00319155. Cited By (since 1996)6.

POYADE, M.; LYSAKOWSKI, A.; ANDERSON, P. Development of a haptic training simulation for the administration of dental anaesthesia based upon accurate anatomical data. In: PERRET, J. et al. (Ed.). **EuroVR 2014 - Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality. Proceedings ...** [S.l.]: The Eurographics Association, 2014. ISBN 978-3-905674-76-7.

PUNAK, S.; KURENOV, S.; CANCE, W. Virtual interrupted suturing exercise with the endo stitch suturing device. In: **Proceedings of the 7th international conference on Advances in visual computing. Proceedings ...** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. (ISVC'11), p. 55–63. ISBN 978-3-642-24030-0. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2045195.2045202>>.

ROBERTSON, S.; ROBERTSON, J. **Mastering the requirements process.** New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999.

- SAGARDIA, M. et al. A benchmark of force quality in haptic rendering. In: **Proceedings of International Conference Human-Computer Interaction. Proceedings** ... San Diego, CA: [s.n.], 2009. ((HCII' 09)), p. 19–24.
- SAKR, N.; GEORGANAS, N.; ZHAO, J. A perceptual quality metric for haptic signals. In: **Proceedings of the IEEE International Workshop on Haptic, Audio and Visual Environments and Games. Proceedings** ... Ottawa, Ont., Canada: [s.n.], 2007. p. 27–32.
- SALISBURY, J. K. Making graphics physically tangible. **Communications of the ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 42, n. 8, p. 74–81, ago. 1999.
- SALISBURY, K.; CONTI, F.; BARBAGLI, F. Haptic rendering: Introductory concepts. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 24, n. 2, p. 24–32, mar.-abr. 2004.
- SANCHES, S. R. R. et al. Sistemas imersivos que utilizam avatares baseados em vídeo: visão geral e implementação de um sistema simplificado. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**, v. 2, p. 93–123, 2012.
- SAPONAS, T. S. et al. Demonstrating the feasibility of using forearm electromyography for muscle-computer interfaces. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings** ... New York, NY, USA: ACM, 2008. (CHI '08), p. 515–524. ISBN 978-1-60558-011-1. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1357054.1357138>>.
- SATAVA, R. M.; GALLAGHER, A. G.; PELLEGRINI, C. A. Surgical competence and surgical proficiency: definitions, taxonomy and metrics. **Journal of the American College of Surgeons**, v. 196, n. 6, p. 933–937, jun. 2003.
- SCLAVERANO, S. et al. Biopsym: A simulator for enhanced learning of ultrasound-guided prostate biopsy. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2009. v. 142, p. 301–306. ISBN 9781586039646. ISSN 09269630.
- SHAKIL, O.; MAHMOOD, F.; MATYAL, R. Simulation in echocardiography: An ever-expanding frontier. **Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia**, v. 26, n. 3, p. 476–485, jun. 2012.
- SHI, H.; PAYANDEH, S. Suturing simulation in surgical training environment. In: . St. Louis, MO: [s.n.], 2009. p. 422–423. ISBN 9781424438044. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-76249090937&partnerID=40&md5=3d46f1c14a83e5b90695559d0a50f6bf>>.
- SHI, H. F.; PAYANDEH, S. Suturing simulation in surgical training environment. In: **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 09). Proceedings** ... [S.I.: s.n.], 2009. p. 422–423.

- SINGAPOGU, R. et al. Endovascular seldinger needle placement: A simulator for examining haptic skills. In: . Manhattan Beach, CA: [s.n.], 2014. v. 196, p. 384–386. ISBN 9781614993742. ISSN 09269630.
- SOKOLOWSKI, J. A. et al. Challenges with simulator development for ultrasonography training: Developing hardware - software interface. In: **Proceedings of the Emerging M&S Applications in Industry & Academia / Modeling and Humanities Symposium. Proceedings ...** San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation International, 2013. (EAIA and MatH '13), p. 4:1–4:7. ISBN 978-1-62748-039-0.
- SOUZA, I.; JR., C. S.; ZUFFO, M. A virtual reality simulator for training of needle biopsy of thyroid gland nodules. In: . Long Beach, CA: [s.n.], 2009. v. 142, p. 352–357. ISBN 9781586039646. ISSN 09269630.
- SOUZA, I. A. **Simulador de Realidade Virtual para o Treinamento de Biópsia por Agulha de Nódulos da Glândula Tireoide.** Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- SOUZA, I. d. A. et al. Development and evaluation of a virtual reality simulator for training of thyroid gland nodules needle biopsy. In: **Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2008. (VRST '08), p. 245–246. ISBN 978-1-59593-951-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1450579.1450635>>.
- STEFANIDIS, D. et al. Cadavers versus pigs: Which are better for procedural training of surgery residents outside the or? **Surgery**, v. 154, n. 1, p. 34 – 37, 2013. ISSN 0039-6060.
- STEINBACH, E. et al. Haptic communications. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. 4, p. 937–956, 2012. ISSN 0018-9219.
- SUTHERLAND, C. et al. Towards an augmented ultrasound guided spinal needle insertion system. In: **Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC' 11). Proceedings ...** [S.l.: s.n.], 2011. p. 3459–3462. ISSN 1557-170X.
- SUTHERLAND, C. et al. An augmented reality haptic training simulator for spinal needle procedures. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 60, n. 11, p. 3009–3018, Nov 2013. ISSN 0018-9294.
- TAMAKI, E.; MIYAKI, T.; REKIMOTO, J. Possessedhand: techniques for controlling human hands using electrical muscles stimuli. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2011. (CHI '11), p. 543–552. ISBN 978-1-4503-0228-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1978942.1979018>>.
- TAYLOR, D. C. et al. Viscoelastic properties of muscle-tendon units: The biomechanical effects of stretching. v. 18, n. 3, p. 300–308, 1990.

- TERZOPOULOS, D. et al. Elastically deformable models. **SIGGRAPH Computer Graphics**, v. 21, n. 4, p. 205–2014, 1987.
- TOKUNAGA, D. M. et al. Registration system errors perception in augmented reality based on rgb-d cameras. In: **Proceedings of International Human-Computer Interaction. Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2015.
- TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. In: \_\_\_\_\_. [S.I.]: Editora da SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. cap. Fundamentos de Realidade Virtual, p. 22–38.
- TROMBETTA, A. B.; SILVA, F. B. d. A. e.; PINHO, M. S. Avaliação de técnicas de auxílio a wayfinding em ambientes virtuais. In: **Proceedings of IX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Proceedings ...** Petrópolis, RJ, Brazil: [s.n.], 2007. p. 143–151.
- TSAI, W.-W. et al. The assessment of stability and reliability of a virtual reality-based intravenous injection simulator. **CIN - Computers Informatics Nursing**, v. 26, n. 4, p. 221–226, 2008. ISSN 15382931.
- TURKIYYAH, G. et al. Mesh cutting during real-time physical simulation. In: **SIAM/ACM Joint Conference on Geometric and Physical Modeling. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2009. (SPM '09), p. 159–168. ISBN 978-1-60558-711-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1629255.1629275>>.
- TZAFESTAS, C. et al. Pilot evaluation study of a virtual paracentesis simulator for skill training and assessment: The beneficial effect of haptic display. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 17, n. 2, p. 212–229, 2008. ISSN 10547460.
- ULLRICH, S.; KUHLEN, T. Haptic palpation for medical simulation in virtual environments. **Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on**, v. 18, n. 4, p. 617–625, April 2012. ISSN 1077-2626.
- ULLRICH, S.; RAUSCH, D.; KUHLEN, T. Bimanual haptic simulator for medical training: System architecture and performance measurements. In: . Nottingham: [s.n.], 2011. p. 39–46. ISBN 9783905674330. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84858398687&partnerID=40&md5=11a1c73483d75bd271add664c9abb5a4>>.
- VAPENSTAD, C. et al. Perceiving haptic feedback in virtual reality simulators. **Surgical Endoscopy**, v. 27, n. 7, p. 2391–2397, 2013.
- VIDAL, F. et al. Simulation of ultrasound guided needle puncture using patient specific data with 3d textures and volume haptics. **Computer Animation and Virtual Worlds**, v. 19, n. 2, p. 111–127, 2008. ISSN 15464261.
- VILLARD P.F.AND VIDAL, F. et al. A prototype percutaneous transhepatic cholangiography training simulator with real-time breathing motion.

- International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 4, n. 6, p. 571–578, 2009. ISSN 18616410.
- WANG, F. et al. Development of a microsurgery training system. In: **30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS' 08). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2008. p. 1935–1938. ISSN 1557-170X.
- WEI, L.; NAHAVANDI, S.; WEISINGER, H. Optometry training simulation with augmented reality and haptics. In: **Proceedings of the 2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (ASONAM '13), p. 976–977. ISBN 978-1-4503-2240-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2492517.2500326>>.
- WEI, L. et al. Augmented optometry training simulator with multi-point haptics. In: **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC' 12). Proceedings ...** [S.I.: s.n.], 2012. p. 2991–2997.
- WEN, R. et al. In situ spatial ar surgical planning using projector-kinect system. In: **Proceedings of the Fourth Symposium on Information and Communication Technology. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (SoICT '13), p. 164–171. ISBN 978-1-4503-2454-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2542050.2542060>>.
- WILLIS, R. E. et al. Virtual reality simulators: valuable surgical skills trainers or video games? **Journal of Surgical Education**, v. 71, n. 3, p. 426–433, May-Jun 2014.
- YASMIN, S.; SOURIN, A. A new approach to virtual palpation. In: **Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2012. (VRCAI '12), p. 203–212. ISBN 978-1-4503-1825-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2407516.2407567>>.
- ZADOW, U. von et al. Simmed: Combining simulation and interactive tabletops for medical education. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (CHI '13), p. 1469–1478. ISBN 978-1-4503-1899-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2466196>>.
- ZADOW, U. von et al. The simmed experience: Medical education on interactive tabletops. In: **Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2013. (ITS '13), p. 297–300. ISBN 978-1-4503-2271-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2512349.2514587>>.
- ZHANG, J. et al. Real-time force simulation in multi-tissue virtual surgery. **Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics**, v. 22, n. 2, p. 216–225, 2010. ISSN 10039775.

ZHANG, J.-S. et al. An interactive high-fidelity haptic needle simulator with gpu acceleration. In: **Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry. Proceedings ...** New York, NY, USA: ACM, 2010. (VRCAI '10), p. 347–352. ISBN 978-1-4503-0459-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1900179.1900251>>.

## **APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DE REQUISITOS - MÉTODO VOLERE**

O Método Volere foi aplicado para o levantamento de requisitos, incluindo entrevistas e observação do comportamento de aprendizes e especialistas durante o treinamento na FOB/USP. A observação e entrevistas foram realizadas na data de 8 de maio de 2012, com o fechamento dos requisitos em reunião realizada com especialistas em 10 de outubro de 2012.

**1 - Propósito:** criar simulação de anestesia para treinamento odontológico envolvendo o procedimento para bloqueio do nervo alveolar inferior. Viabilidade: procedimento de aplicação de anestesia em odontologia é uma importante etapa do tratamento e possui alta taxa de insucesso. Por exemplo, um erro comum nos treinamentos consiste no aprendiz não completar todo o procedimento, realizando algumas tarefas. Além disso, o treinamento inicialmente é realizado entre os aprendizes ou em frutas e a avaliação do aprendiz é realizada somente no final do procedimento, sendo baseada nas respostas do paciente (dor, por exemplo). Não há uma avaliação durante o treinamento.

**2 - Interessados:** discentes e docentes do curso de Odontologia (FOB/USP), para treinamento do procedimento. Pacientes no tratamento dentário, principalmente crianças - de 07 a 12 anos. Estudantes e pesquisadores das áreas de Design, para a modelagem e estudo de estruturas anatômicas;

e de Sistemas de Informação, Ciência da Computação, Engenharia da Computação, no desenvolvimento, manutenção, adaptabilidade, extensão e testes de usabilidade do sistema.

### **3 - Restrições Obrigatórias:**

- base do *framework* ViMeT (*Virtual Medical Training*), que disponibiliza métodos de deformação de objetos virtuais (estruturas anatômicas ou órgãos e tecidos humanos), detecção de colisão entre objetos virtuais (tecidos, órgãos humanos e instrumento médico), configuração do ambiente, renderização/visualização 3D, carregamento e especificação de objetos 3D para representação das estruturas anatômicas ou órgãos e tecidos humanos (crânio - mandíbula e maxilar, dentes, gengiva e mucosa) e instrumentos (seringa Car-pule e agulha);
- interação háptica (dispositivo háptico Phantom Omni);
- objetos tridimensionais no formato OBJ.

### **4 - Convenções e Definições.** Na visão dos Designers:

- objetos fechados - a modelagem não considera somente a casca/superfície dos objetos;
- Realidade Aumentada - inclui *feedback* háptico;
- Protótipo (produto) e Mocap (versão para testes).

**5 - Fatos e Suposições:** emprego de outras tecnologias, por exemplo, *engines* e bibliotecas de *software*, procurando a integração de tecnologias, devido ao tempo para desenvolvimento. Sugestão: *software Unity 3D* para visualização “mais realista” de objetos. Adicionalmente, tal ferramenta oferece recursos como detecção de colisão entre objetos e há *plugins* para suporte à certos dispositivos, como o Phantom Omni.

**6 - Escopo do Trabalho:**

- situação atual: não há sistemas computacionais específicos para treinamento de aplicação de anestesia odontológica para bloqueio do nervo alveolar inferior. Há simuladores para treinamento de anestesias em outras regiões do corpo humano (espinha dorsal e região inguinal, por exemplo) e um único simulador para aplicação de anestesia odontológica (POYADE; LYSAKOWSKI; ANDERSON, 2014), que não havia sido publicado em veículo de divulgação científica até o fechamento dos requisitos e não apresentava informações sobre a interação haptica e a análise da execução do procedimento (ponto correto de inserção, estruturas atingidas incorretamente: nervos, vasos e ossos, estruturas atingidas corretamente: gengiva e músculo). Nota-se que há interação haptica, visualização 3D por meio de óculos e uma maior preocupação com os objetos 3D da cabeça e pescoço;

- contexto: o procedimento inclui preparação do paciente, diálogo com o paciente, preparação do material odontológico e montagem da seringa, aplicação de anestesia superficial ou pomada, manuseio da seringa e agulha (inserção, perfuração, afastamento e extração completa), injeção do anestésico, sem monitoramento de sinais vitais do paciente (pressão arterial ou batimento cardíaco, por exemplo), procedimento odontológico e descarte de materiais.

Observação: não há processo de avaliação durante a execução do procedimento, somente no final é realizada a avaliação baseada no comportamento/reacão do paciente.

**7 - Modelo dos Dados do Negócio:** utilização do framework ViMeT (Figura 26).

**8 - Escopo do Produto (fronteiras e casos de uso):** discentes-aprendizes e docentes-especialistas compõem os atores, realizando ações

como: definição do cenário de treinamento e objetos 3D, incluindo características, para representar instrumentos e órgãos ou tecidos humanos; e manipulação de instrumento/agulha, inserção, afastamento, rotação, toque no osso para orientação da posição da ponta da agulha durante o procedimento, aplicação lenta do anestésico e bloqueio de um conjunto de três nervos. Duas técnicas de aplicação de anestesia podem ser adotadas, definindo a ordem de bloqueio dos três nervos.

Especificação inicial de dois casos de uso para o sistema computacional de treinamento virtual, sendo que ator no primeiro caso é o docente ou especialista (Figura 24) e, no segundo caso, o ator é o discente ou aprendiz (Figura 25).

## **9 - Requisitos Funcionais e dos Dados (cartão Volere)**

*Descrição (ordem aleatória):* 1 - Movimento da seringa (inserção, aprofundamento, afastamento, rotação e posição da agulha, bem como a orientação do bisel da agulha);

2 - Diálogo com o paciente (explicação das ações e tranquilização do paciente);

3 - Visualização de objetos (estruturas anatômicas que constituem a boca do paciente, instrumentos e materiais odontológicos e a própria mão do dentista ou aprendiz);

4 - Posição dos dedos e mãos do aprendiz durante o treinamento;

5 - Posição do ponto de vista do aprendiz durante o treinamento, principalmente na identificação do ponto de inserção;

6 - Retorno tátil no contato, penetração, afastamento e extração da agulha, além de contato entre as mãos do aprendiz e a boca ou estrutura internas da

boca do paciente;

7 - Disposição dos instrumentos e materiais, incluindo a montagem da seringa;

8 - Injeção de anestésico e aspiração utilizando a própria seringa;

9 - Aspiração de resíduos e substâncias durante o treinamento;

10 - Definição do cenário de treinamento, especificando a situação e técnicas de aplicação;

11 - Contatos entre diversos objetos do ambiente (dedos e boca do paciente, agulha e tecidos ou órgãos, aspirador e resíduos);

12 - Comportamento de órgãos e tecidos, como deformação da mucosa no momento do contato e inserção da agulha;

13 - Sensações transmitidas pelos nervos (impulsos elétricos), as quais devem ser bloqueadas na aplicação do anestésico para conforto do paciente;

14 - Comportamento de paciente e aprendiz, envolvendo fisionomia (expressão de dor e dormência da língua e lábios) e movimentos, inclusive, involuntários, do paciente;

15 - Controle de luz do ambiente (aparelho odontológico).

*Razão:* a principal razão em atender os itens é o realismo. O treinamento torna-se semelhante ao treinamento real à medida que os itens são atendidos, considerando que o grau de completude para cada item é de grande importância para aproximação da realidade. A definição de tal grau de realismo não é uma tarefa trivial. A avaliação também pode ser considerada um item desejável (não é um requisito), visto que seria interessante testar o conhecimento e a habilidade do aprendiz durante ou após o treinamento.

*Origem:* Estudantes e professores de odontologia: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e

13;

Estudantes de Design: 6 e 12;

Estudantes de Computação: 6, 10, 11, 12, 14 e 15.

*Dependências:* Item 6 (retorno tático) depende do item 1 (comportamento da seringa), do item 12 (comportamento de estruturas anatômicas) e do item 11 (detecção de contato);

Item 11 (detecção de contato) depende do item 1 (movimento da seringa), do item 4 (posição dos dedos e das mãos), do item 9 (aspiração de resíduos e substâncias) e da posição dos objetos anatômicos - item 10;

Item 12 (deformação) depende dos itens 1, 11 e 12 - a deformação depende do contato, do comportamento da seringa e das estruturas anatômicas;

Item 3 depende do item 10 - objetos dependem do tipo de treinamento.

### **10 - Requisitos de Aparência e Sensações:**

- ViMeTWizard para configuração do ambiente (interface gráfica disponibilizada junto ao ViMeT);
- definição de novas telas da interface - tarefa a ser realizada.

**11 - Requisitos de Usabilidade e Humanidade:** definição de configuração da simulação - tarefa a ser realizada (*ViMeTWizard* pode ser utilizada).

### **12 - Requisitos de Desempenho:**

- tempo real: 30 Hz para renderização visual e 1000 Hz para renderização háptica ou tática. No caso da renderização háptica, há trabalhos na literatura demonstrando que as taxas de renderização podem variar entre 500 e 600 Hz para alcance do tempo real (COLES; MEGLAN; JOHN, 2011);

- capacidade de armazenamento e utilização de memória no carrega-

mento de objetos 3D, incluindo mapeamento de texturas.

**13 - Requisitos Operacionais e Ambientais**, envolvendo o local do treinamento virtual:

- clínica da FOB/USP, em complementação ao treinamento em pacientes reais ou em outros estudantes;
- sala de aula - antes do treinamento real na clínica;
- usuário: geralmente sentado;
- luz (equipamento odontológico).

**14 - Requisitos de Mantenabilidade e Suporte:** trabalho contínuo, considerando refinamento da interação, principalmente a interação tátil, visualização 3D, deformação de objetos 3D, precisão na detecção de contato, comportamento do anestésico e dos tecidos antes, durante e após a aplicação da solução, comportamento dos nervos (impulsos elétricos). O trabalho consiste na busca pelo “realismo”.

**15 - Requisitos de Segurança:**

- acesso restrito: configuração da tarefa (dentista ou especialista), especificando a técnica a ser utilizada e o cenário de treinamento;
- cuidados no manuseio do dispositivo de tato, evitando danos materiais.

**16 - Requisitos Culturais e Políticos:** dependendo do estágio de desenvolvimento do sistema de treinamento, testes podem desencorajar discentes e docentes quanto ao seu uso.

**17 - Requisitos Legais:** Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (consultar legislação com a ajuda de profissionais da FOB/USP).

**18 - Temas Abertos:**

- uso de outros dispositivos para retorno tátil, comerciais ou desenvolvidos pelo laboratório;
- limitações do dispositivo tátil: comprimento do braço do equipamento, formato e espaço de trabalho;
- utilização de interfaces tangíveis ou manequins.

**19 - Soluções Disponíveis:** revisão bibliográfica apresentou uma série de sistemas computacionais para manipulação de agulhas e seringas com o propósito de atuar no treinamento médico, sendo que a maioria adota a tecnologia háptica para retorno tátil.

**20 - Novos Problemas:**

- validação do simulador;
- agendamento do treinamento virtual;
- formas para avaliar o treinamento virtual e os aprendizes, consistindo na implementação de formas de avaliação dos usuários e do próprio sistema computacional de treinamento.

**21 - Tarefas:** a princípio, planejamento e especificação das fases, constituindo na definição da tecnologia para desenvolvimento do sistema computacional de treinamento (baseado ViMeT), na especificação da arquitetura do sistema, no desenvolvimento da interação háptica, no estudo e testes sobre o retorno tátil.

**22 - Migração do Novo Produto:** Não se aplica.

**23 - Riscos:**

- dispositivo tátil com diversas limitações;
- visualização não realista pode influenciar na interação tátil e vice-versa;

- simulação de parte do procedimento pode gerar desinteresse dos aprendizes, visto que o desenvolvimento do sistema de treinamento deve ocorrer de forma gradativa, envolvendo uma tarefa de cada vez do procedimento de anestesia.

**24 - Custos:** informações insuficientes para contabilizar custos envolvendo equipe para desenvolvimento, tempo de desenvolvimento, *hardware* e *software*.

**25 - Documentação de Usuário e Treinamento:** elaboração do guia de instalação, configuração e execução.

**26 - Sala de Espera:** seção Riscos.

**27 - Ideias para Soluções:** considerar não somente as propriedades dos objetos 3D que representam tecidos e órgãos (resistência, viscosidade e elasticidade), envolvendo também as propriedades dos objetos 3D considerados rígidos, os quais representam a agulha e a seringa.

**28 - Anotações Adicionais:** Levantamento de requisitos consistiu em entrevistas rápidas com docentes e discentes do curso de Odontologia, vídeos e livro do Professor Stanley F. Malamed demonstrando o procedimento (referência na área segundo os docentes da FOB/USP) (MALAMED, 2004b) (MALAMED, 2004a), observação do ambiente real com a execução do procedimento por parte de discentes.

Determinadas partes da documentação do Método Volere serão completadas conforme os contatos com os membros da FOB/USP avançam, no entanto, as informações coletadas até o momento permitem a especificação de partes do sistema computacional de treinamento em anestesia bucal a ser desenvolvido.

# APÊNDICE B – REVISÃO SISTEMÁTICA – RESULTADOS DETALHADOS EM TABELAS

A revisão foi iniciada pela definição do objetivo, que consistiu no levantamento do estado da arte para simulação de inserção de agulha para treinamento envolvendo a interação háptica. A área de saúde, embora importante no contexto proposto, não foi especificada, pois determinadas técnicas e métodos de interação háptica poderiam estar relacionados a outras áreas e seriam excluídos da busca.

A questão de pesquisa elaborada foi: “Qual a abrangência de trabalhos que envolvem simulação de treinamento para inserção de agulha empregando a interação háptica?” O idioma adotado foi o inglês e as palavras-chaves foram **Needle**, **Haptic** e **Training**. As bases científicas de busca selecionadas foram IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), ACM (*Association of Computing Machinery*) e Scopus, sendo o período de 2008 a abril de 2014. As bases de busca selecionadas são formadas predominantemente por trabalhos relacionados as áreas de Engenharia e Computação.

Foi definida uma única *String* de busca: “*Needle AND Haptic AND Training*”. Para ser incluído , um artigo deveria atingir os seguintes critérios: estar dentro intervalo de tempo especificado, ter sido publicado como *short* ou *full*

*paper*, descrever os seguintes temas: interação háptica, inserção de agulha e treinamento.

Os critérios de exclusão foram: o artigo estar em situação de multiplicidade (repetição do artigo na mesma ou em outra base de busca), o artigo estar em situação de indisponibilidade (artigo inacessível no momento da busca), o artigo não descrever os temas de inclusão (interação háptica, inserção de agulha e treinamento), o artigo apresentar trabalho exclusivamente para teleoperação com interação háptica (não visa ao treinamento e sim à execução de um procedimento cirúrgico propriamente dito), o artigo tratar de procedimento não relacionado com inserção de agulha (somente palpação).

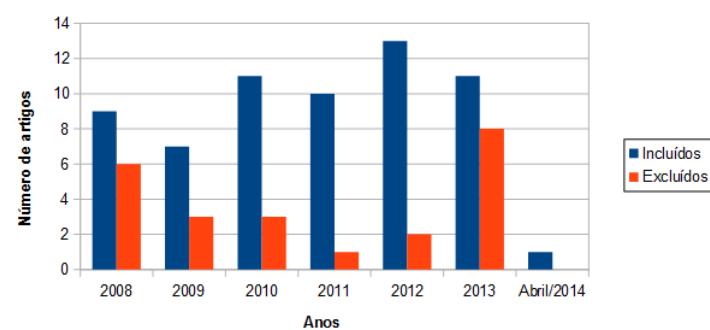
Os artigos que abordaram a interação pseudo-háptica foram incluídos, bem como os que apresentaram somente projetos de simulação de treinamento, ou somente modelos de geração de retorno háptico, ou somente métodos de deformação de objetos virtuais para posterior aplicação em inserção de agulha, no entanto, mencionaram inserção de agulha.

Após o encerramento da fase de planejamento da RS, iniciou-se a fase de execução, com a seleção dos artigos. Na Figura 57 pode-se observar os números de artigos incluídos e excluídos por ano de publicação, formando um conjunto das três bases científicas de busca.

A RS foi finalizada com a extração de categorias dos artigos e elaboração dos relatórios. Nas Tabelas 6, 7 e 8, são apresentados os artigos excluídos, indicando as justificativas para as exclusões.

Nas Tabelas 9, 10 e 11, encontradas no Apêndice B, são apresentadas as listas de artigos incluídos por base de busca, indicando as principais subcategorias. A diferença entre as notações “Não” e “Não especificado” é a seguinte: a primeira indica inexistência e a segunda, existência sem especificação.

Figura 57 - Artigos incluídos e excluídos classificados por ano de publicação.



Fonte: Autor

**Tabela 6 - Artigos excluídos - Base IEEE**

<b>Citação</b>	<b>Motivo da Exclusão</b>
(WEI et al., 2012)	Multiplicidade de artigos
(COLES; JOHN, 2010)	Multiplicidade de artigos
(COLES et al., 2009a)	Simulação de palpação
(LEUSCHKE et al., 2008)	Multiplicidade de artigos

Fonte: Autor

**Tabela 7 - Artigos excluídos - Base ACM**

<b>Citação</b>	<b>Motivo da Exclusão</b>
(WEN et al., 2013)	Uso de projetor de dispositivo Kinect no auxílio de cirurgias. Desconsiderou interação haptica e inserção de agulha
(COCA et al., 2013)	Foco na construção de objetos 3D para simulação
(SOKOLOWSKI et al., 2013)	Foco na descrição de desafios para desenvolvimento de sistema de ultrassonografia. Desconsiderou interação haptica
(ZADOW et al., 2013b)	O uso de mesa interativa multi toque para educação médica com colaboração, sem retorno haptico em simulação de inserção de agulha. Desconsiderou inserção de agulha
(ZADOW et al., 2013a)	O uso de mesa interativa multi toque para educação médica com colaboração, sem retorno haptico em simulação de inserção de agulha. Desconsiderou inserção de agulha
(BLUM et al., 2013)	Projeto e implantação da plataforma <i>timestreams</i> , demonstrando usos da computação ubíqua e pervasiva dentro destas novas formas de discurso sobre mudança climática e insegurança energética. Desconsiderou interação haptica, inserção de agulha e treinamento
(JACOB et al., 2013)	Braço robótico para auxiliar cirurgias. Desconsiderou inserção de agulha

Citação	Motivo da Exclusão
(MENTIS; TAYLOR, 2013)	Colaboração manual e visual, enfatizando o uso de imagens em procedimentos médicos
(YASMIN; SOURIN, 2012)	Trata somente de simulação de palpação. Desconsiderou inserção de agulha
(AHMED; BENFORD; CRABTREE, 2012)	Documentação de trabalhos musicais de DJs. Desconsiderou treinamento
(DRIMUS; BILBERG, 2011)	Indisponibilidade
(PIELOT et al., 2011)	Indisponibilidade
(PUNAK; KURENOV; CANCE, 2011)	Indisponibilidade
(TAMAKI; MIYAKI; RE-KIMOTO, 2011)	Controle de mão por meio de estímulos musculares. Desconsiderou interação haptica e inserção de agulha
(MACHORRO-FERNANDEZ; PARRA-VEGA; LOPEZ-JUAREZ, 2010)	Abordagem para treinamento. Desconsiderou interação haptica e inserção de agulha
(ARSHAD et al., 2010)	Descrição de desafios sobre engenharia de requisitos, projeto e desenvolvimento de sistema de simulação em geral. Desconsiderou inserção de agulha
(ADLER et al., 2010)	Foco no método para obtenção de objetos 3D baseado em imagens de pacientes
(TURKIYYAH et al., 2009)	Método interativo de corte de malhas de polígonos para deformação de tecidos baseado em física que pode ser usado em treinamento na área de saúde com interação haptica. Desconsiderou inserção de agulha
(NUNES; COSTA, 2008)	Visão geral de Realidade Virtual em saúde no Brasil, mencionando a presença de sistemas hapticos

<b>Citação</b>	<b>Motivo da Exclusão</b>
(SAPONAS et al., 2008)	Desenvolvimento de interface músculo-computador para classificar gestos. Desconsiderou inserção de agulha e treinamento
(HEUTEN et al., 2008)	Desenvolvimento de cinto para indicar direção e desvios em determinadas rotas. Desconsiderou inserção de agulha

Fonte: Autor

Tabela 8 - Artigos excluídos - Base Scopus

<b>Citação</b>	<b>Motivo da Exclusão</b>
(SINGAPOGU et al., 2014)	Indisponibilidade
(JIANG et al., 2013b)	Indisponibilidade
(JIANG et al., 2013a)	Indisponibilidade
(SUTHERLAND et al., 2013)	Multiplicidade de artigos
(KANG; LEE, 2013a)	Multiplicidade de artigos
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013)	Multiplicidade de artigos
(GOKSEL et al., 2013)	Multiplicidade de artigos
(CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNEL, 2013)	Indisponibilidade
(FUERST et al., 2012)	Multiplicidade de artigos
(FUERST et al., 2012)	Multiplicidade de artigos - Mesma base
(KIKUCHI et al., 2012)	Indisponibilidade

Citação	Motivo da Exclusão
(GHANBARI et al., 2012)	Multiplicidade de artigos
(FORTMEIER; MEYER; HANDELS, 2012)	Indisponibilidade
(LERMAN; SOUZDAL-NITSKI; NAROUZE, 2012)	Indisponibilidade
(NARAYANAN et al., 2012)	Indisponibilidade
(GONENC; GUROCAK, 2012)	Multiplicidade de artigos
(MANOHARAN et al., 2012)	Multiplicidade de artigos
(MONZON et al., 2012b)	Multiplicidade de artigos
(ULLRICH; KUHLEN, 2012)	Multiplicidade de artigos
(ABATE; NAPPI; RICCI-ARDI, 2011)	Indisponibilidade
(COLES et al., 2011b)	Indisponibilidade
(ULLRICH; RAUSCH; KUHLEN, 2011)	Indisponibilidade

Citação	Motivo da Exclusão
(SUTHERLAND et al., 2011)	Multiplicidade de artigos
(SUTHERLAND et al., 2011)	Multiplicidade de artigos - Mesma base
(JANSSOONE et al., 2011)	Indisponibilidade
(DANKELMAN; DOB-BELSTEEN; BREED-VELD, 2011)	Multiplicidade de artigos
(GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a)	Multiplicidade de artigos
(GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b)	Multiplicidade de artigos
(COLES et al., 2011a)	Multiplicidade de artigos
(NI et al., 2011)	Multiplicidade de artigos
(ABATE et al., 2010)	Multiplicidade de artigos
(ZHANG et al., 2010a)	Indisponibilidade
(LE; NAHAVANDI; CREIGHTON, 2010)	Multiplicidade de artigos
(FARBER et al., 2009a)	Indisponibilidade
(FARBER et al., 2009b)	Indisponibilidade
(LUBOZ et al., 2009)	Indisponibilidade
(SCLAVERANO et al., 2009)	Indisponibilidade

Citação	Motivo da Exclusão
(SOUZA; JR.; ZUFFO, 2009)	Indisponibilidade
(CHENTANEZ et al., 2009)	Multiplicidade de artigos
(SHI; 2009a)	Multiplicidade de artigos
(COLES et al., 2009b)	Multiplicidade de artigos
(ALP et al., 2009)	Avaliação de técnica de transiluminação em um determinado cenário. Desconsiderou inserção de agulha
(SOUZA et al., 2008)	Multiplicidade de artigos
(FARBER et al., 2008)	Indisponibilidade
(FEI et al., 2008)	Indisponibilidade
(JOHN et al., 2008)	Indisponibilidade
(LIM et al., 2008)	Indisponibilidade
(NII et al., 2008)	Indisponibilidade
(NII et al., 2008)	Indisponibilidade
(TAFESTAS et al., 2008)	Indisponibilidade
(WANG et al., 2008)	Indisponibilidade
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008a)	Multiplicidade de artigos
(LEUSCHKE et al., 2008)	Conservação de documentos históricos mencionando certas similaridades com habilidades manuais de procedimentos médicos. Desconsiderou treinamento
(TSAI et al., 2008)	Sistema de Realidade Virtual para injeção intravenosa. Desconsiderou interação haptica

Fonte: Autor

Tabela 9 - Revisão Sistemática - Resultados da base IEEE

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(GOKSEL et al., 2013)	RV	Braquiterapia	Próstata	Phantom Omni ou Phantom Premium 1.5 ou 2 Novint Falcon	Não	MEF de (DIMAO; SALCUDEAN, 2005)	Subjetivo	Não Especificado - 1 centro médico
(KANG; LEE, 2013b)	Não	Biópsia	Pulmão	Dispositivo específico	Não	Não	Não	Não
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2013)	RV	Injeção celular	Célula	Dispositivo comercial não especificado	Kelvin-Voigt, Viga-Coluna de Euler e St. Venant-Kirchhoff	MEF de Massa Tensora	Não	Não
(SUTHERLAND et al., 2013)	RA	Intervenção espinhal	Espinha	Phantom Premium 1.5	Não	MEF de (DIMAO; SALCUDEAN, 2005)	Subjetivo	4 especialistas e 6 novatos (estudantes e técnicos) - 1 centro médico
(HOREMAN et al., 2012)	Não	Laparoscopia	Não	Artefato	Não	Subjetivo e Objetivo	11 especialistas (cirurgiões e ginecologistas) e 21 novatos - 1 centro médico	Não
(FUERST et al., 2012)	RA	Vertebroplastia e Cifoplastia	Não	Dispositivo de captura	Não	Não	Não	Não
(GHANBARI et al., 2012)	RV	Injeção celular	Célula	Phantom Omni	Não	Não	Não	Não

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(PAOLIS, 2012)	RV	Laparoscopia	Não	2 Novint Falcon ou 2 Phantom Omni	Não	Massa-mola	Objetivo	Não
(CHAN et al., 2012)	RV	Intervenção radiológica	Não	Phantom Premium 1.5	Não	Não	Objetivo	3 especialistas e 18 novatos - 1 centro médico
(GONENC; GUROCAK, 2012)	RV	Cirurgia	Não	Dispositivo específico	(OKAMURA; SIMONE; O'LEARY, 2004)	Não	Não	Não
(MANOHARAN et al., 2012)	RV	Anestesia	Espinha	Dispositivo específico ou	Lei de Hooke	Massa-mola	Subjetivo e Objetivo	1 especialista e 8 novatos - 1 centro médico
(MONZON al., 2012a)	et	Interface tangível	Não	Quanser 3DOF Artefato	Não	Não	Subjetivo	7 especialistas e 21 novatos - 1 centro médico
(ULLRICH; KUHLEN, 2012)	RV	Anestesia	Região inguinal	2 Phantom Omni	Lei de Hooke	Não	Subjetivo	17 especialistas e 23 novatos - 1 centro médico
(EDMUNDS; PAI, 2012)	RV	Cirurgia	Não	Dispositivo comercial não especificado	Não	Não	Subjetivo	24 participantes - 1 centro médico
(DANKELMAN; DOBBELS-TEEN; BREEDVELD, 2011)	RV ou interface tangível	Cirurgia	Não	Simendo	Não	Não	Não	Não

Citação	Tipos de Simula-ção	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuá-rios	Tipos de usuá-rios
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2011)	Não	Injeção celular	Célula	Dispositivo comercial não especificado	St. Venant-Kirchhoff e Viga-Coluna de Euler	MEF	Não	Não
(SUTHERLAND et al., 2011)	RA	Intervenção espinhal	Espinha	Phantom Premium 1.5	Não	MEF de (DIMAO; SALCUDEAN, 2005)	Não	Não
(GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011a)	RV	Braquiterapia	Próstata	2 Novint Falcon ou Phantom Premium 1.5	Não	MEF	Não	Não
(GOKSEL; SAPCHUK; SALCUDEAN, 2011b)	RV	Braquiterapia	Próstata	2 Novint Falcon ou Phantom Premium 1.5	Não	MEF	Não	Não
(COLES et al., 2011a)	RA	Intervenção radiológica	Não	2 Novint Falcon ou Phantom Omni	Lei de Newton	Não	Subjetivo	7 especialistas - 1 centro médico
(NISKY et al., 2011)	RV	Tele cirurgia	Não	Phantom Premium 1.5	(OKAMURA; SIMONE; O'LEARY, 2004)	Não	Subjetivo	21 participantes - 1 centro médico
(NI et al., 2011)	RV	Biópsia	Não	Phantom Omni e Phantom Premium 1.5	Variação de Voigt (BRETT et al., 1997)	Não	Objetivo	4 especialistas e 12 novatos - 1 centro médico

Citação	Tipos de Simula-ção	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuá-rios	Tipos de usuá-rios
(LE; NAHA-VANDI; CREIGHTON, 2010)	RV	Injeção celular	Coração	Phantom Omni	Lei de Newton	Não	Objetivo	10 participantes - 1 centro médico
(SHI; PAYAN-DEH, 2009b)	RV	Cirurgia	Não	2 Phantom Omni	Não	Massa-mola	Não	Não
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008b)	RV	Injeção celular	Célula	Dispositivo comercial não especificado	Kelvin-Voigt e Viga-Coluna de Euler	MEF	Não	Não
(LADJAL; HANUS; FERREIRA, 2008a)	RV	Injeção celular	Célula	Dispositivo comercial não especificado	Kelvin-Voigt e Viga-Coluna de Euler	MEF	Não	Não
(NAEMURA et al., 2008)	Interface Tangível	Anestesia	Espinha	Artefato	Não	Não	Não	Não
(WANG et al., 2008)	RV	Microcirurgia	Vasos sanguíneos	Phantom Desktop	Lei de Newton	Não	Não	Não

Fonte: Autor

Tabela 10 - Revisão Sistemática - Resultados da base ACM

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(MAHDAVIKHAH et al., 2014)	RV	Não		Quanser 3DOF	Não	MEF	Não	Não
(ESTEBAN et al., 2013)	Não	Cirurgia	Olhos	Não	Não	Não	Não	Não
(WEN; NAHA-VANDI; WEISINGER, 2013)	RA	Optometria	Olhos	Phantom Omni	Não	Massa-mola	Não	5 novatos - 1 centro médico
(WEN et al., 2013)	RV	Biópsia	Braço / vasos sanguíneos	Phantom Omni	Não	Não	Não	Não especificado - 1 centro médico
(LEE et al., 2012)	RA	Injeção intravenosa	Vasos sanguíneos	Dispositivo específico	Não	Objetivo	60 novatos - 1 centro médico	
(ABATE et al., 2010)	RV	Injeção celular	Célula	Cyberforce	Não	Subjetivo	3 especialistas - 1 centro médico	
(ZHANG et al., 2010b)	RV	Não	Não	Phantom Premium 3.0	Voigt	Não	Não	Não

Citação	Tipos de Simula-ção	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuá-rios	Tipos de usuá-rios
(JALOTE-PARMAR; BADKE-SCHAUB, 2010)	RV	Intervenção radiológica	Não	Artefato	Não	Não	Objetivo	8 especialistas e 8 novatos - 1 centro médico
(MAHDAVIKHAH et al., 2010)	RV	Não	Não	Quanser 3DOF	Não	MEF	Não	Não
(CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE, 2010)	RV	Biópsia	Não	2 Virtuose 6D Desktop	Não	Não	Subjetivo	60 novatos - 2 centros médicos
(CORRÊA et al., 2009)	RV	Biópsia	Mama	Phantom Omni	Não	Não	Subjetivo	1 especialista e 11 novatos - 1 centro médico
(KURMOS; JOHN; ROBERTS, 2009)	RV	Não	Não	Novint Falcon	Não	Não	Não	Não
(CHENTANEZ et al., 2009)	RV	Não	Próstata	Artefato	Não	MEF (IRVING; TERAN; FEDKIW, 2004)	Não	Não
(SOUZA et al., 2008)	RV	Biópsia	Tireoide	Phantom Omni	(OKAMURA; SIMONE; O'LEARY, 2004)	Não	Subjetivo	Não especificado - 1 centro médico e 1 centro de computação

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(BIBIN et al., 2008)	RV	Anestesia	Local	Não	Não	Não	Subjetivo	13 especialistas - 1 centro médico
(LÉCUYER; BURKHARDT; TAN, 2008)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Subjetivo	Não especificado - 1 centro médico

Fonte: Autor

Tabela 11 - Revisão Sistemática - Resultados da base Scopus

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(CHELLAL; DUMAS; MILLEVILLE-PENNELL, 2013)	RV	Biópsia	Não	2 Virtuose 6D Desktop	Não	Não	Subjetivo e Objetivo	1 especialista e 61 novatos - 2 centros médicos
(FORTMEIER; MASTMEYER; HANDELS, 2013)	RV	Não	Não	Não	Lei de Hooke	Não	Não	Não

Citação	Tipos de Simula-	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuá-	Tipos de usuá-
	cão						rios	rios
(MASTMAYER et al., 2013)	RV	Cateterismo	Pele	Phantom 1.5 High-Force	Lei de Hooke	Não	Não	Não
(LUBOZ et al., 2013)	RA	Angiografia	Não	Phantom Omni	Não	B-Spline (VIDAL et al., 2008)	Objetivo	10 especialistas e 52 novatos - 6 centros médicos
(LUCIANO et al., 2013)	RV	Intervenção espinhal	Espinha	2 Phantom Omni	Não	Não	Objetivo	63 novatos - 1 centro médico
(CHOI; CHAN; PANG, 2012)	RV	Não	Não	2 Phantom Omni	Não	Massa-mola	Subjetivo	3 participantes - Não especificado
(CHALASANI et al., 2011)	RV	Biópsia	Próstata	Dispositivo específico	Não	Não	Subjetivo	14 especialistas e 12 novatos - 1 centro médico
(CHELLALI; DUMAS; MILLEVILLE-PENNELL, 2011)	RV	Biópsia	Não	2 Virtuose 6D Desktop	Não	Não	Objetivo	60 novatos - 1 centro médico
(COLES; JOHN, 2010)	RV	Injeção de fluido e biópsia	Não	Phantom Omni, Desktop, Premium 1.5 and Novint Falcon	Não	Não	Objetivo	20 participantes - 1 centro médico
(CHARISSIS et al., 2010)	RV	Anestesia	Local	Não	Não	Não	Não	Não

Citação	Tipos de Simulação	Procedimento	Região	Dispositivos	Modelo de força	Método de força	Avaliação de usuários	Tipos de usuários
(ZHANG et al., 2010a)	RV	Braquiterapia	Próstata	Novint Falcon	Não	MEF de (DIMAO; SALCUDEAN, 2005)	Não	Não
(CHAN et al., 2010)	RV	Cirurgia	Não	Phantom Premium 1.5 e Phantom Omni	(CHOI; SUN; HENG, 2003)	Massa-mola	Objetivo	10 participantes - 2 centros médicos
(PAYANDEH; SHI, 2010)	RV	Não	Não	2 Phantom Omni	Não	Massa-mola	Não	Não
(FARBER et al., 2009)	RV	Biópsia	Lombar	Phantom Premium 1.5	Não	Subjetivo	Não especificado - 1 centro médico	Não especificado - 1 centro médico
(LUBOZ et al., 2009)	RV	Intervenção radiológica	Vasos sanguíneos	2 dispositivos específicos	Não	Massa-mola	Subjetivo	Não especificado - 1 centro médico
(VILLARD P.F.AND VIDAL et al., 2009)	RV	Colangiografia	Fígado	Não	(MAURIN et al., 2004)	Não	Não	Não
(VIDAL et al., 2008)	RV	Intervenção radiológica	Não	2 Phantom Omni	Lei de Hooke	<i>B-Spline</i>	Subjetivo	20 novatos - 1 centro médico
(PODDER et al., 2008)	Não	Braquiterapia	Próstata	Dispositivo de captura	Não	Massa-mola	Não	Não

Fonte: Autor

**APÊNDICE C – PARECER  
CONSUBSTANCIADO DO  
COMITÊ DE ÉTICA EM  
PESQUISA**

## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Interação humano-computador no treinamento de aplicação de anestesia odontológica

**Pesquisador:** CLÉBER GIMENEZ CORRÊA

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 22821113.9.0000.5417

**Instituição Proponente:** UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DA NOTIFICAÇÃO

**Tipo de Notificação:** Envio de Relatório Final

**Detalhe:**

**Justificativa:**

**Data do Envio:** 12/02/2015

**Situação da Notificação:** Parecer Consubstanciado Emitido

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.009.474

**Data da Relatoria:** 11/03/2015

### Apresentação da Notificação:

O projeto "Interação humano-computador no treinamento de aplicação de anestesia odontológica" foi executado com a aprovação deste CEP em 03 de Abril de 2014 (parecer 579.349). O projeto teve como responsável o pesquisador/doutorando Cléber Gimenez Corrêa (Escola Politécnica da USP) e equipe os Profs. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques (USP Leste) e Romero Tori (Escola Politécnica da USP) e colaboradora a Profa. Dra. Maria Aparecida A. M. Machado da FOB-USP. O projeto teve como objetivo desenvolver um sistema computacional de Realidade Virtual para treinamento em aplicação de anestesia odontológica, e avaliar a interação humano-computador para desenvolvimento do sistema interativo de treinamento em aplicação de anestesia odontológica com nível adequado de realismo. O projeto é bastante claro em seus objetivos e os autores (pesquisador e equipe)

**Endereço:** DOUTOR OCTAVIO PINHEIRO BRISOLLA 75 QUADRA 9

**Bairro:** VILA NOVA CIDADE UNIVERSITARIA      **CEP:** 17.012-901

**UF:** SP      **Município:** BAURU

**Telefone:** (14)3235-8356

**Fax:** (14)3235-8356

**E-mail:** cep@fob.usp.br

Continuação do Parecer: 1.009.474

apresentam experiência na área de informática/sistemas e realidade virtual.

**Objetivo da Notificação:**

O objetivo principal é o desenvolvimento de um sistema computacional de RV para treinamento na área de odontologia. A presente pesquisa é parte desse desenvolvimento e consiste em três objetivos secundários:

1. avaliação da interação humano-computador para determinar o nível adequado de realismo em uma tarefa do procedimento de anestesia (tarefa de inserção de agulha). A avaliação deve levar em consideração aspectos visuais e hápticos;
2. elaboração de uma métrica objetiva perceptual para avaliação de interação humano-computador háptica em sistemas computacionais do domínio mencionado, visto que métricas dessa natureza são pouco exploradas na literatura e podem facilitar a realização de testes no sistema;
3. implementação de um protótipo para treinamento em inserção de agulha, visando o procedimento de anestesia para bloqueio do nervo alveolar inferior.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos:

1 - Constrangimento pelo confronto do conhecimento: o experimento não trata da avaliação do voluntário, envolvendo a avaliação de atributos do sistema computacional de treinamento em aplicação de anestesia odontológica; 2 - Constrangimento por dificuldade de utilização do sistema computacional e manuseio do dispositivo háptico; 3 - Constrangimento por enfrentamento de situação inesperada; 4 - Constrangimento pela violação do anonimato; 5 - Sentimento de obrigação de participar ; 6- Medidas de higiene: como precaução adicional, visando à prevenção de contágio de doenças de qualquer natureza entre os voluntários; 7 - Desconforto: pela participação em diversas baterias de testes.

Benefícios:

Possibilitar a obtenção de um sistema computacional com nível adequado de realismo para treinamento em aplicação de anestesia odontológica e; elaborar uma métrica objetiva para avaliação da qualidade de interação humano-computador em sistemas computacionais para treinamento em aplicação de anestesia odontológica, permitindo a análise de viabilidade do realismo oferecido.

**Comentários e Considerações sobre a Notificação:**

Os resultados foram condizentes com os objetivos propostos. A metodologia foi realizada de acordo com o proposto inicialmente.

**Endereço:** DOUTOR OCTAVIO PINHEIRO BRISOLLA 75 QUADRA 9

**Bairro:** VILA NOVA CIDADE UNIVERSITARIA      **CEP:** 17.012-901

**UF:** SP

**Município:** BAURU

**Telefone:** (14)3235-8356

**Fax:** (14)3235-8356

**E-mail:** cep@fob.usp.br

Continuação do Parecer: 1.009.474

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Foram apresentados todos os termos, inclusive os TCLEs assinados e rubricados. Vinte e seis sujeitos participaram dos dois experimentos planejados, ressaltando que o número foi inferior ao previsto inicialmente – de 20 a 40 sujeitos para cada experimento.

Previamente, na primeira versão do projeto submetida via Plataforma Brasil, o número de experimentos era de 5, o que foi reduzido para 2 na correção do projeto (solicitada pelo Comitê de Ética em Pesquisa), o que foi realizado por causa de problemas logísticos de transporte do equipamento háptico.

**Recomendações:**

Sem recomendações

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Sem pendências. Sugiro aprovação.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

o CEP reunido extraordinariamente no dia 11.3.2015 acata por unanimidade o parecer APROVADO emitido pelo relator sobre o relatório final da pesquisa.

BAURU, 02 de Abril de 2015

---

**Assinado por:**  
**Izabel Regina Fischer Rubira Bullen**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** DOUTOR OCTAVIO PINHEIRO BRISOLLA 75 QUADRA 9  
**Bairro:** VILA NOVA CIDADE UNIVERSITARIA      **CEP:** 17.012-901  
**UF:** SP    **Município:** BAURU  
**Telefone:** (14)3235-8356      **Fax:** (14)3235-8356      **E-mail:** cep@fob.usp.br