

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

ADRIAAN JANSEN J.I.B.U. SARAIVA  
ANDRÉ DE ALMEIDA  
LEONARDO BATISTA MOREIRA  
MURILO SOARES FARIA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Silva Rodrigues

# **Sistema integrado para incisão cirúrgica com bisturi virtual utilizando o dispositivo háptico Phantom Omni**

São Bernardo do Campo, SP

2010

ADRIAAN JANSEN J.I.B.U. SARAIVA  
ANDRÉ DE ALMEIDA  
LEONARDO BATISTA MOREIRA  
MURILO SOARES FARIA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Silva Rodrigues

# **Sistema integrado para incisão cirúrgica com bisturi virtual utilizando o dispositivo háptico Phantom Omni**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciência da Computação do Centro Universitário da FEI, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

São Bernardo do Campo, SP  
2010

Sistema integrado para incisão cirúrgica com bisturi virtual utilizando o dispositivo háptico Phantom Omni / Adriaan Jansen J.I.B.U. Saraiva ... [et al.]. São Bernardo do Campo, 2010.  
79 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário da FEI.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Silva Rodrigues

1. Háptico. 2. Phantom Omni. 3. Force-Feedback. I. Saraiva, Adriaan Jansen J.I.B.U. II. Almeida, André de. III. Moreira, Leonardo Batista. IV. Faria, Murilo Soares. V. Rodrigues, Paulo Sérgio Silva, orient. VI. Título.

CDU 681.3:617

Adriaan Jansen J.I.B.U Saraiva  
André de Almeida  
Leonardo Batista Moreira  
Murilo Soares Faria

Sistema integrado para incisão cirúrgica com bisturi virtual utilizando  
o dispositivo háptico Phantom Omni

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário da FEI

Comissão julgadora

-----  
Orientador e Presidente

-----  
Examinador (1)

-----  
Examinador (2)

São Bernardo do Campo  
2010

Aos nossos pais e à todos aqueles que nos deram apoio sempre que necessário.

# AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a DEUS por ter possibilitado superar todos os desafios impostos ao longo da trajetória.

Agradecemos fortemente nossas famílias e amigos pelo apoio, paciência e por ter acreditado em nossos objetivos.

Agradecemos nosso orientador, pela confiança aplicada em nós e por todos os ensinamentos que ele nos proporcionou e por ter despertado em nós o espírito de desafio.

Agradecemos a todos que passaram por nós ao longo desses anos de formação, que de alguma forma nos engrandeceram como pessoas e com conhecimentos que vamos levar para nossas vidas.

À todos, o nosso muito obrigado!

*"Prefiro correr o risco de ser tedioso, para que possa certificar-me de ser claro, e depois de tomar o máximo cuidado para tanto, alguma obscuridade ainda pode parecer restar sobre um assunto por natureza extremamente abstrato"*

*Adam Smith*

# RESUMO

Atualmente é exigido cada vez mais melhorias em treinamentos cirúrgicos. O intuito da pesquisa nesta área é desenvolver um sistema que simula um corte craniofacial utilizando o dispositivo háptico Phantom Omni, que proporciona uma força de retorno ao interagir com a malha tridimensional, representada neste caso por um crânio.

São utilizadas técnicas de computação gráfica, como OpenGL e C++ para a reconstrução tridimensional e interação com a malha. Um dos principais benefícios deste projeto, é proporcionar um maior grau de realismo na hora da realização de treinamentos cirúrgicos, como uma incisão por exemplo, minimizando assim os riscos de possíveis erros em operações reais.

Os profissionais terão a possibilidade de simular situações em um ambiente virtual antes de executar no ambiente real. O ambiente gráfico simulado busca criar uma situação realística permitindo o treinamento e a simulação de corte no osso da malha tridimensional com a sensação de *force-feedback*.

Palavras chave: háptico, Phantom Omni, *force-feedback*

# ABSTRACT

In these days people expect more and more improvements in surgical training. The main focus of this research it is to develop a system that simulates a cut in a three-dimensions skull using the haptic device known as, Phantom Omni, which gives the user a force-feedback when the device interacts with the three-dimensional mesh model, in this case represented by a skull.

Graphical computing technics will be used, like OpenGL and C++ to make the three-dimensional reconstruction and the interaction with the skull mesh. One of the main benefits of this project, it is to provide a bigger and better realism aspect in surgical training, as an incision for example, reducing the risks of possible mistakes in real surgical operations.

The professional will have the possibility to simulate situations in a virtual environment before the execution of the real surgery. The simulated graphical environment search for a realistic situation allowing the interaction with the Phantom Omni device thus returning a force-feedback when the three-dimensional objects collide.

keywords: haptic, Phantom Omni, force-feedback

# Conteúdo

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                              | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivo . . . . .                             | 2         |
| 1.2      | Estrutura da Monografia . . . . .              | 2         |
| <b>2</b> | <b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>                  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</b>                  | <b>10</b> |
| 3.1      | Interface Háptica . . . . .                    | 10        |
| 3.1.1    | Objetos e as Interfaces Hápticas . . . . .     | 11        |
| 3.1.2    | Componentes das interfaces hápticas . . . . .  | 14        |
| 3.2      | Graus de liberdade . . . . .                   | 16        |
| 3.3      | Phantom Omni . . . . .                         | 17        |
| 3.4      | Reconstrução 3D Craniofacial . . . . .         | 20        |
| 3.5      | Malha . . . . .                                | 20        |
| 3.6      | Arquivo do formato OBJ . . . . .               | 22        |
| 3.6.1    | Técnica de Colisão . . . . .                   | 23        |
| 3.6.2    | Técnica de Corte . . . . .                     | 24        |
| 3.7      | OpenGL . . . . .                               | 24        |
| 3.8      | Studio Prothesis . . . . .                     | 25        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA</b>                             | <b>29</b> |
| 4.1      | Pré-processamento de entrada . . . . .         | 29        |
| 4.2      | Interação háptica . . . . .                    | 31        |
| 4.2.1    | Renderização . . . . .                         | 31        |
| 4.3      | Processamento de saída . . . . .               | 37        |
| 4.3.1    | 3D Interface e <i>force-feedback</i> . . . . . | 37        |
| <b>5</b> | <b>ANÁLISE DE REQUISITOS</b>                   | <b>40</b> |
| 5.1      | Funcionais . . . . .                           | 40        |
| 5.1.1    | Requisitos de Negócio . . . . .                | 40        |
| 5.1.2    | Requisitos de Usuário . . . . .                | 40        |
| 5.1.3    | Requisitos de Sistema . . . . .                | 41        |
| 5.2      | Requisitos Não-Funcionais . . . . .            | 42        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>6</b> | <b>MODELAGEM</b>                              | <b>43</b> |
| 6.1      | Diagrama de Casos de Usos . . . . .           | 43        |
| 6.1.1    | Cenário principal . . . . .                   | 43        |
| 6.2      | Diagrama de Classes . . . . .                 | 46        |
| 6.2.1    | Classe Principal . . . . .                    | 46        |
| 6.2.2    | Classe Malha . . . . .                        | 49        |
| 6.2.3    | Classe Cursor . . . . .                       | 50        |
| 6.2.4    | Classe HL . . . . .                           | 50        |
| 6.2.5    | Classe HD . . . . .                           | 50        |
| 6.3      | Diagrama de Sequência . . . . .               | 51        |
| 6.3.1    | Calibrar Phantom Omni . . . . .               | 51        |
| 6.3.2    | Calibragem efetuada . . . . .                 | 51        |
| 6.3.3    | Mover instrumento cirúrgico . . . . .         | 52        |
| 6.3.4    | Manipular malha . . . . .                     | 52        |
| 6.3.5    | Iniciar interação háptica . . . . .           | 52        |
| 6.3.6    | Detectar colisão . . . . .                    | 52        |
| 6.3.7    | Delimitar região de corte . . . . .           | 52        |
| 6.3.8    | Retorno visual de demarcação . . . . .        | 52        |
| 6.3.9    | Cortar malha . . . . .                        | 52        |
| 6.3.10   | Aplicar força . . . . .                       | 52        |
| 6.3.11   | Calcular força . . . . .                      | 53        |
| 6.3.12   | Retorno de força calculada . . . . .          | 53        |
| 6.3.13   | Retornar sensação háptica . . . . .           | 53        |
| 6.4      | Diagrama de Atividades . . . . .              | 53        |
| 6.4.1    | Inicia Calibragem . . . . .                   | 53        |
| 6.4.2    | Calibrar . . . . .                            | 53        |
| 6.4.3    | Informar Calibragem . . . . .                 | 53        |
| 6.4.4    | Inicia Aplicação . . . . .                    | 53        |
| 6.4.5    | Retirar Caneta . . . . .                      | 55        |
| 6.4.6    | Movimenta Caneta . . . . .                    | 55        |
| 6.4.7    | Inicia Demarcação . . . . .                   | 55        |
| 6.4.8    | Detectar Posição . . . . .                    | 55        |
| 6.4.9    | Corte . . . . .                               | 55        |
| 6.4.10   | Sensação Háptica e Retorno de Força . . . . . | 55        |
| 6.4.11   | Move malha cortada . . . . .                  | 55        |
| 6.4.12   | Recolher Caneta . . . . .                     | 55        |
| 6.4.13   | Sair . . . . .                                | 56        |
| <b>7</b> | <b>RESULTADOS</b>                             | <b>57</b> |
| <b>8</b> | <b>RESULTADOS OBTIDOS</b>                     | <b>58</b> |
| <b>9</b> | <b>CONCLUSÕES</b>                             | <b>62</b> |

# Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1  | Fluxo de informações na interação com um mouse convencional e um mouse háptico. . . . .  | 11 |
| 3.2  | Apresenta um joystick com <i>force-feedback</i> , comercialmente é o mais acessível e conhecido dos dispositivos. . . . .  | 12 |
| 3.3  | Luva com sensação de <i>force-feedback</i> . Exoesqueleto que nos permite sentir os objetos em ambientes virtuais, sendo que simula a consistência e textura dos diversos materiais. . . . .                                 | 13 |
| 3.4  | Apresenta uma luva com sensação de <i>force-feedback</i> . . . . .   | 13 |
| 3.5  | Apresenta um exoesqueleto . . . . .  | 14 |
| 3.6  | Um exoesqueleto combina um sistema de controle humano com músculos robóticos, podendo auxiliar pessoas com problemas motores e ainda no âmbito militar possibilitando soldados carregarem cargas excessivas de peso. . . . . | 15 |
| 3.7  | Apresenta o mouse WingMan. . . . .   | 15 |
| 3.8  | Apresenta uma tela tátil para imagem. . . . .  | 16 |
| 3.9  | Seis graus de liberdade (6DOL) . . . . .   | 17 |
| 3.10 | Phantom Omni. . . . .  | 18 |
| 3.11 | Phantom Omni interagindo com malha 3D. . . . .   | 18 |
| 3.12 | Processos da aplicação háptica [WATSON K., 1999]. . . . .  | 19 |
| 3.13 | Mecanismo de força de reflexão [KYUNG K-U., 2001]. . . . .   | 19 |
| 3.14 | Reconstrução 3D obtida através de tomografia computadorizada . . . . .   | 21 |
| 3.15 | Malha 3D. . . . .  | 21 |
| 3.16 | Malha triangularizada. . . . .   | 22 |
| 3.17 | Tomografia de um paciente carregado no Studio Prothesis [FEI-LNCC, 2005].  | 27 |
| 3.18 | Modelo da prótese em 3D sendo construída [FEI-LNCC, 2005]. . . . .   | 28 |
| 3.19 | Prótese em 3D semi-completa [FEI-LNCC, 2005]. . . . .  | 28 |
| 4.1  | Metodologia Geral . . . . .  | 30 |
| 4.2  | Pré-processamento de entrada . . . . .   | 31 |
| 4.3  | Interação háptica . . . . .  | 31 |
| 4.4  | Renderização . . . . .   | 32 |
| 4.5  | Face fi . . . . .  | 32 |
| 4.6  | Diagrama de blocos da Colisão . . . . .  | 33 |

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.7  | Malha a ser carregada. . . . .                            | 34 |
| 4.8  | Face com indicação do centro gravitacional (CGi). . . . . | 34 |
| 4.9  | Distância Euclidiana. . . . .                             | 35 |
| 4.10 | Face tocada. . . . .                                      | 35 |
| 4.11 | Faces tocadas. . . . .                                    | 36 |
| 4.12 | Diagrama de blocos do Corte . . . . .                     | 37 |
| 4.13 | Faces retiradas. . . . .                                  | 38 |
| 4.14 | Diagrama de blocos da separação da malha . . . . .        | 38 |
| 4.15 | Separação da malha . . . . .                              | 39 |
| 4.16 | Diagrama de integração e interação háptica. . . . .       | 39 |
| 4.17 | Processamento de saída . . . . .                          | 39 |
|      |   |    |
| 6.1  | Diagrama de caso de uso. . . . .                          | 44 |
| 6.2  | Diagrama de classes. . . . .                              | 47 |
| 6.3  | Diagrama de sequência. . . . .                            | 51 |
| 6.4  | Diagrama de atividades. . . . .                           | 54 |
|      |   |    |
| 7.1  | Phantom Omni em interação com malha háptica. . . . .      | 57 |
|      |   |    |
| 8.1  | Crânio - Malha Triangularizada . . . . .                  | 58 |
| 8.2  | Crânio - Área Rotulada . . . . .                          | 59 |
| 8.3  | Crânio - Corte Realizado . . . . .                        | 60 |
| 8.4  | Crânio - Corte Realizado . . . . .                        | 61 |

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

A área médica está em crescimento e necessita de melhores ferramentas para seus profissionais a cada dia, inclusive ferramentas para que os profissionais possam treinar e adquirir a prática necessária.

Avanços na área da computação têm oferecido cada vez mais recursos para a realização de simulações do mundo real através de ambientes virtuais. Tal tecnologia já permite não só a visualização, mas também a sensação de toque em objetos virtuais. O intuito da pesquisa nesta área é desenvolver um sistema que simula uma incisão com bisturi, através do dispositivo háptico Phantom Omni (braço mecânico com seis graus de liberdade) que proporciona uma sensação de *force-feedback* (retorno de força). Este trabalho permite de forma interativa a visualização, manipulação e sensação de toque sobre os tecidos duros (ossos) de um crânio humano durante a incisão (corte).

A necessidade de aperfeiçoamento das técnicas dos profissionais da área médica são cada vez mais necessárias, demandando soluções que minimizem erros médicos. Com base neste assunto, a implementação de uma ferramenta com interface háptica que auxilia no treinamento de profissionais da área médica pode ser de grande utilidade, essa ferramenta utilizará um ambiente virtual simulando um procedimento incisivo com um bisturi.

Este trabalho se justifica a partir do momento em que se discutem os aspectos que visam ajudar a área da medicina por meio da realidade virtual, focando o desenvolvimento e

treinamento dos profissionais que lidam diariamente com procedimentos cirúrgicos especificamente quanto à incisões precisas. Na atualidade o treinamento de profissionais têm gerado temas para várias discussões, levando ao aprofundamento de estudos à busca de soluções abrangentes no que concerne à resolução do problema.

Atualmente a educação médica tem utilizado algumas aplicações em ambiente virtual para o ensino de anatomia [MALFATTI, 2006]. Os chamados atlas virtuais apresentam uma série de vantagens em termos de custo e mobilidade em relação aos métodos de estudo tradicionais como livros e cadáveres.

A aplicação gerada nesse projeto, implementará a interação entre usuário e máquina de modo que o dispositivo retorne força no momento de colisão e corte utilizando métodos estudados, afim de proporcionar uma sensação de toque e tendo maior qualidade no treinamento de profissionais da área médica.

## 1.1 Objetivo

O projeto visa o uso de aplicações virtuais em ambientes cirúrgicos, utilizando um bisturi virtual para rotulação, corte e separação da malha através do dispositivo háptico Phantom Omni que simula a sensação de *force-feedback*.

## 1.2 Estrutura da Monografia

Será apresentado na seguinte estrutura o conteúdo deste projeto:

No Capítulo 1 será apresentada a Introdução.

No Capítulo 2 serão apresentados os Trabalhos Relacionados a este projeto.

No Capítulo 3 serão apresentados os Conceitos Fundamentais.

No Capítulo 4 será apresentada a Metodologia.

No Capítulo 5 será apresentada a Análise de Requisitos.

No Capítulo 6 será apresentada a Modelagem.

No Capítulo 7 serão apresentados os Resultados.

No Capítulo 8 serão apresentados os Resultados Obtidos.

No Capítulo 9 será apresentada a Conclusão.

## Capítulo 2

# TRABALHOS RELACIONADOS

É apresentado no artigo de [SELA G., 2007] um simulador cirúrgico que permite aos médicos praticarem e aprimorarem seus conhecimentos em um ambiente virtual antes de entrar em uma sala de cirurgia. Foi utilizado um algoritmo batizado de FEM-DFFD de baixa complexidade computacional que permite execução em tempo real, podendo manter uma precisão razoável. O resultado obtido nesse projeto mostrou que o sistema 4D DFFD pode ser usado para simular em tempo real incisão em um modelo 3D usando um dispositivo háptico.

Em [CHOI K. Z., 2009], foi proposto um sistema de treinamento para simulação de cirurgia de catarata para a prática do procedimento de facoemulsificação com a utilização de modelos 3D em ambientes virtuais. Este procedimento foi resolvido com a utilização de algoritmos computacionais eficientes para deformação de tecido, *surface cutting* e *volume sculpting*. De acordo com os resultados obtidos, é um método de simulação com baixo custo que pode ser implementado em computadores genéricos equipados com um par de dispositivos hápticos disponíveis comercialmente no mercado.

No estudo de [WANG P., 2006] é apresentado um simulador que utiliza a técnica de elementos de contorno (BE) para desenvolver em tempo real uma deformação em modelo 3D de cérebro. O simulador incorpora a simulação de *surgical prodding, pulling e cutting*. Com a utilização de dois dispositivos que demonstram a sensação de *force-feedback*. Os autores

incluíram comportamentos avançados a simulação, utilizando ferramentas cirúrgicas para abrir a superfície cortada para simular deformações de pós corte. O resultado obtido nesse projeto foi a utilização de dois dispositivos hápticos para simulação de cirurgia envolvendo técnica de corte, contato com ferramentas cirúrgicas e, contudo, podendo ter o controle da cirurgia após o corte em um modelo 3D deformável.

O artigo de [CHANG Y. H., 2008] propôs um método para a simulação de modificações interativas com retorno háptico. Este método foi aplicado através de um módulo de renderização gráfico (GRM) e outros módulos que podem ser implementados junto a uma estrutura integrada de *software/hardware*. Os resultados dos testes deste projeto mostraram que o método desenvolvido obteve êxito, cumprindo com os objetivos destinados. Segundo os autores outro ponto positivo neste trabalho foi o uso de programação aberta e orientada objeto, garantindo modularidade, tornando-o expansível e de fácil manutenção.

Foi proposto em [GAO Z., 2006] um novo sistema háptico de escultura para a superfície B-spline com as ferramentas formadas de superfícies implícitas. Através de ferramentas desenvolvidas para operar em uma escultura háptica para tornar a escultura de superfície B-spline intuitiva. O resultado obtido nesse projeto foi uma nova superfície implícita de B-spline com um método de renderização háptica podendo esculpir em um sistema háptico facilitando a manipulação direta da superfície B-spline com ferramentas de superfície implícita.

No artigo de [PIERROT F., 1999] foi desenvolvido um sistema robótico que auxilia os médicos nos movimentos de ultra som, exercendo a força necessária para monitorar as artérias na prevenção de doenças cardiovasculares. Foi utilizado um braço robótico para ultra som além da implementação de *hardware* e *software* que garantiram a segurança do sistema. Desta forma foi capaz de controlar a força de contato entre o dispositivo e o paciente através de um sensor de força. Segundo os autores o sistema apresentou capacidade de controle de força e uma interface com facilidade de uso, embora tenha algumas funções limitadas.

Segundo a tese de [D'AULIGNAC D., 2006] foi desenvolvido uma simulação que permite a estudantes da área médica praticarem diagnóstico de trombose em um ambiente virtual . Foi utilizado a ferramenta Echography, um modelo de membro inferior e um dispositivo háptico

para realizar os testes. O resultado obtido nesse projeto mostrou que é possível utilizar um simulador ecográfico juntamente com um braço robótico para diagnosticar a trombose.

No estudo acadêmico de [HAMBLLI R., 2006] foi desenvolvido um ambiente de realidade virtual em tempo real que simula deformação de complexas estruturas. Foi utilizado para ilustrar a simulação uma raquete de tênis e uma bola. Para esta simulação foi utilizado o método de elementos finitos e os cálculos de redes neurais para poder visualizar mudanças de forma interativa e deformação no ambiente virtual. O resultado obtido nesse trabalho mostrou através de desenvolvimento de um simulador que utilizando um dispositivo háptico pode ser sentido *force-feedback* na deformação.

Em pesquisa realizada por [RAISAMO R., 2007] foi apresentado um estudo para criar jogos para crianças com deficiência visual. Foi utilizado um dispositivo de baixo custo que tem *force-feedback* em aplicações multimodais dando suporte a um jogo de memória. Os resultados obtidos mostraram que o *design* do jogo obteve sucesso e o *gamepad* tátil foi útil, tendo o jogo uma resposta positiva nos testes.

Uma ferramenta foi apresentada em [HANSEN K. V., 2004] que simula a utilização da espátula em uma cirurgia cerebral. A colisão da espátula com o modelo do cérebro foi realizada através do algoritmo de colisão, na qual é analisado o ponto de contato entre os dois materiais e conforme isso ocorre a deformação é ocasionada no material menos "rígido". Com os resultados obtidos, foi comprovado que é possível a análise virtual de qual material é mais consistente na hora do impacto.

Segundo [THOMAS G., 2001] o estudo de um simulador de cirurgia bucal foi apresentado. Foi utilizado uma arcada dentária e um dispositivo háptico Phantom Omni permitindo ao estudante praticar e sentir a textura do material como é sentido no momento de uma cirurgia real. Segundo os autores, os resultados obtidos foram satisfatórios, no entanto têm-se a necessidade de serem feitas algumas melhorias como a necessidade de uma maior cobertura na hora da movimentação do dispositivo háptico, aumentar alcance, ângulo e a remoção da vibração para precisão nos movimentos.

A idéia de [LAYCOCK S. D., 2005] apresenta uma simulação da interação entre ferra-

mentas deformáveis e objetos rígidos utilizando retorno háptico. Foi utilizado nesta simulação o dispositivo háptico Phantom Desktop e um algoritmo de colisão para determinar pontos de contato entre a ferramenta de deformação e o rígido objeto, utilizando também o método de elementos finitos para modelar a deformação da haste. Segundo os autores, os resultados obtidos nesse projeto foram satisfatórios demonstrando uma realística deformação.

No artigo de [LIU X., 2005] foi discutido a técnica de deformação de modelos de superfície do CAD com interação háptica baseada em controle de funções de forma. Foi utilizado um dispositivo háptico permitindo ao engenheiro usar seu senso de toque para interação com modelos digitais e foi desenvolvido um sistema háptico baseado em CAD, o *Virtual Design Works*. Os resultados obtidos nesse trabalho foram que com essa técnica os designers podem usar uma interface háptica para tocar diretamente o modelo CAD e poder assim deformar em tempo real empurrando, puxando e arrastando suas superfícies em um ambiente natural 3D.

Uma nova metodologia foi pesquisada por [ZHONG Y., 2009] para simular deformação de materiais moles. Foi desenvolvido um modelo de difusão-reação melhorada e para satisfazer a exigência de simulação em tempo real uma rede de três camadas celulares neurais artificiais (CNN) foi construída para resolver o modelo de reação-difusão. O resultado obtido nesse trabalho mostra que a metodologia proposta não só prevê os comportamentos típicos de tecidos vivos como também uma série de deformações.

O trabalho de [WARD J. W., 1998] propôs o treinamento em procedimento cirúrgicos, afim de proporcionar um ambiente seguro para treinamentos. Apresenta uma simulação em tempo real da visão artroscópica. Algumas técnicas utilizadas no desenvolvimento foram a colisão e detecção entre os instrumentos e objetos dentro da interação, em conjunto com objetos deformáveis. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado um dispositivo háptico Phantom Omni. Os resultados obtidos são satisfatórios para simulação em tempo real de artroscopia.

A tese de [BLYTH P., 2007] relata o desenvolvimento de um simulador cirúrgico e um componente de avaliação. O simulador permitiu a simulação da fixação da fratura do quadril.

Foi utilizado um quadril virtual utilizando imagens radiográficas para orientar a redução da fratura e colocação do implante. Os testes foram feitos com dez participantes do estudo. Segundo os autores, os resultados mostraram que o simulador atenderia o problema proposto e a maioria das pessoas afirmaram que o simulador forneceu uma visão realista do ambiente operacional e que a visão tridimensional fornecida era necessária.

Com base nos estudos de [LI C.F., 2005] foi apresentado um novo algoritmo de detecção de colisão denominado SMB (*Sort Moving Boxes*) para grande número de objetos em movimento 2D/3D que são representados pelo AABBs (*Axis-Aligned Bounding Boxes*). Como o algoritmo foi projetado para cada eixo, obtém como característica principal a exploração da coerência temporal dos objetos expostos em um ambiente dinâmico. O resultado obtido neste projeto foi um algoritmo rápido e robusto para detecção de colisão, particularmente para sistemas envolvendo um grande número de movimentos AABBs, e também é suportado para a inserção dinâmica e deleção de objetos.

O estudo de [JIMEHNEZ P., 2001] mostra algoritmos de detecção de objetos, com base na geometria do modelo. O algoritmo utilizado foi à detecção de colisão, estes algoritmos geralmente contam com testes de interferência estática, a maioria dos quais foram desenvolvidos no domínio da Geometria Computacional, em muitos casos observou-se que as complexidades dos algoritmos eram as de pior caso, ou seja, solução desconhecida ou está longe de ser o ideal. A maioria dos sistemas de detecção de colisão só lida com aproximação poliédrica. No entanto, há algumas aplicações onde este tipo de aproximação não é possível.

Uma máquina de estados para corte em tempo-real de malhas tetraedrais foi apresentada no trabalho de [BIELSER D., 2004]. Utilizando um algoritmo que é baseado em uma máquina de estado que controla a topologia de tetraedros e controla a sua subdivisão progressiva. As superfícies de intersecção são modeladas até a posição atual da ferramenta de corte em cada ponto no tempo sendo o tetraedro subdividido usando um método progressivo que insere a sub-estrutura requerida passo-a-passo. O resultado obtido neste projeto foi um algoritmo consistente e processos precisos para intersecção arbitrária em malhas tetraedrais em tempo real.

---

O artigo de [CHOI K.S., 2006] aborda a simulação de cirurgias virtuais utilizando a técnica de cortes de objetos, simulando assim incisões em órgãos. O desenvolvimento do trabalho foi feito utilizando do modelo de propagação de forças (FPM), também foi utilizada a analogia da lógica digital. A operação de corte é analisada por traduzir o interativo processo de modificação de malha em um diagrama de estado. Elementos da malha são subdivididos de acordo com as transições do estado e com isso pode concluir que a possibilidade de efetuar cortes em malhas virtuais apesar da complexidade utilizando as técnicas foi possível observar um resultado satisfatório.

# Capítulo 3

## CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste Capítulo, serão definidos os conceitos que são fundamentais para o entendimento de todo o projeto.

### 3.1 Interface Háptica

Os seres humanos possuem dois componentes independentes, o cutâneo e o sinestésico.

Os componentes cutâneos estão ligados aos sensores localizados na superfície da pele e eles são responsáveis por sensações como pressão, temperatura, vibração e dor.

Os componentes sinestésicos estão relacionados aos sensores localizados nos músculos, tendões e juntas e são responsáveis por sensações como movimento e força [OAKLEY I., 2000]. Quando os seres humanos entram em contato com objetos, o cérebro transforma as informações sentidas em informações cutâneas e sinestésicas [KLATZKY R., 2000]. Essas sensações permitem ao indivíduo distinguir propriedades do objeto, como textura (informações cutâneas), peso e forma (informações cinestésicas).

Segundo [LABTATE, 2007], o sistema háptico está relacionado com a percepção de textura, movimento e forças através da coordenação de esforços dos receptores do tato e visão. As interfaces hápticas geram sinais mecânicos que estimulam os componentes cutâneos e cinestésicos dos seres humanos. Então, um dispositivo háptico tem como definição um meio

de comunicação entre homem - máquina. Dispositivos hápticos podem possuir programação específica, isto é, possui a capacidade de modificar a propriedade mecânica e física destes dispositivos, através de comandos computacionais. Um exemplo simples que pode ser citado, seria a comparação entre dois dispositivos, um mouse convencional com um mouse equipado com a tecnologia háptica. Com mouses comuns, o fluxo de informações são apenas em uma direção, do usuário para o computador. Neste caso o usuário fica limitado a percepção de inércia e atrito do dispositivo. Um diferencial são os sons distintos, emitidos pelos botões para indicar a mudança de estado e não possui botões programáveis. Um mouse háptico, passa ao usuário um retorno e existe a possibilidade de serem programados, baseado no tato, isto é, permite maior agilidade, percepção e intuitividade com relação a máquina.

A Figura 3.1 é uma forma representativa de ambos os cenários: a figura 3.1(a), tem-se o fluxo de informações no caso do uso de um mouse convencional. Já na figura 3.1(b), o uso do mouse háptico.

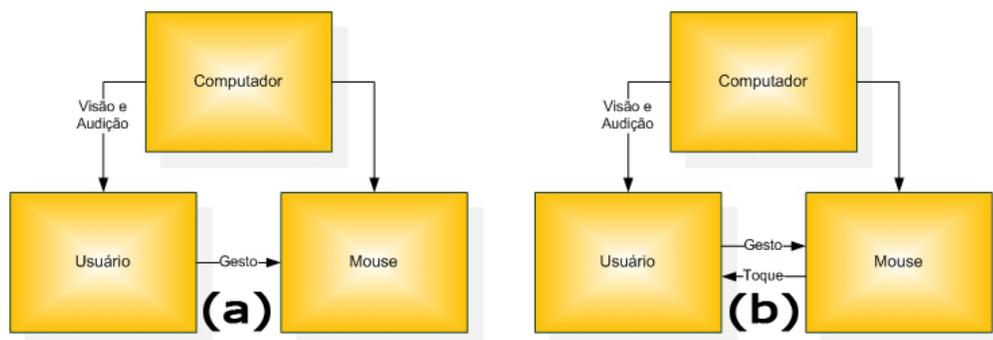


Figura 3.1: Fluxo de informações na interação com um mouse convencional e um mouse háptico.

### 3.1.1 Objetos e as Interfaces Hápticas

Os objetos podem ser classificados em dois grupos, os objetos reais e os artificiais, onde dentro destes grandes grupos, existem os inanimados e os animados. Os objetos inanimados são considerados inertes, ou seja, este tipo de objeto dissipa a energia mecânica. Já os objetos animados, fornecem energia. Igualmente existem grupos de dispositivos hápticos denomina-

dos de passivos ou ativos, ambos são programáveis. Os dispositivos hápticos passivos não exercem a força ativamente contra um usuário. Em vez disso, os hápticos passivos são objetos que fisicamente representam elementos virtuais estando eles em um ambiente virtual. Se um usuário pode ter algo real para sentir em um cenário virtual isso faz com que seja aperfeiçoada a sensação de imersão do usuário e o ajuda a navegar através da simulação. Outra categoria dos dispositivos passivos são capazes de modificar o próprio comportamento elástico, ou seja, modificar a própria consistência. Dispositivos ativos proporcionam ao usuário a interatividade com o ambiente virtual, um exemplo seria o usuário se aproximar da porta de um carro virtual e ela se abriria. Quando se trata de dispositivos hápticos ativos normalmente se deseja usar em ambientes artificiais, de tal forma que o ambiente seja passivo.

Alguns exemplos de dispositivos hápticos podem ser vistos nas Figuras (3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8).



Figura 3.2: Apresenta um joystick com *force-feedback*, comercialmente é o mais acessível e conhecido dos dispositivos.



Figura 3.3: Luva com sensação de *force-feedback*. Exoesqueleto que nos permite sentir os objetos em ambientes virtuais, sendo que simula a consistência e textura dos diversos materiais.



Figura 3.4: Apresenta uma luva com sensação de *force-feedback*.



Figura 3.5: Apresenta um exoesqueleto

### 3.1.2 Componentes das interfaces hápticas

Para entender os componentes das interfaces hápticas, é necessário apresentar alguns conceitos físicos como sensores e atuadores.

#### 3.1.2.1 Sensores

São elementos responsáveis do estado em que o processo se controla. Também são conhecidos como transdutores eles medem grandezas mecânicas como de posição, de velocidade e aceleração. Através destas informações o controlador toma as medidas cabíveis. Nem todas as variáveis citadas podem ser captadas, devido a uma impossibilidade técnica ou econômica. Neste caso se aplica então um estimador de estados [AUKSTAKALNIS S., 1992].

#### 3.1.2.2 Atuadores

São elementos que atuam sobre as grandezas físicas do processo, respeitando comandos. Para ficar mais claro pode ser citados motores, válvulas e aquecedores elétricos como exem-



Figura 3.6: Um exoesqueleto combina um sistema de controle humano com músculos robóticos, podendo auxiliar pessoas com problemas motores e ainda no âmbito militar possibilitando soldados carregarem cargas excessivas de peso.



Figura 3.7: Apresenta o mouse WingMan.



Figura 3.8: Apresenta uma tela tátil para imagem.

plos. A interface háptica é composta por um ou mais transdutores eletromecânicos (sensores ou atuadores) diretamente ligados ao usuário, pois através destes componentes conectados a determinadas partes do corpo, é possível captar e medir os sinais mecânicos. É composta também por um sistema computacional que efetiva a renderização háptica, que tem como finalidade a troca de informação bidirecional nos dispositivos hápticos e os objetos virtuais [AUKSTAKALNIS S., 1992].

## 3.2 Graus de liberdade

Um dispositivo háptico pode deslocar-se livremente em um movimento composto por 3 rotações e 3 translações geométricas independentes (translações e rotações referente ao aspecto de eixos fixos nas 3 direções de uma base referida ao espaço de três dimensões).

Seis graus de liberdade (6DOL) como pode ser visto na Figura 3.9, se refere ao movimento de um corpo rígido em um espaço tridimensional, ou seja, pode realizar movimentos para frente e para trás, para cima e para baixo, para esquerda e para direita (translação em três eixos perpendiculares), combinado com a rotação nestes eixos (arremesso, guinar, giro). O movimento ao longo de cada um dos eixos é independente de cada um dos outros [SENSABLE, 2009].

Robôs são geralmente categorizados pelos seus mais de 6 graus de liberdade. Um exemplo

de dispositivo encontrado em abundância nos dias de hoje, que demonstra o funcionamento dos 6 graus de liberdade com fidelidade é o controle do video-game Playstation 3, que possui 6 graus de liberdade, permitindo ao usuário movimentos para cima, baixo, esquerda, direita, frente e trás em seus jogos.

Para um corpo unido mecanicamente a outros corpos, alguns destes movimentos elementares desaparecem. Conhece-se como graus de liberdade os movimentos independentes que permanecem. Graus de liberdade representam um número mínimo de velocidades generalizadas, independentes que definem o estado de um mecanismo ou sistema mecânico [SENSABLE, 2009]. Comparando com estatística o número de graus de liberdade coincide com o número de equações necessárias para descrever o movimento do dispositivo háptico. Caso seja um sistema holónimo, os graus de liberdade irão coincidir com as coordenadas independentes. Em mecânica clássica e lagrangiana, a dimensão  $d$  do espaço de configuração tanto faz a duas vezes o número de graus de liberdade GL.

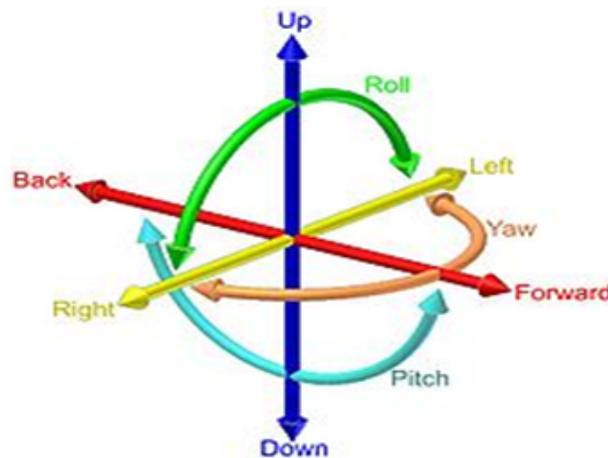


Figura 3.9: Seis graus de liberdade (6DOL)

### 3.3 Phantom Omni

Desenvolvido pela SensAble Technologies, o Phantom Omni é compacto e portátil. Sua interface principal de manipulação e *force-feedback* consiste de um braço mecânico terminado

em uma peça semelhante a uma caneta como pode ser visto na Figura 3.10.

O Phantom Omni 3.11 foi criado para substituir sistemas hápticos constituídos inicialmente de grandes estruturas mecânicas, com uso restrito as aplicações industriais.



Figura 3.10: Phantom Omni.

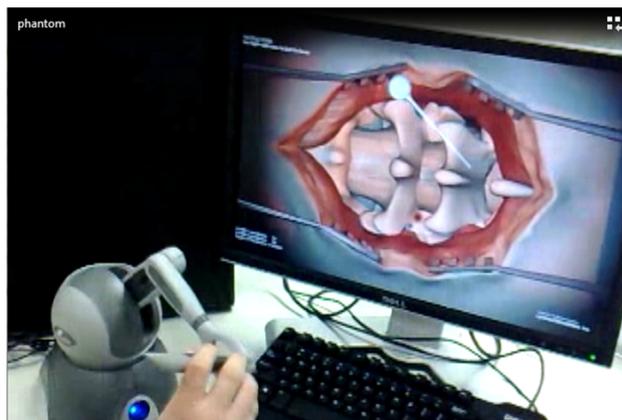


Figura 3.11: Phantom Omni interagindo com malha 3D.

Uma das aplicações do dispositivo háptico é a simulação de instrumentos médicos, como um bisturi, objeto utilizado em incisões. As informações são captadas, como os movimentos de translação e rotação nos eixos  $x, y, z$ , por isso ele é considerado equipamento com seis graus de liberdade. Além disso, este tipo de dispositivo oferece um mecanismo de *force-feedback* nos eixos  $x, y, z$ , permitindo desta forma, uma interação entre o usuário da simulação e a aplicação [WATSON K., 1999].

A Figura 3.12 descreve de maneira detalhada como o dispositivo se comporta. O usuário move o dispositivo, este rastreia a informação de posição no espaço virtual e baseado no que está sendo tocado, cálculos são feitos e aplicados ao usuário [WATSON K., 1999].

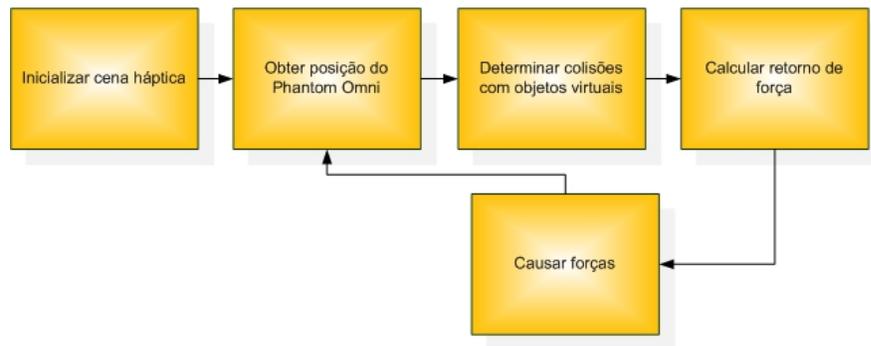


Figura 3.12: Processos da aplicação háptica [WATSON K., 1999].

O algoritmo de *force-feedback* está descrito em [KYUNG K-U., 2001]. A força gerada pelo dispositivo háptico  $F_T$  é representada com três componentes como  $F_T = F_R + F_C + F_G$  onde  $F_R$  é a força requerida para penetrar o tecido,  $F_C$  é a força corretiva para manter a agulha posicionada ao longo da direção do movimento e  $F_G$  é a força ambiente para compensar a gravidade para o braço do dispositivo, segundo fórmulas abaixo.

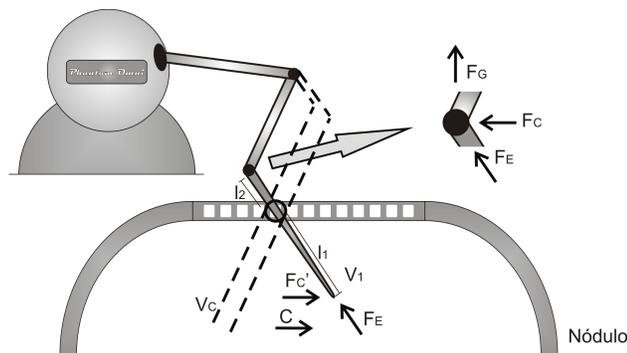


Figura 3.13: Mecanismo de força de reflexão [KYUNG K-U., 2001].

$F_T$  - Força gerada pelo dispositivo háptico:

$$F_T = F_R + F_C + F_G;$$

$F_R$  - Força resistiva de punção;

$F_C$  - Força corretiva para direção da caneta:

$$FC = -k * FC';$$

FG - Força de compensação de gravidade;

k - Escala de força:

$$k = -1/-2;$$

FC' - Força corretiva na ponta da caneta:

$$FC' = C * \text{const};$$

C - Vetor de correção:

$$C = V1 - VC;$$

V1 - Vetor de direção inicial da inserção da caneta;

VC - Vetor de direção atual da caneta.

## 3.4 Reconstrução 3D Craniofacial

O processo de reconstrução craniofacial consiste em capturar imagens bidimensionais (2D) obtidas em camadas ou fatias (*slices*) do crânio através de tomografias computadorizadas ou por ressonância magnética. Estas imagens passam por um processo de segmentação, divisão dos tecidos moles (peles e músculos) e tecidos duros (ossos), com a finalidade de extrair a parte relevante para a aplicação. Neste projeto serão considerados apenas os ossos extraídos durante a segmentação de imagens e posteriormente a esse processo será criado um modelo tridimensional a partir da técnica de crescimento regional as imagens obtidas em camadas resultarão em um volume 3D do crânio. Este modelo tridimensional será definido como malha 3D e descrito na Seção 3.5.

## 3.5 Malha

Este trabalho será baseado em uma malha 3D reconstruída a partir de um conjunto de pontos obtidos de uma tomografia computadorizada como pode ser visto na Figura 3.14.

Esta malha consiste em uma estrutura de dados do formato obj descrito na Seção 3.6.

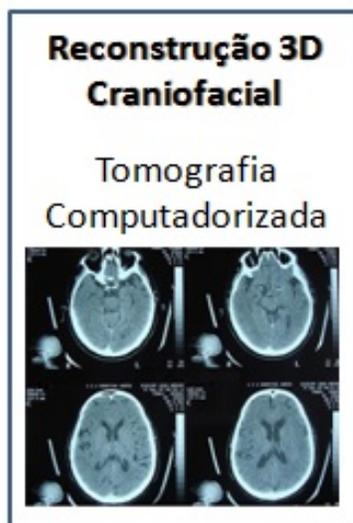


Figura 3.14: Reconstrução 3D obtida através de tomografia computadorizada

A Figura 3.15 apresenta um exemplo de uma malha 3D triangularizada representando um volume 3D.

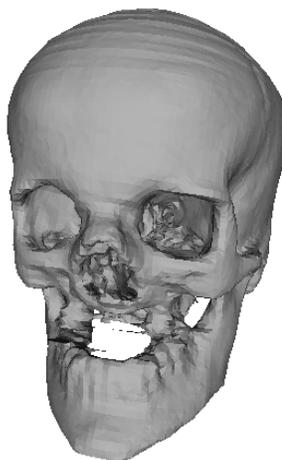


Figura 3.15: Malha 3D.

A Figura 3.16 representa a triangularização utilizada para modelar a Figura 3.15. Neste caso, a malha 3D considerada pode sofrer um processo de renderização, onde são aplicados efeitos de realismo visual, tais como: cor, iluminação e textura. A Figura 3.15 aponta a malha mostrada na Figura 3.16 com o processo de renderização finalizado.

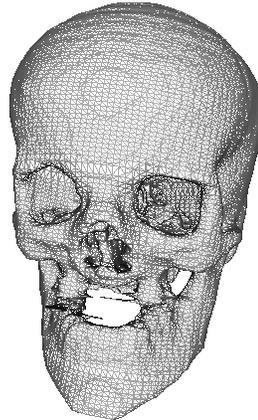


Figura 3.16: Malha triangularizada.

### 3.6 Arquivo do formato OBJ

O arquivo do formato obj é um arquivo com formato de arquivos de computador criado para armazenar malhas poligonais tridimensionais.

O formato obj carrega informações disponíveis sobre a malha poligonal, sobre o mapeamento de texturas e uso de materiais. No formato mais básico, o arquivo é composto por um conjunto de vértices que iniciam as linhas com a letra "v", conjunto de normais são começadas as linhas em "vn", conjunto de mapeamentos de texturas começam as linhas em "vt" e conjunto de faces começam as linhas com "f". Ainda assim, é possível que o arquivo seja formado por alguns grupos. Neste caso, cada grupo formado informa o subconjunto de vértices, mapeamentos, normais e faces na qual são responsáveis [TONIETTO, 2008].

Formato para leitura das faces:

- Vértices:

$v1 v2 v3$

- Completo:

$v1/t1/n1 v2/t2/n2 v3/t3/n3$

- Vértices e normais:

$v1//n1 v2//n2 v3//n3$

- Vértices e texturas:

$v1/t1$   $v2/t2$   $v3/t3$

O esquema abaixo representa o que foi descrito no texto, ou seja, o que forma um arquivo obj.

*Edge*

v -0.5329 0.9245 -0.9214

v -0.5389 0.8328 -0.9610

v -0.5770 0.8144 -0.9510

*Faces*

f 1//1 3//3 4//4

f 4//4 3//3 1//1

f 1//1 5//5 7//7

### 3.6.1 Técnica de Colisão

De um modo geral, pode-se dizer que ocorre choque ou colisão de dois corpos quando os mesmos entram em contato através da intersecção de suas partículas, por exemplo, o choque de um bisturi com osso. No entanto, pode ser considerado também colisão quando duas partículas se aproximam e em um certo momento por se encontrarem muito próximas uma da outra consegue se sentir a ação de uma partícula sobre a outra (lei da atração universal). A força que a partícula exerce sobre a outra altera a trajetória, a energia e a quantidade de movimentos [CONCI A., 2008].

O objetivo de se detectar colisão é reportar automaticamente a interferência entre 2 (dois) ou mais objetos geométricos em ambiente estáticos ou dinâmicos [LI C.F., 2005]. Detectar a colisão é a verificação de um momento na qual objetos se aproximam em um ambiente virtual sendo suficientemente pequeno a ponto de possibilitar a ocorrência de uma sobreposição entre os objetos, ou seja, no momento em que a malha 3D estiver em contato com o bisturi virtual têm-se a colisão e conseqüentemente o corte, descrito na Seção 3.6.2. Para que haja a colisão, ao menos dois objetos necessitam estar em um ambiente virtual, sendo que pelo menos um

deles deve estar em movimento.

### 3.6.2 Técnica de Corte

Cortar uma malha significa modificar a malha existente subdividindo-a em duas entidades distintas, modificando assim a sua conectividade para que a original e a nova malha se adequem a nova geometria.

Para que haja o corte necessita que primeiro tenha a colisão como foi descrito em 3.6.1, sendo assim, a partir do momento que se tem a sobreposição de malhas é ocorre o processo de corte e as malha é subdividida.

Existem vários algoritmos para corte, contudo será utilizado o algoritmo de corte implementado nos trabalhos de [BIELSER D., 2000] e [BIELSER D., 2002].

## 3.7 OpenGL

OpenGL (*Open Graphics Language*) é uma aplicação utilizada para criar primitivas gráficas 2D e 3D, disponível na maioria das plataformas, com suporte a vários tipos diferentes de *hardware*. Pode ser utilizada em qualquer aplicação gráfica, desde jogos, modelagem e até CAD. Foi originalmente desenvolvido pela SGI (*Silicon Graphics, Inc.*) como uma plataforma para vários propósitos gráficos [OPENGL, 2009].

O OpenGL funciona como um tradutor do hardware de vídeo, nem todos hardwares gráficos utilizam a mesma linguagem. Neste caso, utiliza-se o OpenGL, que tem a função de traduzir a linguagem do hardware específico em uma linguagem universal. Antes do OpenGL, desenvolvedores tinham que escrever códigos únicos para cada sistema assim como para cada hardware gráfico. O OpenGL trabalha com o hardware gráfico existente no disco rígido ou outra fonte especificada. Possui mais de 700 comandos, cada comando executa uma ação de desenho ou a criação de um efeito especial. Trabalha através da utilização da GLU (*OpenGL Utility Library*), oferecendo recursos como: redimensionamento de imagens em 2D, criação de objetos em 3D como esferas, cilindros e discos, suporta curvas de superfície através de

*NURBS*. OpenGL não suporta diretamente a utilização de janela, menus e entradas, devido a isso é utilizada a GLUT (*OpenGL Utility Tool Kit*) que provê as funções básicas para os itens citados.

Uma boa bibliografia para este assunto pode ser encontrada no livro [COHEN M., 2006], [SHREINER D., 2007] e em [OPENGL, 2009].

### 3.8 Studio Prothesis

Pacientes com traumatismos craniofaciais, decorrentes de doenças como tumores (benignos ou malignos) ou acidentes é relativamente grande no mundo. Em muitos casos não há comprometimento neurológico, no entanto, o aspecto estético quase sempre compromete a qualidade de vida do paciente que sofreu o trauma craniofacial. No entanto, aspectos relacionados à estética do paciente não são os únicos motivos que os obrigam procurar a correção dos defeitos ocasionados. Muitas vezes há a necessidade de reabilitação urgente para evitar comprometimentos neurológicos, o que é o caso de afundamento do crânio ou face. Um exemplo muito comum é o comprometimento de ossos do crânio ocasionados por tumores cancerígenos, levando muitas vezes à perda e necessidade de substituição total do órgão. A solução para esse problema está na realização de cirurgias que envolvem enxertos ósseos, na qual, partes dos ossos do paciente são realocadas, ou seja, ossos do corpo do paciente são removidos e implantados onde há necessidade, caso necessário paciente tem a opção de recorrer a implantação de próteses. Essas próteses ou os enxertos requerem um processo de adequação necessariamente particular para cada paciente, devido à anatomia do crânio de cada um e a necessidade de ajustes finais dos modelos aos encaixes que geralmente exigem precisão. O processo de criação dessas próteses não é tão simples, para confeccionar o paciente é submetido a um processo de tomografia computadorizada, que por sua vez gera uma quantidade de chapas retiradas de cortes transversais do crânio. A região afetada (acidente ou tumor) é extraída das chapas através da utilização de técnicas de processamento de imagens. Através desta região extraída, *softwares* são utilizados para criar o modelo em 3D da prótese. A partir

deste ponto a prótese é construída e passará por um processo de simulação computacional verificando assim se a prótese será compatível com o paciente, tamanho, e aparência. Com isso, será simulado o comportamento dos tecidos e estruturas via equações construtivas dos materiais, para obter-se uma previsão do resultado anatômico e estético do implante antes do mesmo ser implantado no paciente. ”Assim, pode-se resumir, de uma maneira geral, o projeto de Reconstrução Crânio Facial como um projeto para o desenvolvimento de sistemas de *softwares* baseados em ferramentas gráficas tridimensionais para auxílio a profissionais de saúde na construção, simulação e implantação de próteses” [FEI-LNCC, 2005].

Para facilitar ainda mais a predição de implantes cirurgicos assim como a cirurgia, um dispositivo háptico integrado a *softwares* que geram modelos de proteses é utilizado, com isso podemos ampliar ainda mais o poder de precisão do implante e seu processo de implantação cirurgica. Para criarmos tais modelo hápticos e 3D um software ainda em desenvolvimento chamado StudioProthesis é utilizado [FEI-LNCC, 2005], trata-se de um software que conta com vários recursos gráficos visuais, como modelagem 3D do crânio a partir de tomografia e segmentação automática *slice a slice* (parte a parte). Basicamente o StudioProthesis lê várias chapas removidas tomograficamente de pacientes, as sobrepoem gerando um modelo 3D. Atualmente as seguintes funcionalidades podem ser aplicadas utilizando o StudioProthesis, leitura e gravação de exames de tomografia em formato DICOM (formato específico para aplicações médicas), que trás entre outros benefícios, informações do paciente e do tomógrafo, escala e *set-up* do momento do exame, além de informações do volume da área afetada em forma de *slices*, extração de tecidos mole e tecido duro, implementados através de novas técnicas de segmentação de imagens, específicas para informações médicas, visualização de superfície do crânio e face, implementados com algoritmos de construção e de renderização de superfícies propostos e publicados pelo autor em [FEI-LNCC, 2005], manipulação de tomografia *slice a slice* através do uso de técnicas de Computação Gráfica como *splines* e *volume rendering*. Como o StudioProthesis é um sistema ainda em desenvolvimento, há a demanda por diversas ferramentas de manipulação 3D. Uma dessa ferramentas é um dos próximos passos, que consta do desenvolvimento de um sistema háptico, para manipulação de bisturi

virtual. Além disso, outras novas funcionalidades que precisam ser implementadas como, desenvolvimento de ferramenta gráfica para manipulação de superfícies 3D dentro da interface gráfica que já está desenvolvida, implementação de novos algoritmos, baseados em entropia, para processamento de imagens visando a extração do tecido duros e eliminação de artefatos nas imagens de tomografia, implementação de ferramentas para alinhamento tanto de imagens tomográficas quanto de modelos 3D. O objetivo final é o desenvolvimento de um sistema háptico dentro do StudioProthesis para simulação de um bisturi virtual que permita ao cirurgião navegar sobre a superfície do crânio-prótese recebendo uma certa quantidade de *force-feedback*, precisão e realismo antes da cirurgia.

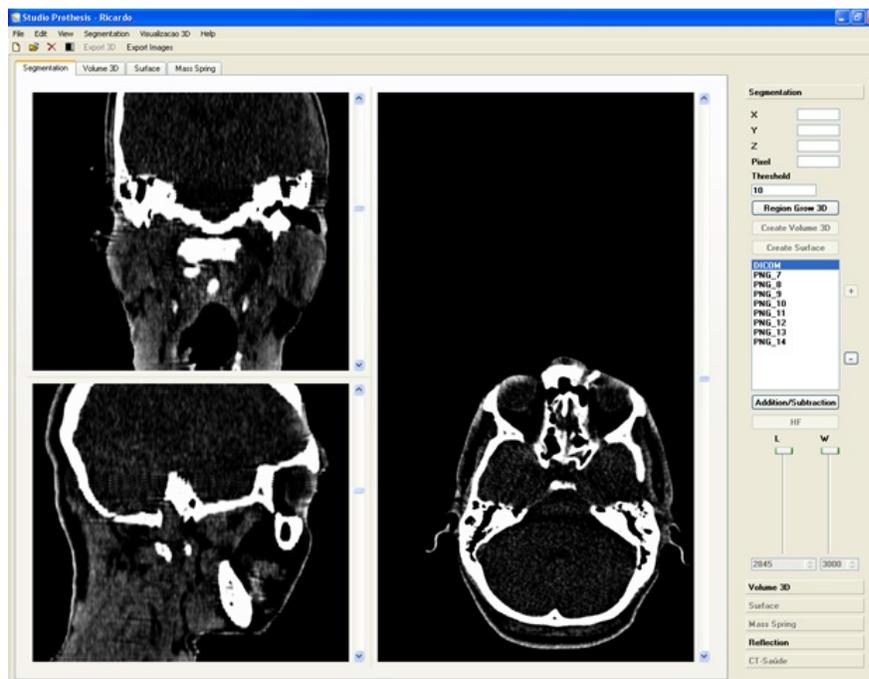


Figura 3.17: Tomografia de um paciente carregado no Studio Prothesis [FEI-LNCC, 2005].

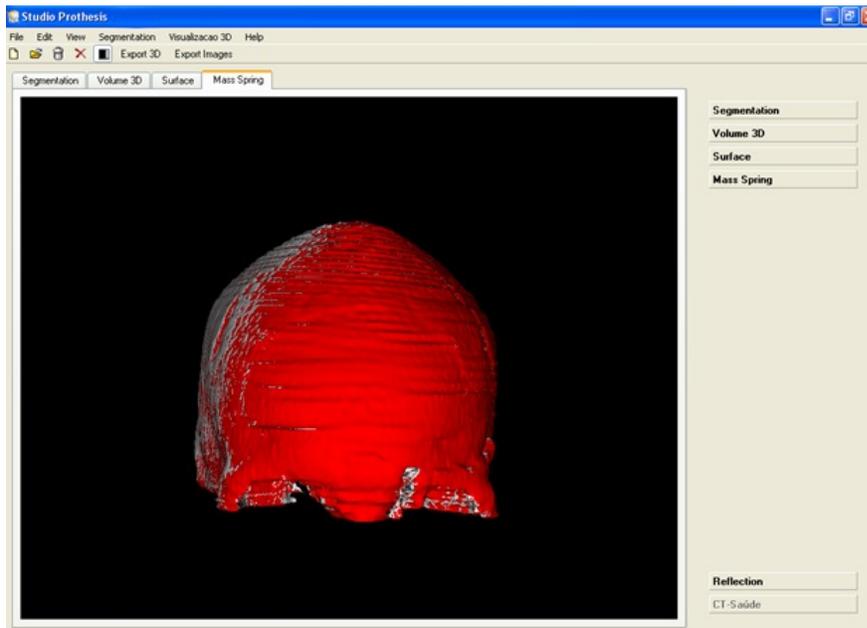


Figura 3.18: Modelo da prótese em 3D sendo construída [FEI-LNCC, 2005].

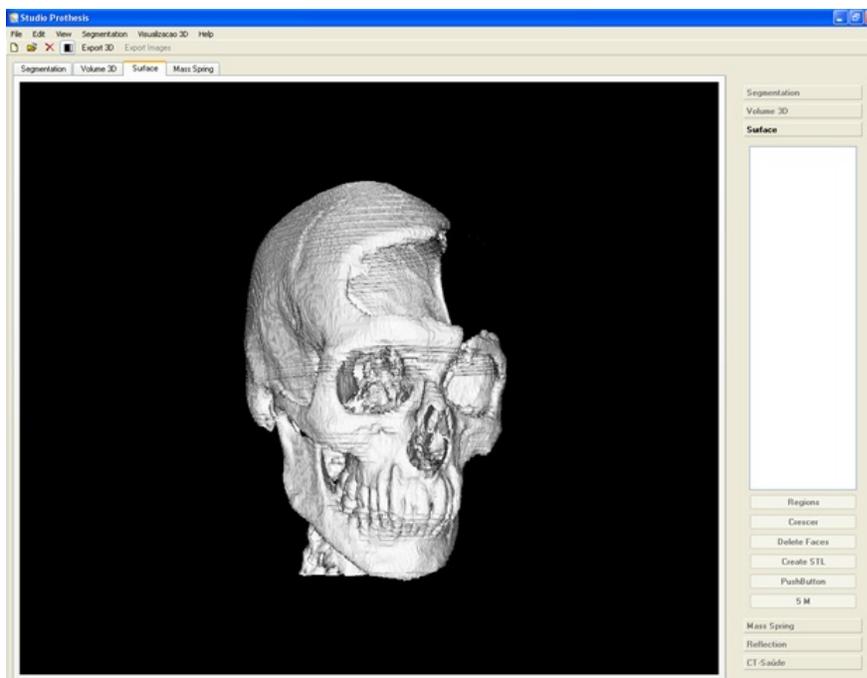


Figura 3.19: Prótese em 3D semi-completa [FEI-LNCC, 2005].

# Capítulo 4

## METODOLOGIA

Neste Capítulo será apresentada a metodologia do sistema háptico para cirurgia virtual utilizando a técnica de corte com um bisturi virtual.

Esse trabalho se resume a uma interface 3D contendo uma malha (objeto) 3D de um crânio humano interagindo com o dispositivo háptico Phantom Omni. O dispositivo simula o *force-feedback* através do seu ponteiro quando ocorre a colisão com a malha. O crânio foi obtido por técnicas de reconstrução 3D através do programa Studio Prothesis conforme descrito na Seção 3.8.

A Figura 4.1 mostra a estrutura geral da metodologia, sendo que a metodologia é composta por três subsistemas: pré-processamento de entrada, interação háptica e processamento de saída.

### 4.1 Pré-processamento de entrada

O processamento de entrada do sistema como pode ser visto na Figura 4.2 consiste em duas entradas: Phantom Omni e malha.

O Phantom Omni como pode ser visto na Figura 3.10 e descrito na Seção 3.3, é um dispositivo háptico que possui uma interface para manipulação e *force-feedback* através de um braço mecânico que trabalha em seis graus de liberdade 3.2.

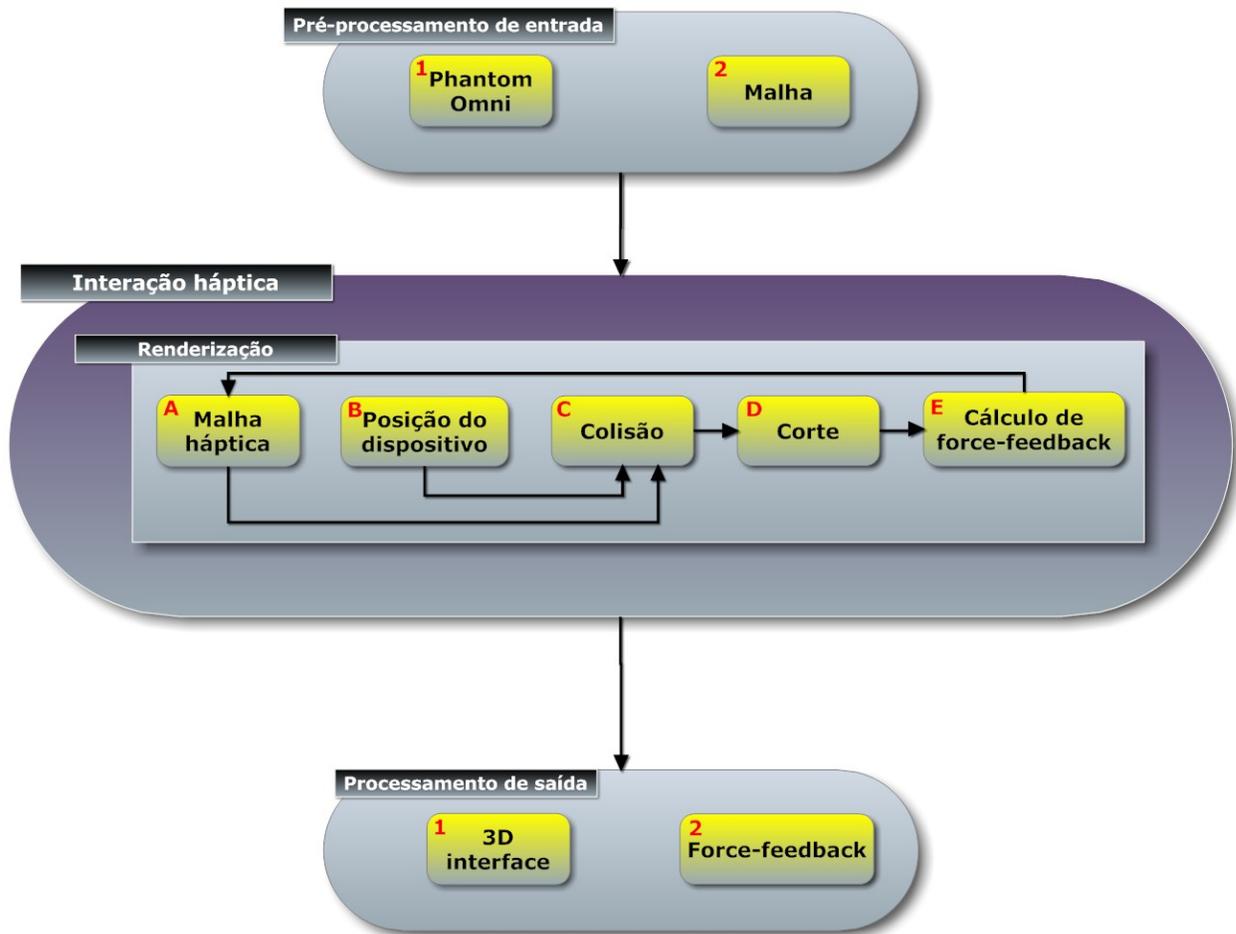


Figura 4.1: Metodologia Geral



Figura 4.2: Pré-processamento de entrada

A malha descrita na Seção 3.5 é um modelo gráfico tridimensional triangularizado que representa um objeto real em um ambiente virtual. A Seção 3.6 mostra que a malha é um arquivo de texto navegável no formato OBJ que será importado via código para manipulação no ambiente 3D.

## 4.2 Interação háptica

A interação háptica encontrada na Figura 4.3 consiste na interação entre o Phantom Omni e a malha, e é realizada através da classe HL que é responsável por toda a parte háptica do Phantom Omni.

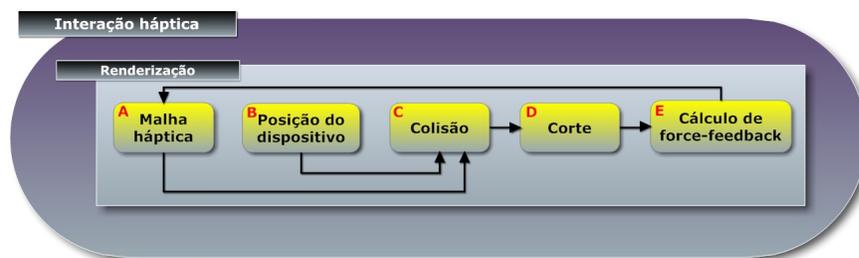


Figura 4.3: Interação háptica

### 4.2.1 Renderização

É o processo de geração de imagem a partir de um modelo computacional pré-definido. A renderização mostrada na Figura 4.4 consiste de 5 etapas: malha háptica, posição do dispositivo, colisão, corte e *force-feedback*.

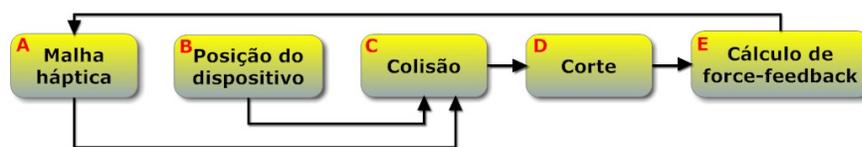


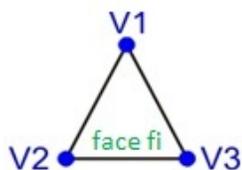
Figura 4.4: Renderização

#### 4.2.1.1 Malha Háptica e Posição do dispositivo

Na Figura 4.4, é apresentada uma visão detalhada de renderização, mostrada na Figura 4.1. O processo consiste em uma interação entre a malha háptica representada pelo Bloco A e a posição do dispositivo representada pelo Bloco B. A da malha háptica representa a plotagem dos pontos da malha na aplicação e paralelamente a este temos o Bloco 2 que define as entradas  $(x, y, z)$  da posição do ponteiro no dispositivo háptico Phantom Omni.

#### 4.2.1.2 Colisão

A colisão representada pelo diagrama da Figura 4.6 é considerada quando ocorre a intersecção dos pontos  $P_{hm} = (x, y, z)$  do Phantom Omni com uma face  $f_i$  da malha (Figura 4.5).

Figura 4.5: Face  $f_i$ 

Esta face possui três vértices com V1, V2 e V3, formando um triângulo. Será a partir da intersecção de  $f_i$  com  $P_{hm}$  que será possível obter a sensação de *force-feedback*.

Para iniciar a colisão, é necessário primeiramente carregar a malha na aplicação (Bloco 1) em forma de arquivo obj Figura 4.7.

Após carregada, o arquivo obj (Seção 3.6) é acessado de forma sequencial a fim de se obter os vértices, as normais e as faces (Bloco 2). Os vértices de cada face são armazenados

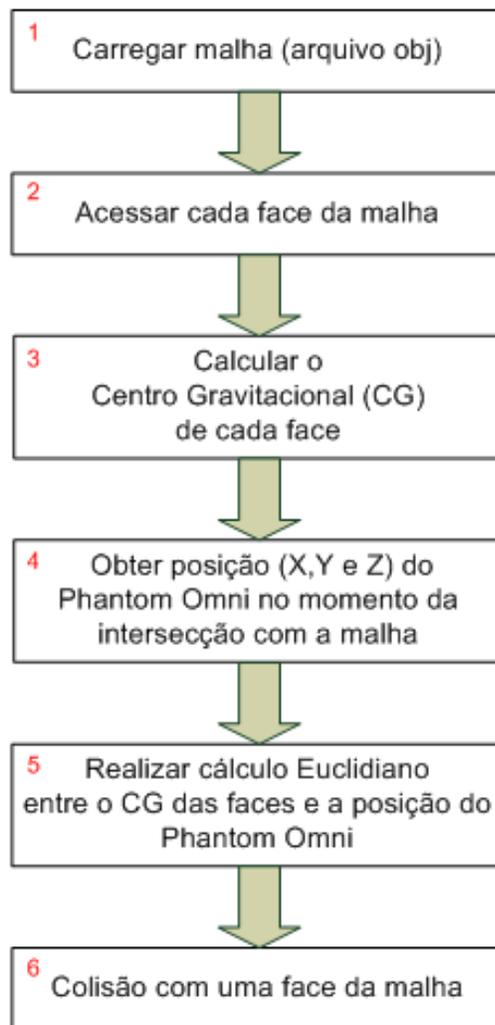


Figura 4.6: Diagrama de blocos da Colisão

em um vetor multidimensional com o objetivo de se calcular o Centro Gravitacional (CG) de cada face  $f_i$  (Bloco 3), além da identificação numérica (Figura 4.8).

Em seguida, é realizada a intersecção propriamente dita através das coordenadas  $P_{hm}$  com as coordenadas de cada  $f_i$  (Bloco 4). Através das coordenadas  $P_{hm}$  e o  $CG_i$  de cada face  $f_i$ , é feito o cálculo da Distância Euclidiana Tridimensional. Escolhe-se a face  $f_i$  de menor distância para o ponto  $P_{hm}$  como sendo a face tocada (Bloco 5) como pode ser visto na Figura 4.9.

Essa menor distância é encontrada a partir da varredura do vetor de faces multidimen-

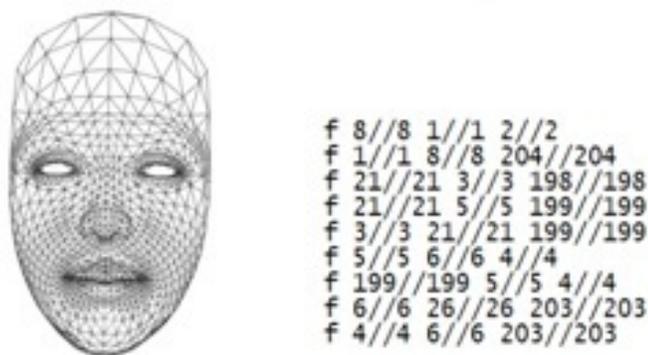


Figura 4.7: Malha a ser carregada.

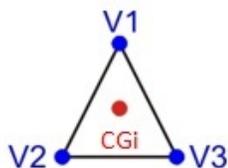


Figura 4.8: Face com indicação do centro gravitacional (CGi).

sional. Com o valor encontrado, é possível saber qual a identificação numérica da face e o valor exato de sua intersecção (colisão) com o Phantom Omni (Bloco 6) para saber qual face foi tocada, podendo assim ser rotulada (Figura 4.10).

#### 4.2.1.3 Corte

O corte propriamente dito é feito através da eliminação de todas as faces tocadas pelo Phantom Omni (Figura 4.11).

Assim, o algoritmo apresentado na Figura 4.6 (colisão) é repetido para cada face  $f_i$  tocada, gerando um caminho (não necessariamente conectado) de faces tocadas, que devem ser eliminadas.

Inicialmente, as faces tocadas são apenas rotuladas (demarcadas) para posterior eliminação. O caminho formado pelas faces tocadas divide o arquivo OBJ em dois grupos de malhas OBJ1 e OBJ2 de faces não tocadas. O OBJ1 está à esquerda da seqüência rotulada e o OBJ2 está à direita da seqüência rotulada.

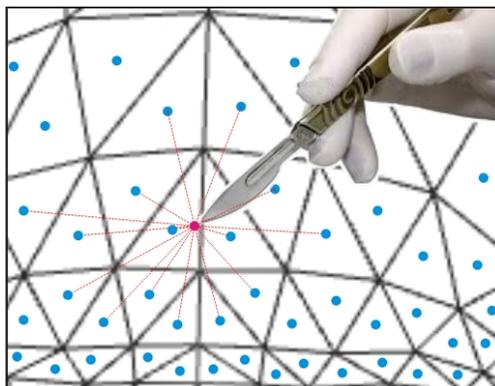


Figura 4.9: Distância Euclidiana.

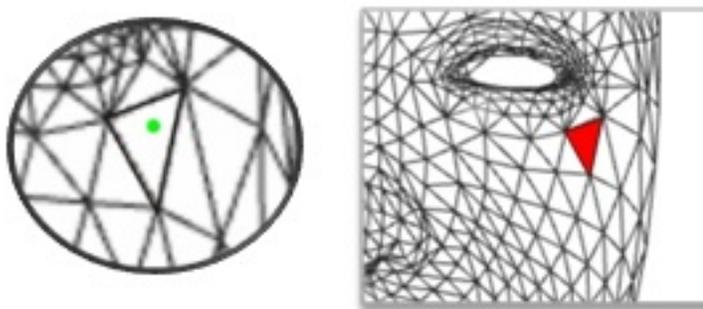


Figura 4.10: Face tocada.

Na renderização, a seqüência rotulada com os triângulos cortados não será exibida para visualização gerando a sensação visual de corte (Figura 4.12). Uma vez que as faces eliminadas não são renderizadas, há também a sensação física de corte (Figura 4.13).

#### 4.2.1.4 Separação de malha

A malha gerada no bloco anterior (Corte Figura 4.12) é ainda um único arquivo OBJ. Nesta etapa, varre-se este arquivo e considerando os rótulos: direita, esquerda e face eliminada, são criadas duas novas malhas, uma com as faces a direita do corte e outra com as faces à esquerda, gerando a sensação de separação do corte (Figura 4.14 e Figura 4.15).

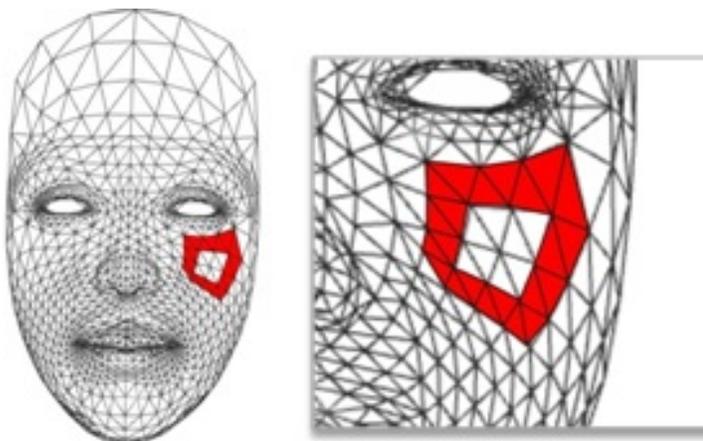


Figura 4.11: Faces tocadas.

#### 4.2.1.5 Cálculo *force-feedback*

O cálculo de força é o responsável para que haja *force-feedback* entre a malha e o usuário no momento da simulação.

Neste trabalho, o cálculo propriamente dito é proveniente da biblioteca HL oferecida pelo fabricante do Phantom Omni, a SenSable. Através de programação na linguagem C pode-se acessar as funções da biblioteca para serem utilizadas na aplicação conforme Figura 4.16.

No diagrama da Figura 4.16 é representado o fluxo de informações entre as partes da aplicação no computador com o usuário e os dispositivos (setas). Entre a aplicação gerada (Bloco 5) e a linguagem de programação (Bloco 4) existe uma troca de informações e as classes HL e HD interagem com o Phantom Omni e a linguagem de programação para que a aplicação funcione corretamente, e há a existência de setas em ambas as direções para indicar que além de receber informações do dispositivo háptico Phantom Omni também processa e envia informações necessárias ao dispositivo para promover *force-feedback*, fazendo com que o Phantom Omni (Bloco 2) se comporte como um dispositivo de entrada e saída. O monitor (Bloco 6) que está presente no diagrama da Figura 4.16 apresenta os objetos virtuais, características, ações e reações no ambiente virtual podendo-se concluir que existe a ocorrência do retorno visual e háptico durante a interação para o usuário (Bloco 1).



Figura 4.12: Diagrama de blocos do Corte

## 4.3 Processamento de saída

A saída do projeto como pode ser visto na Figura 4.17 é a simulação de uma cirurgia craniofacial em um ambiente virtual utilizando da sensação de *force-feedback* para treinamento dos profissionais da área médica. O resultado é a simulação de uma cirurgia de modo que o cirurgião consiga sentir o corte na malha assim como a textura do material.

### 4.3.1 3D Interface e *force-feedback*

O objetivo é obter ao final um corte virtual, com sensação háptica, tornando a simulação similar a uma cirurgia real, desta forma a saída será a visualização da malha definida por interface 3D na Figura 4.17.

O *force-feedback* traduz a sensação de toque que poderá ser sentido através das diferentes movimentações realizadas sobre a malha háptica entre os diferentes tecidos, sendo que o retorno háptico é gerado através do cálculo de *force-feedback* apresentado na Seção 4.2.1.5.

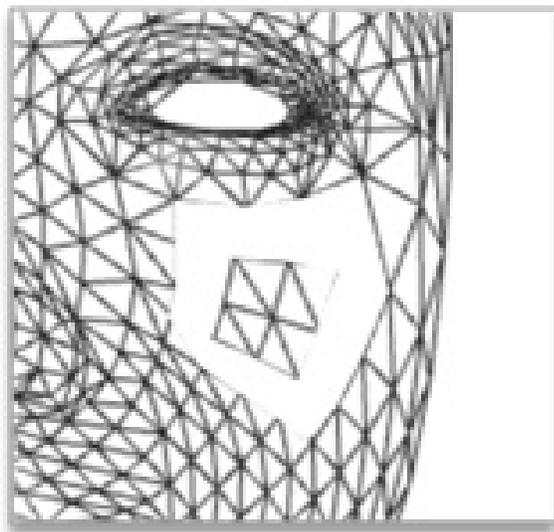


Figura 4.13: Faces retiradas.



Figura 4.14: Diagrama de blocos da separação da malha

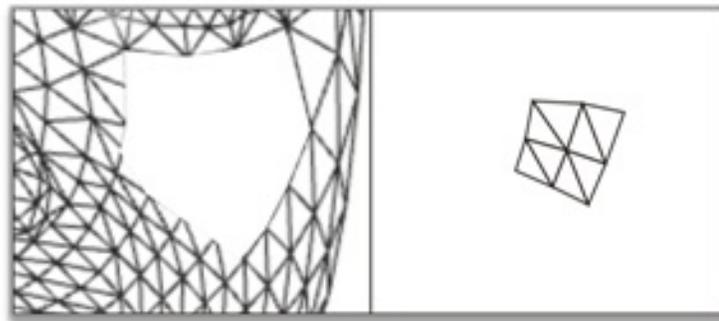


Figura 4.15: Separação da malha

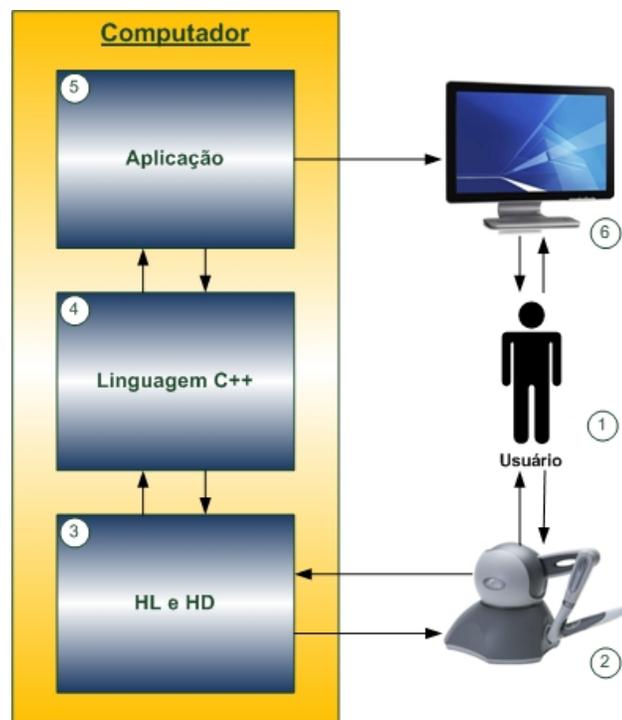


Figura 4.16: Diagrama de integração e interação háptica.



Figura 4.17: Processamento de saída

# Capítulo 5

## ANÁLISE DE REQUISITOS

### 5.1 Funcionais

#### 5.1.1 Requisitos de Negócio

##### 5.1.1.1 Aplicação da interação háptica

Realizar a aplicação da interação háptica entre o dispositivo háptico Phantom Omni e a malha 3D reconstruída. Um corte deve ser feito e através da interação háptica proporcionar *force-feedback*.

##### 5.1.1.2 Riscos

Reduzir riscos de erros em cirurgia através de treinamento em ambiente virtual.

#### 5.1.2 Requisitos de Usuário

##### 5.1.2.1 Incisão Cirurgica

A aplicação proporciona ao usuário fazer incisão com bisturi virtual.

### **5.1.2.2 Retorno de sensação tátil**

O sistema deverá oferecer ao usuário a manipulação da malha háptica retornando sensação tátil aplicada aos ossos representados na malha.

### **5.1.2.3 Posicionamento do bisturi**

O usuário poderá posicionar o bisturi em qualquer lugar da cena para efetuar o corte em relação a posição calibrada inicialmente no dispositivo Phantom Omni.

### **5.1.2.4 Visualização de malha**

O usuário poderá visualizar a malha em qualquer ângulo para efetuar a incisão.

## **5.1.3 Requisitos de Sistema**

### **5.1.3.1 Arquivos suportados**

O sistema deverá trabalhar com arquivos do formato obj.

### **5.1.3.2 Compatibilidade com hardware externo**

O sistema deverá utilizar o dispositivo háptico Phantom Omni que utiliza a interface serial *FireWire*.

### **5.1.3.3 Sistema Operacional**

O Phantom Omni contém suporte para Windows 98, 2000, XP.

### **5.1.3.4 Memória**

O computador deve conter no mínimo 1GB de memória.

### 5.1.3.5 OpenGL

A aplicação deverá utilizar as bibliotecas disponíveis do OpenGL para implementação das funções de processamento de imagem.

## 5.2 Requisitos Não-Funcionais

O usuário deverá calibrar o dispositivo háptico Phantom Omni.

O dispositivo háptico Phantom Omni deverá ser calibrado antes de iniciar a aplicação.

O sistema proporciona visualização de resposta de interação imediata.

O sistema propicia ao usuário facilidade de uso.

# Capítulo 6

## MODELAGEM

### 6.1 Diagrama de Casos de Usos

#### 6.1.1 Cenário principal

A Figura 6.1 representa o cenário principal do sistema.

##### 6.1.1.1 Caso de uso: Calibrar Phantom Omni

**Cenário principal:** O dispositivo háptico Phantom Omni necessita ser calibrado, a fim de zerar todas as suas propriedades e realizar as tarefas com precisão.

**Cenário alternativo:** O usuário pode não calibrar, obtendo assim resultados imprecisos.

##### 6.1.1.2 Caso de uso: Iniciar interação háptica

**Cenário principal:** Conforme o ponteiro desliza sobre as faces triangularizada do modelo tridimensional, uma força é retornada para dispositivo Phantom Omni e conseqüentemente sentida pelo usuário.

**Cenário alternativo:** Caso o ponteiro saia da área onde o modelo 3D esta localizado, a interação háptica deixa de existir.

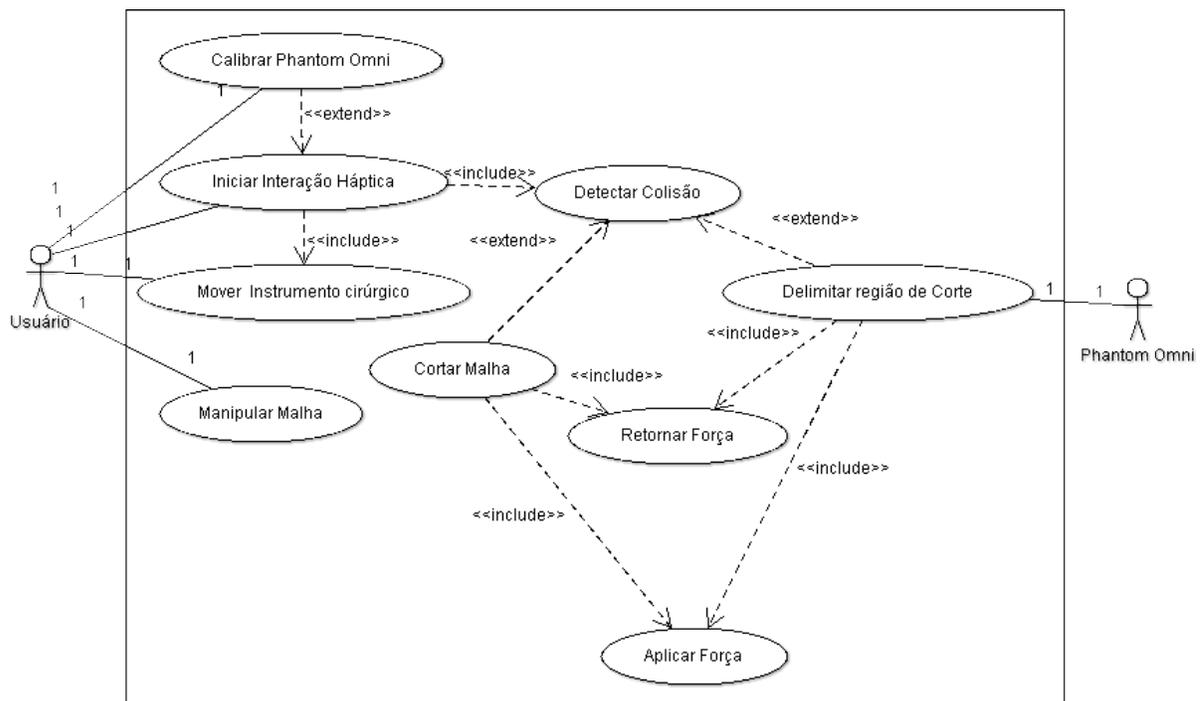


Figura 6.1: Diagrama de caso de uso.

#### 6.1.1.3 Caso de uso: Detectar colisão

**Cenário principal:** No caso da sobreposição entre as malhas do crânio e do bisturi o dispositivo detecta que ocorreu colisão. O usuário têm a sensação de colisão.

#### 6.1.1.4 Caso de uso: Cortar malha

**Cenário principal:** Havendo a detecção de colisão, ocorre o processo de corte dividindo uma malha em duas, após pressionar o botão delete.

**Cenário alternativo:** Caso não haja a colisão do bisturi com a malha o corte não será realizado.

#### 6.1.1.5 Caso de uso: Delimitar região de corte

**Cenário principal:** Havendo a detecção de colisão, ocorre o processo de demarcação da área tocada, simulando a região que será cortada.

**Cenário alternativo:** Caso não haja a colisão do bisturi com a malha o corte não será realizado.

#### 6.1.1.6 Caso de uso: Retornar força

**Cenário principal:** No momento que ocorre a colisão e/ou corte é aplicada a força de retorno e transmitida ao usuário.

**Cenário alternativo:** Caso não haja colisão com as malhas ou o posicionamento do bisturi esteja fora da área restringida pela malha o *force-feedback* não ocorrerá.

#### 6.1.1.7 Caso de uso: Aplicar força

**Cenário principal:** No momento que ocorre a colisão é aplicada a força de retorno e transmitida ao usuário, que posteriormente será sentida pelo usuário.

### 6.1.1.8 Caso de uso: Manipular malha

**Cenário principal:** Ao longo da interação o usuário possui o recurso de manipular a malha com o mouse, ou seja, aplicar translação, rotação e escala sobre a mesma.

### 6.1.1.9 Caso de uso: Mover instrumento cirúrgico

**Cenário principal:** O usuário movimenta o ponteiro do Phantom Omni, afim de executar a interação com a malha.

## 6.2 Diagrama de Classes

A Figura 6.2 representa o Diagrama de Classes.

### 6.2.1 Classe Principal

#### 6.2.1.1 Atributos:

**objMalha:obj** Atributo para carga da malha.

**toque:obj** Retorna se existe ou não contato do cursor com a malha.

#### 6.2.1.2 Métodos:

**escreveNaTela():void** Escreve textos de explicação.

**projetoParaTrackBall(radius:void,x:void,y:void,z:void):void** Realiza o tracking do cursor.

**voidEscreveTexto():void** Escreve menus

**setMapeamentoHaptico(void)():void** Realiza mapeamento na malha para *force-feedback*.

**setCamera():void** Define posição da camera pra visualização da malha.

**desenhaPontos():void** Desenha os pontos da malha (faces,vertices,normais).

**setCoordenadasCursor():void** Define as coordenadas do cursor.

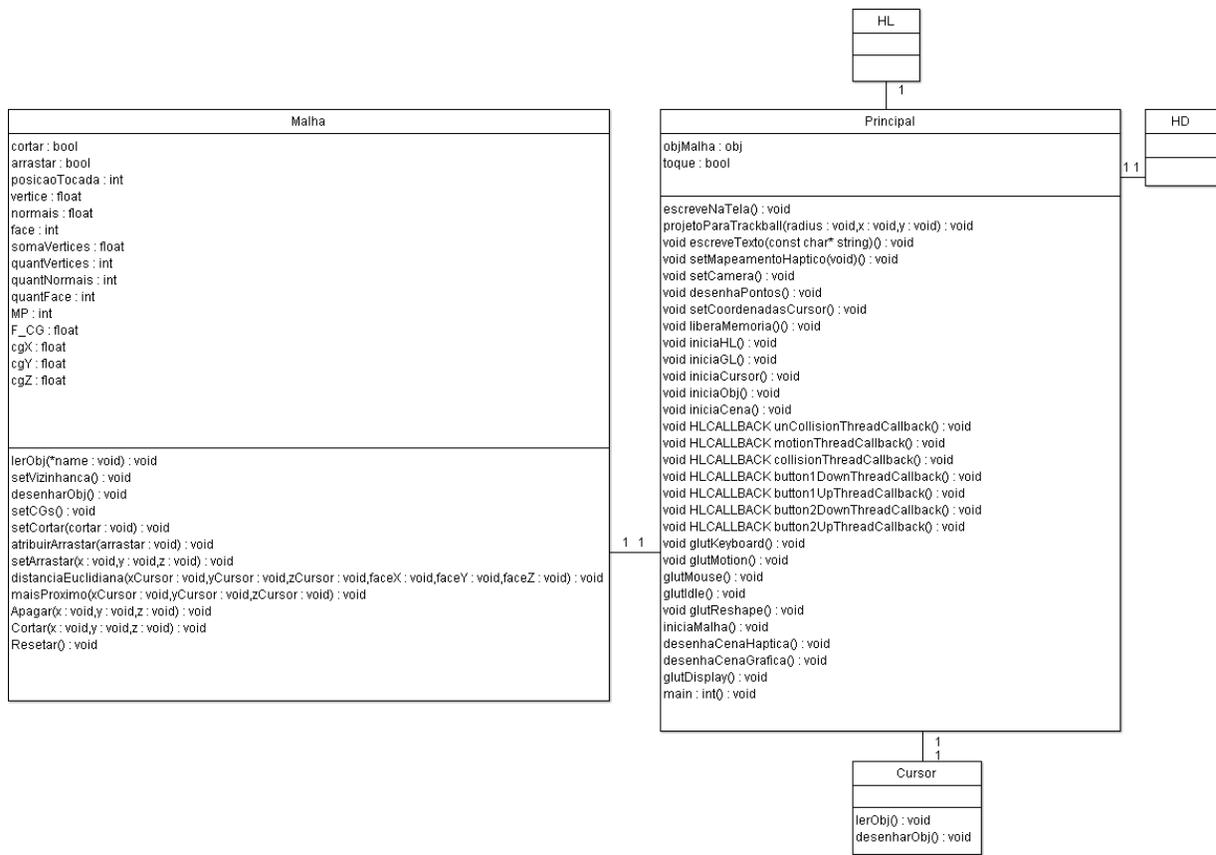


Figura 6.2: Diagrama de classes.

**liberaMemoria():void** Libera memória caso necessário para o carregamento de malhas mais pesadas (maior quantidade de vértices, faces e normais).

**iniciaCursor():void** Carregar cursor para demarcação da malha.

**iniciaObj():void** Inicia o carregamento da malha tridimensional em formato .obj.

**iniciaCena():void** Inicia a cena na qual o modelo e o cursor estarão inseridos.

**HLCALLBACK unCollisionThreadCallback():void** Detecta se o cursor não está em contato com a malha.

**HLCALLBACK motionThreadCallback():void** Retorna o movimento do cursor.

**HLCALLBACK collisionThreadCallback():void** Detecta se o cursor está em contato com a malha.

**HLCALLBACK button1DownThreadCallback():void** Executa ação ao botão 1 do dispositivo háptico ser pressionado.

**HLCALLBACK button1UpThreadCallback():void** Executa ação ao botão 2 do dispositivo háptico ser liberado.

**HLCALLBACK button2DownThreadCallback():void** Executa ação ao botão 2 do dispositivo háptico ser pressionado.

**HLCALLBACK button2UpThreadCallback():void** Executa ação ao botão 2 do dispositivo háptico ser liberado.

**glutKeyboard():void** Executa as ações do teclado.

**glutMotion():void** Executa as ações de movimento.

**glutMouse():void** Executa ações do mouse, como movimentação e redimensionar.

**glutIdle():void** Aciona o ocioso da janela.

**glutReshape():void** Redimensiona o tamanho da janela onde a malha é carregada.

**iniciaMalha():void** Inicia o carregamento das malhas.

**desenhaCenaHaptica():void** Desenha estado inicial da cena gráfica.

**desenhaCenaGrafica():void** Desenha estado inicial da malha.

**glutDisplay():void** Mostra a malha, o cursor, os menus e os textos na janela da aplicação.

**main:int():void** Principal, guarda as chamadas de alguns métodos.

## 6.2.2 Classe Malha

### 6.2.2.1 Atributos:

**Cortar:bool** Algoritmo para corte da malha tridimensional.

**Arrastar:bool** Algoritmo para arrastar a parte cortada da malha tridimensional.

**posicaoTocada:int** Detecta a posição da malha ao haver contato do cursor com a malha.

**vertice:float** Carrega os vertices da malha.

**normais:float** Carrega as normais da malha.

**face:int** Carrega as faces da malha.

**somaVertices:float** Realiza a soma dos vertices para reconstrução da malha.

**quantVertices:int** Armazena o numero de vertices do modelo tridimensional (malha).

**quantNormais:int** Armazena o numero de normais do modelo tridimensional (malha).

**quantFace:int** Armazena o numero de faces do modelo tridimensional (malha).

**cgX:float** Calcula centro gravitacional no eixo X.

**cgY:float** Calcula centro gravitacional no eixo Y.

**cgZ:float** Calcula centro gravitacional no eixo Z.

### 6.2.2.2 Métodos:

**lerObj(\*name:void):void** Lê a malha tridimensional em formato .obj

**setVizinhanca():void** Inicia calculo de vizinhança, procura o vertice mais proximo para montagem da triangularização.

**desenharObj():void** Desenha a malha tridimensional.

**setCGs():void** Ajusta os centros gravitacionais da trinagularização.

**setCortar(cortar:void):void** Método para cortar a malha.

**atribuirArrastar(arrastar:void):void** Atribuí o método arrastar para a malha cortada.

**setArrastar(x:void,y:void,z:void):void** Aciona a função de arrastar.

**distanciaEuclidiana(xCursor:void, yCursor:void, zCursor:void, faceX:void, faceY:void, faceZ:void):void** Calcula a distância Euclidiana dos vértices da malha.

**maisProximo(xCursor:void,yCursor:void,zCursor:void):void** Procura o vértice mais próximo para triangularização.

**Apagar(x:void,y:void,z:void):void** Deletar os vértices delimitados pelo usuário (parte demarcada pelo usuário da malha).

**Cortar(x:void,y:void,z:void):void** Iniciar corte da malha.

**Resetar():void** Volta o modelo em seu estado inicial (antes de demarcação e corte).

### 6.2.3 Classe Cursor

#### 6.2.3.1 Métodos:

**lerObj():void** Carrega a malha que representa um bisturi (modelo tridimensional em formato .obj).

**desenharObj():void** Desenha a malha que representa um bisturí.

### 6.2.4 Classe HL

A classe HL disponibilizada pela fabricante do Phantom Omni, a Sensable, é utilizada para a manipulação dos objetos de maneira háptica utilizando o Phantom Omni. Através desta classe pode-se definir forças a serem aplicadas, também é possível definir as programações específicas para os componentes do dispositivo Phantom Omni, como por exemplo, programar a funcionalidade dos botões.

### 6.2.5 Classe HD

A classe HD é uma classe compilada, por se tratar da interface entre o dispositivo háptico Phantom Omni e a linguagem de programação C++. Através da classe HD é mapeado o dispositivo e o software consegue identificar o hardware possibilitando a manipulação em conjunto das tecnologias em questão.

## 6.3 Diagrama de Sequência

A Figura 6.3 representa o Diagrama de Sequência.

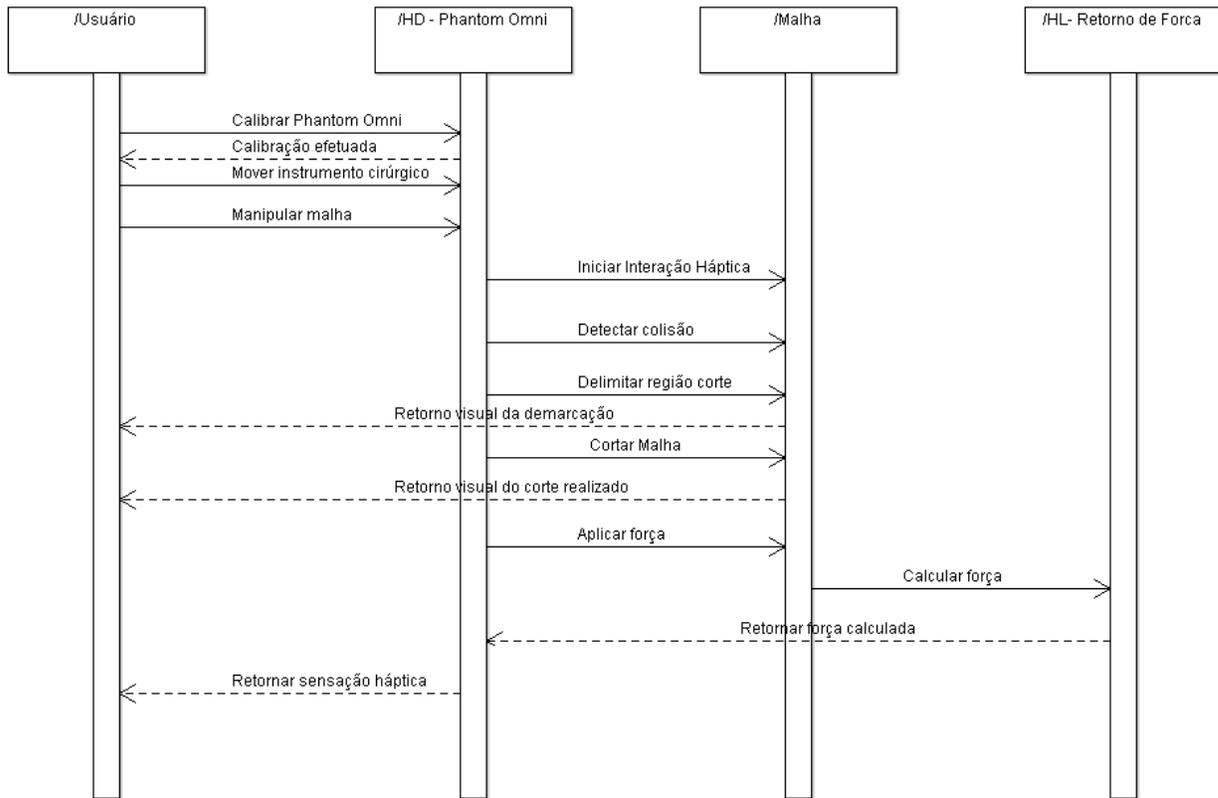


Figura 6.3: Diagrama de sequência.

### 6.3.1 Calibrar Phantom Omni

Usuário inicia aplicativo para calibrar dispositivo háptico.

### 6.3.2 Calibragem efetuada

Aplicativo retorna mensagem de sucesso.

### **6.3.3 Mover instrumento cirúrgico**

Movimenta cursor (caneta) até a área desejada da malha.

### **6.3.4 Manipular malha**

Usuário movimenta a malha, escolhendo sua angulação.

### **6.3.5 Iniciar interação háptica**

Interação é iniciada ao movimentar a malha.

### **6.3.6 Detectar colisão**

Colisão é detectada ao cursor entrar em contato com a malha.

### **6.3.7 Delimitar região de corte**

Usuário delimita a área de corte com o cursor.

### **6.3.8 Retorno visual de demarcação**

Linha colorida indica ao usuário a área demarcada por ele.

### **6.3.9 Cortar malha**

Malha é cortada após usuário enviar comando de corte (apertar botão del).

### **6.3.10 Aplicar força**

Força de corte ao contato do cursor com a malha.

### **6.3.11 Calcular força**

Força é calculada de acordo com a pressão que o usuário executa sobre a malha utilizando o cursor (caneta).

### **6.3.12 Retorno de força calculada**

Força calculada retorna para o dispositivo.

### **6.3.13 Retornar sensação háptica**

Usuário tem a sensação de toque durante o corte da malha tridimensional.

## **6.4 Diagrama de Atividades**

A Figura 6.4 representa o Diagrama de Atividades.

### **6.4.1 Inicia Calibragem**

Usuário inicia aplicativo para calibrar o dispositivo Háptico.

### **6.4.2 Calibrar**

Aplicativo calibra o sistema nas coordenadas 0,0,0.

### **6.4.3 Informar Calibragem**

Aplicativo de calibragem retorna mensagem de sucesso.

### **6.4.4 Inicia Aplicação**

Usuário inicia o aplicativo que irá carregar a malha tridimensional.

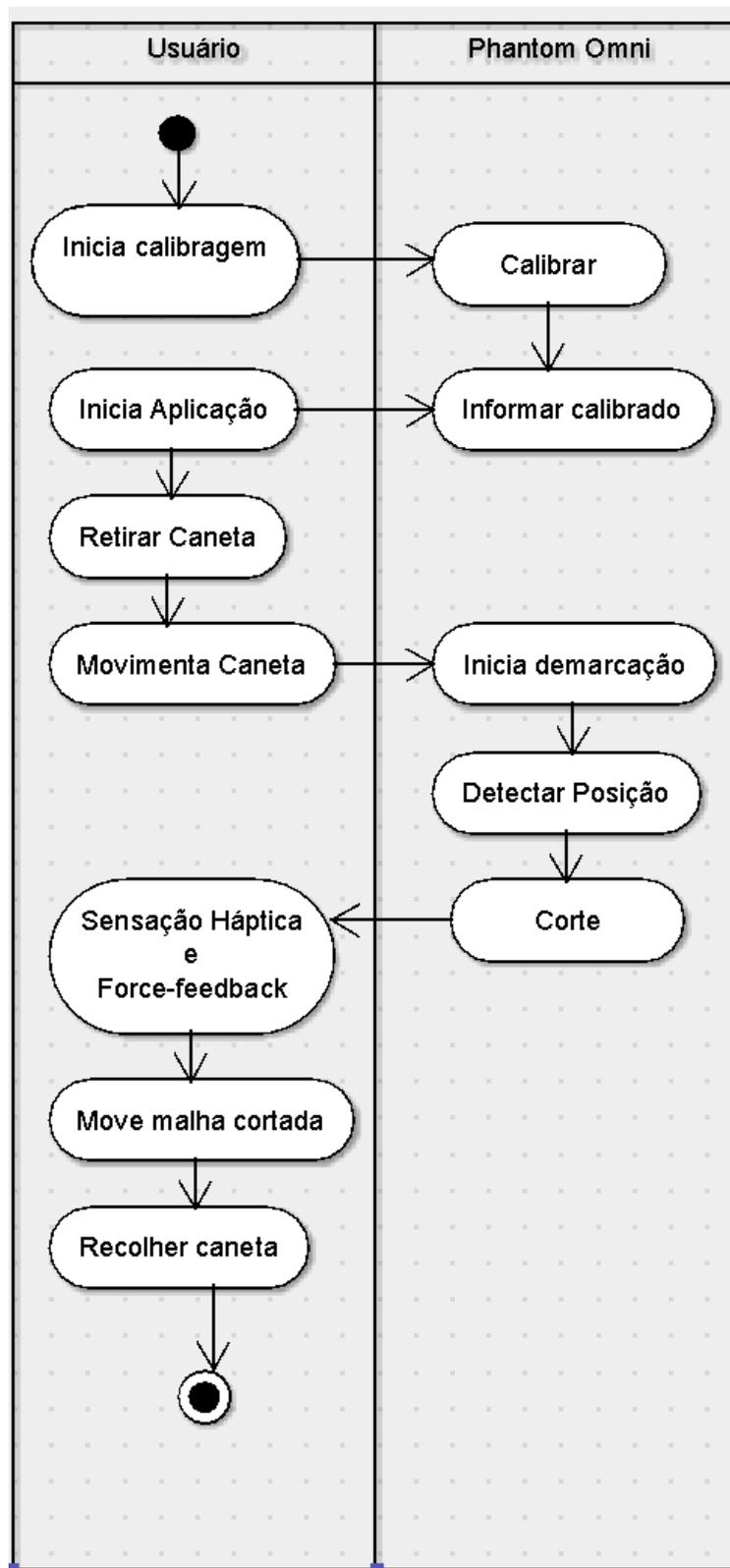


Figura 6.4: Diagrama de atividades.

### **6.4.5 Retirar Caneta**

Usuário retira caneta do compartimento do dispositivo háptico.

### **6.4.6 Movimenta Caneta**

Usuário movimenta a caneta (cursor), até o ponto desejável para início de demarcação do corte.

### **6.4.7 Inicia Demarcação**

Sistema inicia a marcação na malha de acordo com a necessidade do usuário.

### **6.4.8 Detectar Posição**

Sistema detecta a posição da caneta (cursor) na malha.

### **6.4.9 Corte**

Sistema inicia o corte da área demarcada

### **6.4.10 Sensação Háptica e Retorno de Força**

Usuário tem a sensação de corte (através do *force-feedback* do dispositivo).

### **6.4.11 Move malha cortada**

Usuário movimenta a porção da malha cortada.

### **6.4.12 Recolher Caneta**

Usuário posiciona caneta no ponto inicial do dispositivo háptico (compartimento da caneta).

### **6.4.13 Sair**

Usuário encerra a aplicação.

# Capítulo 7

## RESULTADOS

Utilizar o Phantom Omni para interagir com uma malha 3D de um crânio e outra malha de um bisturi virtual para fazer um corte que retorne sensação háptica para simular uma operação virtual, podendo assim utilizar esse sistema em treinamento de profissionais da área médica.



Figura 7.1: Phantom Omni em interação com malha háptica.

# Capítulo 8

## RESULTADOS OBTIDOS

A partir de uma malha triangularizada (Figura 8.1) representando fielmente um crânio humano obtido através da Reconstrução 3D Craniofacial (Capítulo 3.4) foi possível realizar a rotulação o corte a separação das malhas.

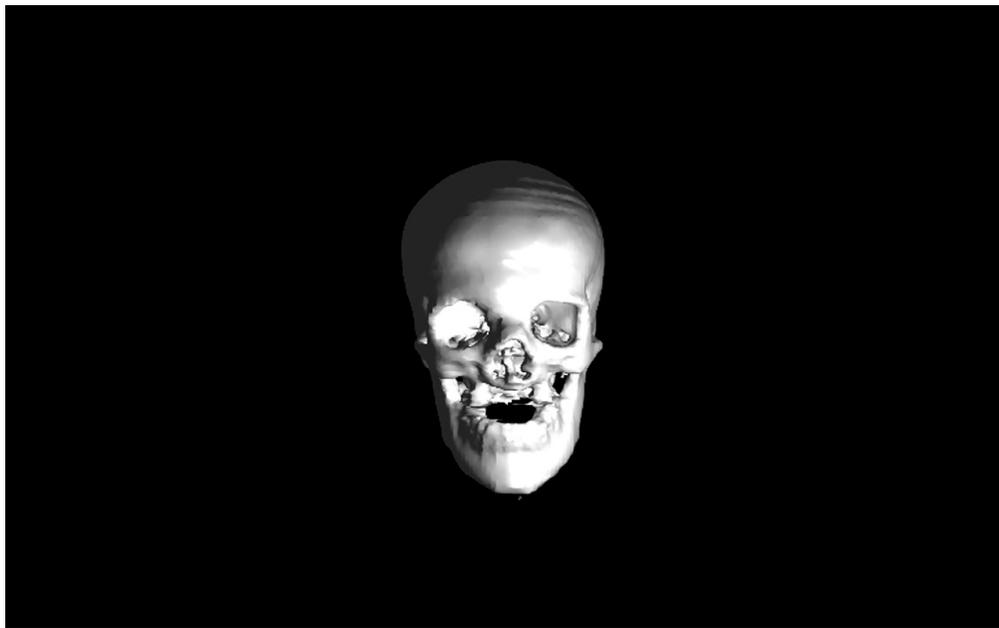


Figura 8.1: Crânio - Malha Triangularizada

A figura a seguir representa a rotulação (demarcação) da região de corte para posterior eliminação da área demarcada. Na Figura 8.2, sobre o crânio é possível visualizar a região

onde o cursor do Phantom Omni obteve a colisão com a malha (em preto). Nesta Figura a demarcação foi feita, ou seja, é considerada completa quando a área demarcada está fechada (inicia e finaliza no mesmo ponto).

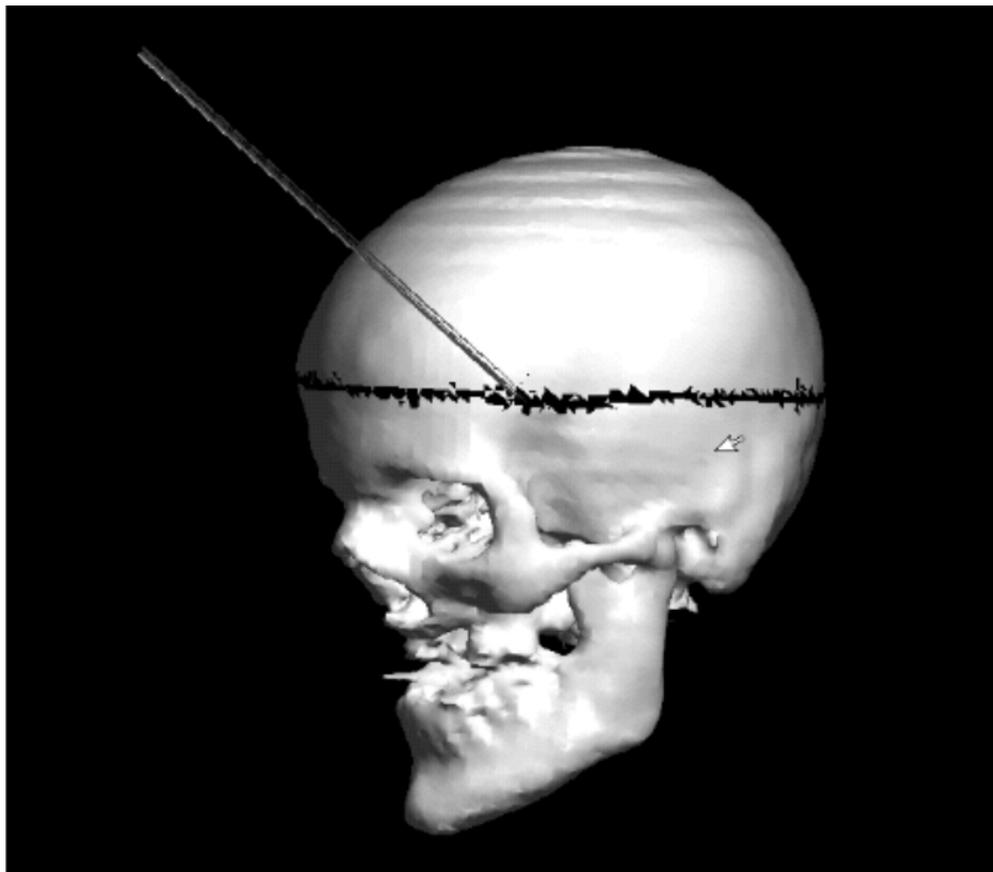


Figura 8.2: Crânio - Área Rotulada

Na Figura 8.3, a região demarcada foi completa, é visível a separação entre a região interna e externa da demarcação. Neste caso é possível visualizar o resultado do corte, utilizando o bisturi pode transpassar a área cortada.

Como último resultado, pode se visualizar na Figura 8.3 que se pode utilizar da malha cortada para melhor mostrar o corte que foi realizado. Este resultado mostra que a malha cortada se tornou duas novas malhas concretizando que o corte foi bem sucedido.

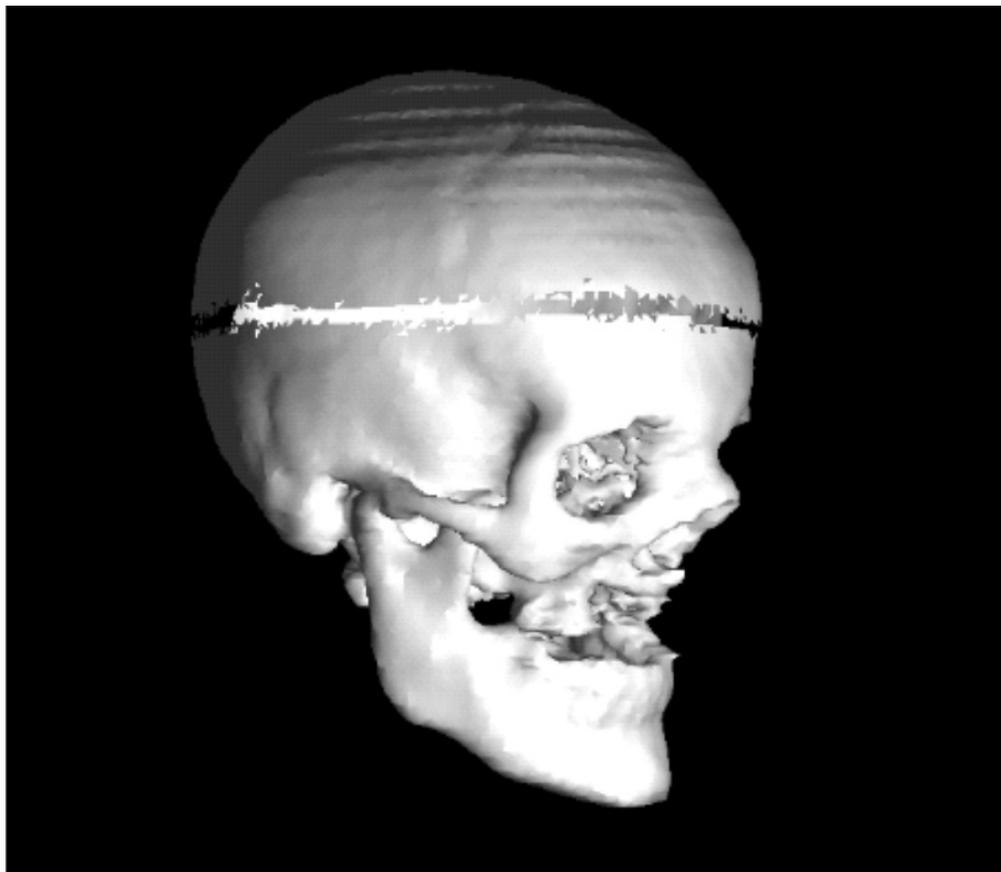


Figura 8.3: Crânio - Corte Realizado

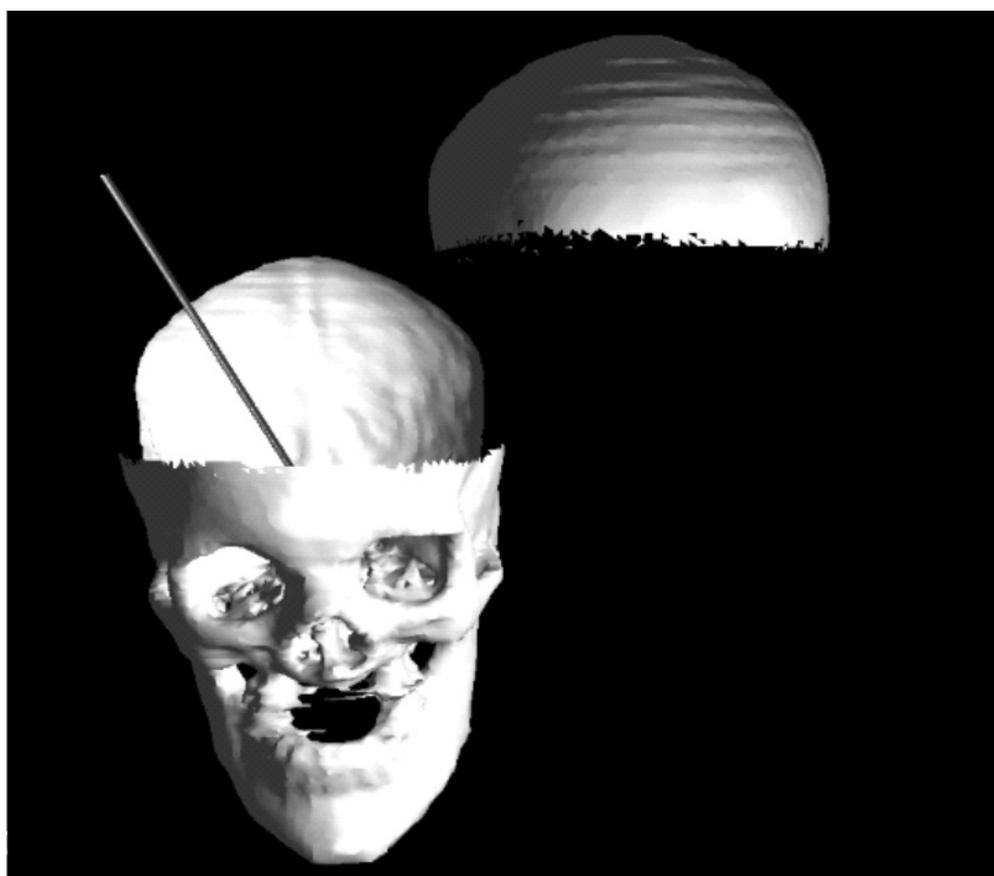


Figura 8.4: Crânio - Corte Realizado

## Capítulo 9

# CONCLUSÕES

A demanda por interfaces gráficas 3D para manipulação médica, especialmente cirurgias craniofaciais, é relativamente grande em todo o mundo. Esse tipo de tecnologia ainda está em desenvolvimento e requer uma grande quantidade de pesquisa. Desafios nesse tipo de interface existem principalmente quando há a necessidade de se reproduzir fielmente informações médicas em objetos gráficos 3D. O modo tradicional de se planejar uma cirurgia de crânio e face é através da manipulação de imagens 2D como tomografia computadorizada ou ressonância magnética. No entanto, essa abordagem pode gerar erros grosseiros e até graves que podem se refletir esteticamente em uma prótese facial. Sendo assim, há a necessidade de prover ferramentas a comunidade médica com interfaces gráficas 3D, mais intuitivas na manipulação e fiéis aos dados médicos. No entanto, tais interfaces trazem consigo toda a dificuldade encontrada para se gerar objetos gráficos 3D, em tempo real e com o maior realismo possível. Uma das abordagens futuras, que não existe ainda em nenhum software comercial para manipulação de próteses faciais, é a interação háptica entre o cirurgião e o modelo gráfico de crânio, o que ampliaria o potencial para a previsibilidade de resultados cirúrgicos.

Com base nos problemas citados acima, este trabalho baseia-se na criação de uma interface tridimensional em conjuntos com o dispositivo Phantom Omni para gerar um ambiente de simulação de cirurgia o mais preciso e próximo da realidade possível. Operações de manipulação de malhas ainda são difíceis de serem implementadas devido a complexidade dos

algoritmos e ao grande tamanho das malhas de crânio, isso implica na pesquisa de novos métodos e algoritmos para esse tipo de manipulação. Uma das propostas deste trabalho é a implementação de funções de manipulação de malhas (como corte). O desenvolvimento de algoritmos de reconstrução 3D é uma área até agora pouco explorada devido a impopularidade tanto de hardwares gráficos quanto das linguagens para sua implementação.

Além disso, pode-se pensar neste projeto não apenas como um simulador e sim estender sua utilidade para vários segmentos, como treinamento de recém formados em medicina, simular cirurgia com dados reais extraídos dos pacientes em exames para tornar a cirurgia a prova de erros, cirurgia a distância, pode haver integração a braços mecânicos sendo que de acordo com a cirurgia simulada braços mecânicos acompanhariam os movimentos do dispositivo, sendo assim teria uma cirurgia precisa realizada por um robô controlado por uma interface háptica de qualquer lugar do mundo.

# Bibliografia

- [AUKSTAKALNIS S., 1992] AUKSTAKALNIS S., B. D. (1992). Silicon mirage: The art and science of virtual reality. *Peatchpit Press*.
- [BIELSER D., 2004] BIELSER D., e. a. (2004). A state machine for real-time cutting of tetrahedral meshes. *Graphical Models*, pages 398–417.
- [BIELSER D., 2000] BIELSER D., G. M. (2000). Interactive simulation of surgical cut procedures. *Proc. Pacific Graphics 2000*, pages 116–125.
- [BIELSER D., 2002] BIELSER D., G. M. (2002). Open surgery simulation. *Proc. Medicine Meets Virtual Reality 2002*.
- [BLYTH P., 2007] BLYTH P., STOTT N.S., A. I. (2007). A simulation-based training system for hip fracture fixation for use within the hospital environment. *Injury, Int. J. Care Injured*, pages 1197–1203.
- [CHANG Y. H., 2008] CHANG Y. H., e. a. (2008). Development scheme of haptic-based system for interactive deformable simulation. *Computer-Aided Design*.
- [CHOI K. Z., 2009] CHOI K. Z., e. a. (2009). A virtual training simulator for learning cataract surgery with phacoemulsification. *Computers in Biology and Medicine*.
- [CHOI K.S., 2006] CHOI K.S., e. a. (2006). Interactive cutting of deformable objects using force propagation approach and digital design analogy. *Computers & Graphics*, pages 233–243.
- [COHEN M., 2006] COHEN M., M. I. H. (2006). *OpenGL uma abordagem prática e objetiva*. Novatec.
- [CONCI A., 2008] CONCI A., AZEVEDO E., L. F. (2008). *Computação Gráfica, Teoria e Prática*, volume 1. Campus.
- [D’AULIGNAC D., 2006] D’AULIGNAC D., e. a. (2006). Towards a realistic echographic simulator. *Medical Image Analysis*, pages 71–81.

- [FEI-LNCC, 2005] FEI-LNCC (2005). *STUDIOPROTHESYS*. Centro Universitário da FEI, Laboratório Nacional da Ciência da Computação, <http://virtual01.lncc.br>, processo cnpq: no. 63636363 edition.
- [GAO Z., 2006] GAO Z., G. I. (2006). Haptic sculpting of multi-resolution b-spline surfaces with shaped tools. *Computer-Aided Design*.
- [HAMBLI R., 2006] HAMBLI R., e. a. (2006). Real-time deformation of structure using finite element and neural networks in virtual reality applications. *Finite Elements in Analysis and Design*, page 985.
- [HANSEN K. V., 2004] HANSEN K. V., e. a. (2004). Modelling of interaction between a spatula and a human brain. *Medical Image Analysis*, page 23.
- [JIMEHNEZ P., 2001] JIMEHNEZ P., THOMAS F., T. C. (2001). 3d collision detection: a survey. *Computers & Graphics*, pages 269–285.
- [KLATZKY R., 2000] KLATZKY R., e. a. (2000). Modality specificity in cognition: The case of touch. the nature of remembering: Essays in honor of robert g. crowder. *American Psychological Association Press*.
- [KYUNG K-U., 2001] KYUNG K-U., e. a. (2001). Force feedback for a spine biopsy simulator with volume graphic model. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 1732–1737.
- [LABTATE, 2007] LABTATE (2007). Laboratório de cartografia tátil e escolar. <http://www.labtate.ufsc.br>.
- [LAYCOCK S. D., 2005] LAYCOCK S. D., D. A. (2005). Incorporating haptic feedback for the simulation of a deformable tool in a rigid scene. *Computers & Graphics*, pages 341–351.
- [LI C.F., 2005] LI C.F., FENG Y.T., O. D. R. J. (2005). Smb: Collision detection based on temporal coherence. *Comput. Methods Appl.*, pages 2252–2269.
- [LIU X., 2005] LIU X., e. a. (2005). Manipulation of cad surface models with haptics based on shape control functions. *Computer-Aided Design*, pages 1447–1458.
- [MALFATTI, 2006] MALFATTI, e. a. (2006). Um atlas 3d háptico para o estudo de anatomia. *Computação Gráfica*.
- [OAKLEY I., 2000] OAKLEY I., e. a. (2000). Putting the feel in look and feel. *ACM Conference on Human Factors and Computing Systems*.
- [OPENGL, 2009] OPENGL (2008-2009). Open graphics language. <http://www.opengl.org>.
- [PIERROT F., 1999] PIERROT F., e. a. (1999). A safe robot arm for medical applications with force feedback. *Medical Image Analysis*, 3:285.

- [RAISAMO R., 2007] RAISAMO R., e. a. (2007). Design and evaluation of a tactile memory game for visually impaired children. *Interacting with computers*, pages 196–205.
- [SELA G., 2007] SELA G., e. a. (2007). Real-time incision simulation using fem-based discontinuous free form deformation. *Computer-Aided Design*.
- [SENSABLE, 2009] SENSABLE (2009). Manual de especificações do phantom omni. <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm>.
- [SHREINER D., 2007] SHREINER D., e. a. (2007). *OpenGL programming guide*, volume 4. Pearson.
- [THOMAS G., 2001] THOMAS G., e. a. (2001). The design and testing of a force feedback dental simulator. *Computer methods and programs in biomedicine*, page 53.
- [TONIETTO, 2008] TONIETTO, L. (2008). Formato obj. Computação Gráfica.
- [WANG P., 2006] WANG P., e. a. (2006). A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback. *Computer methods and programs in biomedicine*.
- [WARD J. W., 1998] WARD J. W., e. a. (1998). The development of an arthroscopic surgical simulator with haptic feedback. *Future Generation Computer Systems*, pages 243–251.
- [WATSON K., 1999] WATSON K., e. a. (1999). Development of stereoscopic-haptic virtual environments. *12th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pages 29–34.
- [ZHONG Y., 2009] ZHONG Y., e. a. (2009). An electromechanical based deformable model for soft tissue simulation. *Artificial Intelligence in Medicine*, pages 275–288.