

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**O USO DE REALIDADE VIRTUAL NA SIMULAÇÃO E
TREINAMENTO DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL EM BOVINOS
COM DISPOSITIVOS HÁPTICOS**

Alexandre Ribeiro Silva Júnior

Orientando

Alexandre Cardoso Dr

Orientador

Edgard Lamounier Jr. Ph.D.

Co-orientador

Uberlândia MG, 2012

Alexandre Ribeiro Silva Júnior

**O USO DE REALIDADE VIRTUAL NA SIMULAÇÃO E
TREINAMENTO DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL EM BOVINOS
COM DISPOSITIVOS HÁPTICOS**

Dissertação apresentada por Alexandre Ribeiro
Silva Júnior à Universidade Federal de Uberlândia
para obtenção do título de Mestre em Ciências,
avaliada em 24 de agosto de 2012 pela banca
examinadora

Área de Concentração

Computação gráfica

Banca Examinadora

Alexandre Cardoso, Dr. UFU (orientador)

Keiji Yamanaka, Dr. UFU

Ismar Frango Silveira, Dr. MACKENZIE

Uberlândia MG, 2012

O USO DE REALIDADE VIRTUAL NA SIMULAÇÃO E TREINAMENTO DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL EM BOVINOS COM DISPOSITIVOS HÁPTICOS

Alexandre Ribeiro Silva Júnior

Texto da dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Orientador

Prof. Keiji Yamanaka, Dr.

Professor Convidado

Prof. Ismar Frango Silveira, Dr.

Professor Convidado

Uberlândia

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG - Brasil

S586u
2012 Silva Júnior, Alexandre Ribeiro, 1982-
 O uso de realidade virtual na simulação e treinamento de inseminação artificial em bovinos com dispositivos hápticos / Alexandre Ribeiro Silva Júnior. - 2012.
 79 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.
Co-orientador: Edgard Lamounier Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Realidade virtual - Teses. 3. Simulação (Computadores) - Teses. 3. Inseminação artificial - Teses.
I. Cardoso, Alexandre, 1964- II. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964- III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

DEDICATÓRIA

*À minha Família, pelo apoio e afeto durante
minha trajetória.*

*A minha esposa Sandra Sales de Jesus
compreensão, confiança e carinho.*

Meu muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Aos Orientadores, pela paciência e competente orientação.

Ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro pelo acolhimento e reconhecimento profissional.

Ao CNPQ – MINTER pelo auxílio.

Meu Muito Obrigado!

Resumo

O procedimento de inseminação artificial em bovinos exige preparo e destreza do profissional. Na maioria das vezes, o treinamento da fecundação é feito através de contato direto com próprio animal. Nos períodos de treinamento prático, muitas vezes, não é possível a uma grande quantidade de alunos terem contato com o animal, por fatores como: custos, riscos à saúde do animal e do usuário, espaço físico inadequado, cio e manejo do animal. Tais fatores acabam tornando o processo de aprendizado extremamente teórico, culminando no despreparo dos mesmos. Nesse sentido, propõe-se um simulador de Inseminação Artificial (SISTIA – SISTEMA DE TREINAMENTO DE INSEMINAÇÃO ARITIFICIAL) com um modelo do aparelho reprodutor bovino, que visa, dentre outros fatores, a: realizar o treinamento em um ambiente virtual, antes de partir para a necessidade da prática no ambiente real, diminuir os custos com treinamento, diminuir gastos com a compra de material, diminuir riscos com a saúde do aluno, uma vez que, ele não será exposto ao contato com vírus e bactérias, diminuir os riscos de lesões ao animal por excesso ou erro de treinamentos reais, acompanhar os resultados de treinamento por meio da visualização de seus dados armazenados em um banco de dados da simulação.

O treinamento em Realidade Virtual na simulação será desenvolvido com ajuda do dispositivo Háptico Phantom Omini. O uso desse tipo de dispositivo permite uma interação mais próxima do mundo real, uma vez que, dentre outros fatores, retorna ao usuário a sensação de rigidez, textura, tamanho e força do objeto tocado, podendo melhorar o desempenho do usuário e intensificar o sentimento de imersão.

Abstract

The procedure of artificial insemination in cattle requires preparation and professional dexterity. In most cases, the training of fertilization is done through direct contact with animal itself. During periods of practical training, often is not possible a lot of students have contact with the animal, by factors like costs, risks to animal health and user, inappropriate physical space, cio and animal management. These factors end up making the learning process extremely theoretical, culminating no same unpreparedness. Accordingly, it is proposed a simulator of Artificial Insemination (SISTIA-ARITIFICIAL INSEMINATION TRAINING SYSTEM) with a model of appliance Reproduction veal, seen, among other factors, on: conduct training in a virtual environment, before leaving for the need of the practice in the real environment; decrease training costs, reduce expenses for the purchase of equipment, reduce risk with the student's health, since it is not exposed to contact with viruses and bacteria, reduce the risk of injury to the animal or real training error, monitor the results of training through the visualization of your data stored in a database of the simulation.

The Virtual reality training simulation will be developed with the help of the Phantom haptic technology device Omini. The use of this type of device allows a closer interaction of the real world, since, among other factors, returns the user the sensation of stiffness, texture, size and strength of the object can improve performance, and intensify the feeling of immersion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A localização do Sistema de Treinamento perante as áreas de conhecimento.....	18
Figura 2 - Exemplo Free Form Deformation [extraído de (PAVARINI, 2006)]	24
Figura 3 - (a) - Aparelho Reprodutor Bovino.....	26
Figura 4 - Pesquisador testando simulador de extração de medula óssea [(MACHADO, 2003)]	28
Figura 5 - Dispositivo Háptico no Modelo de Fibra de Vidro [(BAILLIE, KINNISON e FORREST, 2009)]	31
Figura 6 - Diagrama Caso de Uso do Sistema.....	34
Figura 7 – Arquitetura do Sistema.....	38
Figura 8 – Interface Gráfica Sistema	39
Figura 9 – Interface Gráfica Sistema	40
Figura 10 – Modelo 3D Aparelho Reprodutor Bovino	41
Figura 11 – Conjunto visual do Sistema	42
Figura 12 - Módulo de Avaliação	43
Figura 13 - Dispositivo Háptico Phantom Omini.....	44
Figura 14 - Diagrama de Classes do Sistema	45
Figura 15 a) Modelo 3D Externo.....	46
Figura 16 - Modelagem Instanciamento de Primitivas	47
Figura 17- Modelagem por Deformação de Superfícies	47
Figura 18 -Blend Surface	48
Figura 19 - Conversão Splines para Malha Poligonal Triangular	48
Figura 20 - Falha Modelagem Objeto (KADLECEK e KMOCH, 2011)	49
Figura 21 - Procedimento de busca de falhas.....	49
Figura 22 - Problemas de renderização do objeto	50
Figura 23 - Imagem normal invertida	50
Figura 24 - Face oculta dos objetos	51
Figura 25 - Rotinas Dispositivo Háptico.....	52
Figura 26 - Processo de aplicação háptica (WATSON, 1999).....	52
Figura 27- Algoritmo de reconhecimento do háptics	53
Figura 28- Adicionando uma interface háptica à simulação	54
Figura 29 - <i>Thread</i> de Sincronização	54
Figura 30- Rotinas Processamento Gráfico.....	55
Figura 31- Propriedades Gráficas e Físicas Objeto	56
Figura 32 - Caixas Alinhadas	57
Figura 33 - Caixas Orientadas	57
Figura 34 - Caixas Esferas.....	57
Figura 35 - Modelo Baseado em Politopo.....	57
Figura 36- Algoritmo de Volume Limitante - AABB Tree	59
Figura 37 - Subdivisão Hierárquica Octrees (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012).....	59
Figura 38- Divisão do Espaço em Octantes	60
Figura 39 - Diferentes Tipos de Cervix.....	60
Figura 40- Exemplo Virtual Proxy (RUPINI, KOLAROV, <i>et al.</i> , 1997).....	61
Figura 41 - Cálculo da Deformação da Mola para Objeto Estático (Transparência)	63
Figura 42 - Modelo Massa-Mola (MEIER, L’OPEZ, <i>et al.</i> , 2005)	64
Figura 43- Deformação da Malha.....	65

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Motivação.....	14
1.2	Objetivos	17
1.3	Objetivos Específicos.....	17
1.4	Novas metáforas de uso de RV	18
1.5	Estrutura da Dissertação.....	18
2	Fundamentos.....	20
2.1	Introdução.....	20
2.2	Realidade Virtual: Uma visão geral.....	20
2.3	Elementos da Realidade Virtual	21
2.3.1	Realidade Virtual Imersiva.....	21
2.4	Dispositivos Hápticos	22
2.5	Deformação de Objetos.....	23
2.5.1	Deformação Livre	24
2.5.2	Métodos de Elementos Finitos (Finite Element Method - FEM).....	24
2.5.3	Métodos Massa-Mola.....	25
2.6	Inseminação artificial em bovinos	25
2.7	Conclusão	27
3	Trabalhos Relacionados.....	28
3.1	Introdução.....	28
3.2	A Realidade Virtual no Transplante de Medula Óssea	28
3.3	Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia	29
3.4	The Haptic Cow	30
3.5	Conclusão	32
4	Análise e Especificação do Sistema	33
4.1	Introdução.....	33
4.2	Especificações do Sistema	33
4.3	Diagrama de Caso de Uso	34
4.4	Arquitetura do Sistema.....	38
4.5	Conclusão	40
5	Detalhes da Implementação	41
5.1	Introdução.....	41
5.2	Funcionamento do Sistema	41

5.2.1	Observação do Ambiente Virtual	41
5.2.2	Módulo de Treinamento.....	42
5.2.3	Módulo de Avaliação.....	42
5.3	Definição dos Dispositivos.....	43
5.3.1	Hardware	43
5.3.2	Software - Ambiente de Programação	44
5.4	Implementação.....	46
5.4.1	Geração dos Modelos Tridimensionais.....	46
5.4.2	Rotinas do Dispositivo Háptico.....	52
5.4.2.1	Inicialização Cena Háptica.....	52
5.4.2.2	Posicionamento do Dispositivo Háptico.....	53
5.4.2.3	Sincronização das Rotinas de Visualização e Háptica.....	55
5.4.2.4	Detecção de Colisão e Cálculo de Retorno de Forças	56
5.4.3	Conclusão	65
6	Resultados e Limitações	67
6.1	Introdução.....	67
6.2	Metodologia.....	67
6.3	Resultados	68
6.3.1	Funcionalidades.....	68
6.3.2	Usabilidade.....	69
6.3.3	Confiabilidade	71
6.3.4	Eficiência.....	72
6.3.5	Usuário	73
6.3.6	Considerações e Sugestões dos Entrevistados.....	74
6.4	Conclusão	74
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	75
7.1	Contribuições.....	76
7.2	Trabalhos Futuros	76
8	Referências	77

1 Introdução

1.1 Motivação

Realidade Virtual é uma ‘interface avançada de usuário’ para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização e movimentação em ambientes tridimensionais, em tempo real, e a interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos do tato e audição (TORI, KIRNER e SISCOUTTO, 2006, p. 6). Pode-se captar os movimentos do corpo, transformando uma situação artificial em uma situação real, permitindo ao usuário uma interação com o computador e assim despertar uma sensação de realismo em ambientes imaginários. Além disso, no ambiente virtual, os sentidos e as capacidades das pessoas podem ser ampliados em intensidade, no tempo e no espaço. É possível ver, ouvir, sentir, acionar e viajar muito além das capacidades humanas como: muito longe; muito perto; muito forte; muito fraco; muito rápido ou muito lento. Ao mesmo tempo, pode-se ampliar a medida do tempo, para que as pessoas possam observar ocorrências muito rápidas, ou reduzir a medida do tempo, acelerando-o, para observar ocorrências e fenômenos muito lentos que poderiam demorar séculos (TORI, KIRNER e SISCOUTTO, 2006, p. 3).

(NETTO, TAHARA, *et al.*, 1998) destaca entre as potencialidades da Realidade Virtual para simulação e treinamento os trabalhos na área de treinamento em aviões de combate (apud MCCARTY *et al.*, 1994), e treinamento de operadores de radares e operações de treinamento de soldados com tanques de guerra (apud Sense, 1996).

(QUÉAU, 1993, p. 93) corrobora que a verdadeira revolução reside nas possibilidades específicas da capacidade de interação com espectador e na possibilidade de geração em tempo real, cuja confiabilidade e realismo vêm sendo aproveitado há anos pelos simuladores de voos, nos testes de combinações para criar panes ou incidentes e testar todas as configurações de voo, mesmo as mais improváveis. É imprescindível instituir critérios, objetivar os “pontos de vista”, situar com precisão os campos de expressão, os lugares de onde se fala, estabelecer as bases de uma ética da imagem virtual, visto que a Realidade Virtual possui inegáveis vantagens, mas também apresenta riscos, ao intuito do usuário acreditar tanto nos simuladores a ponto de tomá-los como reais e acabar considerando o mundo real como extensão dos mundos virtuais.

O virtual torna-se referência, e quando voltamos ao mundo real pensamos então poder aplicar a ele, naturalmente, os mesmos procedimentos e métodos, a mesma falta de preocupação que se tem no virtual. Vários exemplos podem ser citados: o da equipe de operadores de radar do navio Americano *Vicennes*, que tendo confundido na tela-radar um eco (gerado sinteticamente) de avião Airbus iraniano com um eco de Mig, provocou o lançamento de um míssil e a morte de centenas de passageiros civis; o dos pilotos americanos que atiraram mísseis ar-solo sobre tropas Britânicas durante a Guerra do Golfo, pretendendo não ter identificado nas suas telas de balizas dos sinais destinados a reconhecê-los como amigos. (QUÉAU, 1993, p. 97)

Outra área que tem crescido em quantidade e qualidade segundo (SZÉKELY, 1999) é a utilização da RV para aplicações na área médica. Simuladores de procedimentos constituem hoje as principais aplicações de RV em Medicina e têm o objetivo de ajudar estudantes na fase de residência, no treinamento de procedimentos médicos antes de executá-los efetivamente em pacientes reais. Desta forma, esses profissionais auxiliam em adquirir habilidades básicas para manipulação de instrumentos, podendo oferecer maior confiabilidade aos exames e demais procedimentos (FREITAS e NEDEL, 2003) (PAVARINI, 2006).

Diante deste contexto, é importante salientar uso da Realidade Virtual para ensino e treinamento. Kozak e Wittenberg (KOSAK *et al.*, 1993; WITTENBERG, 1995) apresentam estudos realizados nos quais os resultados obtidos em treinamento com o uso de Realidade Virtual são, claramente, superiores àqueles obtidos com sistemas reais.

No campo da veterinária e zootecnia, nos últimos anos, devido à substituição da monta natural¹ pelo processo de inseminação artificial, os métodos de reprodução passaram para um estágio elevado de qualidade e diminuição dos riscos a saúde do animal. Neste tipo de procedimento, os usuários realizam o procedimento de fecundação sem nenhuma informação visual, sendo sua habilidade háptica fundamental para o sucesso do procedimento. Em métodos desta natureza, sabe-se, que tradicionalmente, os treinamentos são feitos no próprio animal. No entanto, tal procedimento tem custos elevados e podem causar traumas no aparelho reprodutor, por exaustivos treinamentos (SEVERO, 2009).

Considerando, as propriedades que utilizam o procedimento de inseminação artificial como forma de concepção do rebanho, a perícia do inseminador é, segundo (SMITH, p. 4), um fator extremamente importante na taxa de fertilidade. Inseminadores altamente qualificados obtêm bons resultados de fertilidade, enquanto inseminadores menos qualificados conseguem taxas aceitáveis somente com sêmen de touros de grande fertilidade (SMITH). A insegurança do inseminador pode afetar o nível de fertilidade do rebanho segundo (VENDRUSCOLO, *et al.*, 2005 apud Olds e Seath., 1954).

¹ Cobertura de animais de reprodução (Dicionário Escolar Língua Portuguesa, 2008)

Outro fator preponderante para o sucesso do procedimento de Inseminação Artificial é o tempo de Inseminação (VENDRUSCOLO , KOZICKI, *et al.*, 2005). Neste sentido, os autores desenvolveram um experimento que objetivou estudar a velocidade, em termos de tempo dispendido, à execução da inseminação artificial, propriamente dita, em bovinos de corte. Objetivou-se correlacionar a fertilidade obtida nos animais pesquisados, bem como verificar a interferência da perícia dos inseminadores quando do ato da IA, além da interferência do conjunto de múltiplas variáveis (mês, período, tempo, numero de partos, escore da condição corporal, touro, raça, temperatura) sobre a taxa de prenhes. Foram analisados dados de 244 animais procedentes de três fazendas, sendo 50 animais do grupo I (animais inseminados em período de tempo de até dois minutos) e 194 animais do grupo II (animais inseminados em período de tempo acima de dois minutos).

Confrontando os dados obtidos no experimento de (VENDRUSCOLO , KOZICKI, *et al.*, 2005), observou-se que quando a variável tempo foi analisada isoladamente e dividida em dois grupos, a velocidade com que se realizou a Inseminação Artificial nas vacas, influenciou a taxa de prenhes com significativa diferença, sendo (84,0%) de prenhes nos animais que foram inseminados em até dois minutos, contra (65,5%) dos animais inseminados com o tempo superior a dois minutos.

Ao se testar a perícia dos inseminadores, e correlacioná-la ao número de prenhes nas três fazendas, observou-se que o resultado relativo à eficiência da mão de obra utilizada, na fazenda três, diferiu dos obtidos nas fazendas um e dois, ou seja, a taxa de prenhes, obtida na fazenda três foi menor que a das demais fazendas. Deve-se ressaltar que foi nesta fazenda, que houve maior porcentagem de animais inseminados em período de tempo superior a dois minutos, (96% dos animais inseminados), tornando essa observação indicativa de que quanto maior o tempo da Inseminação Artificial e menor a perícia do Inseminador, menor é a probabilidade de gestação.

Ao final das análises realizadas, a pesquisa concluiu que a perícia do inseminador e o tempo gasto ao executar o ato da inseminação artificial propriamente dito, afeta significativamente a taxa de concepção.

Igualmente, quando comparados os sistemas virtuais aos sistemas reais tanto as habilidades hápticas, quanto as visuais são características que podem ser desenvolvidas em um ambiente virtual (NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002). Outro fator importante que deve ser em consideração é o fato de o ambiente virtual permitir ao usuário visualizar, manipular, interagir e explorar o aparelho reprodutor e sua anatomia, o que não pode ser feito, conjuntamente, em um ambiente real.

De fato, as ferramentas baseadas em Realidade Virtual para simulação e treinamento oferecem uma nova perspectiva de manipulação, interação e exploração que, combinado com informações táteis garantem um maior grau de realismo (MACHADO, 2003).

Diante deste contexto, pesquisadores têm explorado técnicas de RV voltados para treinamento veterinário. Entretanto, os sistemas avaliados até o presente momento, apresentam um sistema reprodutor externo, que limita a simulação apenas a requisitos de palpação para detecção de doenças, não permitindo a simulação de um procedimento de inseminação artificial, uma vez que, tal procedimento ocorre internamente ao aparelho reprodutor. Tal fato limita o aprendizado de inseminação artificial em ambientes virtuais.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é investigar técnicas de Realidade Virtual que suportem a simulação de inseminação artificial em bovinos, de tal forma que manipulação, interação e exploração interna de um aparelho reprodutor bovino virtual.

Outro fator fundamental é a possibilidade de treinamento de força e sensibilidade utilizado no processo de inseminação artificial com o aplicador de inseminação artificial.

Pretende-se com esse sistema possibilitar o treinamento do procedimento a um maior número de usuários, independente de questões tais como: tempo, custos, horário, manejo, etc.

É importante salientar, ainda, que ambientes virtuais para treinamento desta natureza permitem a repetição do treinamento, ilimitadamente, sem custos de manutenção e também aumentam o grau de transferência de habilidades para situações reais.

1.3 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo aqui proposto, os seguintes objetivos específicos são considerados:

- Desenvolver um modelo de RV que suporte (acomode) o real formato do aparelho reprodutor bovino (anatomia);
- Acomodar, junto a este SRV, elementos de força e feedback;
- Testar o modelo e a associação com usuários finais;

A abordagem desenvolvida enquadra-se no âmbito de três grandes áreas: Realidade Virtual, Educação e Treinamento, conforme apresentado na Figura 1.

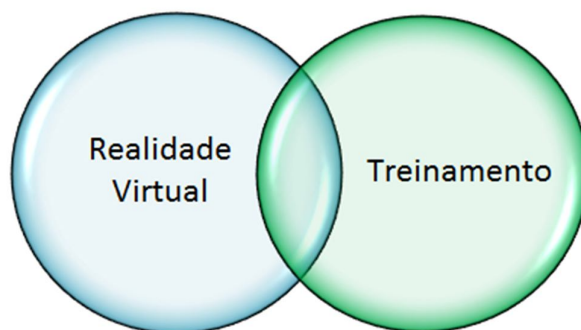


Figura 1 - A localização do Sistema de Treinamento perante as áreas de conhecimento

1.4 Novas metáforas de uso de RV

Acredita-se que este trabalho de pesquisa contribui para qualidade de vida dos animais inseminados, melhora o nível de treinamento dos usuários e diminui os riscos a saúde de ambos, uma vez que o treinamento será feito no ambiente virtual. O treinamento deverá ser feito com um grau de realismo semelhante ao procedimento real e permitir a interação do usuário.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 : Introdução

Apresentação geral, objetivos do trabalho e estrutura da dissertação.

Capítulo 2 : Fundamentos

Revisão da literatura envolvida, bem como pesquisa relacionada aos procedimentos com dispositivos hápticos.

Capítulo 3: Trabalhos Relacionados

Apresentação geral de outros trabalhos desenvolvidos na área.

Capítulo 4: Análise e Especificação do Sistema

São apresentadas as análises de um sistema de treinamento de inseminação artificial em bovinos baseados em Realidade Virtual. Além disto, é descrito a proposta de um sistema de treinamento, especificando sua arquitetura.

Capítulo 5: Projeto e Implementação de um Simulador para Treinamento de Inseminação artificial em bovinos

Apresentação do simulador e descrição dos módulos;

Aspectos de implementação do simulador e propriedades do dispositivo háptico.

Capítulo 6: Análise e Avaliação dos Resultados

Apresenta uma análise entre o treinamento executado na prática com o treinamento feito no ambiente virtual.

Análise dos resultados obtidos com o treinamento virtual e avaliação feita pelos usuários do sistema.

Capítulo 7: Conclusões e Trabalhos Futuros

Considerações sobre o que foi apresentado e propostas para trabalhos futuros.

2 Fundamentos

2.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos e o estado da arte relacionada à Realidade Virtual, bem como os procedimentos de Inseminação artificial em bovinos. Outros conceitos importantes relacionados ao desenvolvimento do sistema de Realidade Virtual, proposto para simulação e treinamento também serão abordados: modelagem de objetos tridimensionais, deformação de objetos, algoritmos de colisão, dispositivos hápticos.

2.2 Realidade Virtual: Uma visão geral

A Realidade Virtual surgiu recentemente, fruto do desenvolvimento de novas tecnologias, que utilizando-se de dispositivos (luvas, capacete, óculos, etc.) pode-se captar os movimentos do corpo, transformando uma situação artificial em uma situação real, permitindo ao usuário um novo paradigma de interação com o computador e assim despertar uma sensação de realismo em ambientes imaginários (CADOZ, 1997).

A interface utilizada para a Realidade Virtual envolve um controle em terceira dimensão interativo, onde o usuário entra em um espaço virtual podendo visualizar, manipular, interagir e explorar os dados da aplicação em tempo real, visitando lugares onde jamais estaria na vida real. Isto porque seja muito grande para ser examinado ou muito pequeno para ser visto, muito caro, muito distante, talvez até muito frio ou escaldante.

De forma mais interativa, ao contrário da televisão, dos livros, fotos, filmes ou aulas, pode-se trabalhar em um laboratório de Química o com gases perigosos sem muitas dificuldades pelo meio da Realidade Virtual, manipulando e analisando o próprio alvo de estudo. Ainda, através da Realidade Virtual, podemos pilotar aeronaves, caminhar por edificações que ainda serão construídas, construir modelos computadorizados em projeto, simulação ou animação.

(NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002) explicam que “na prática, a RV permite que o usuário navegue e observe um mundo tridimensional, em tempo real e com seis graus de liberdade (6DOF). Isso exige a capacidade do *software* de definir, e a capacidade do *hardware* de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita. Na essência, a RV é um “espelho” da realidade física, na qual o indivíduo

existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor”.

Existem grandes vantagens neste tipo de interação, cujo conhecimento do usuário relacionado ao mundo real, pode ser transferido para o ambiente virtual incorporando novas tecnologias que são capazes de tornar os ambientes computacionais mais semelhantes à realidade humana e, conseqüentemente, mais atrativos e fáceis de usar (NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002, p. 5).

Para que o usuário possa interagir com o mundo virtual, existem dispositivos não convencionais como capacete, luvas, e outros dispositivos que dão ao usuário a impressão de realidade, permitindo a exploração de ambientes e a manipulação de objetos com o uso das mãos, por exemplo, para apontar, pegar, e realizar outras ações (LAVROFF, 1994) .

2.3 Elementos da Realidade Virtual

2.3.1 Realidade Virtual Imersiva

Embora não existam regras rígidas sobre o que um sistema de Realidade Virtual deva ou não ter, os melhores sistemas utilizam três elementos básicos: **imersão, navegação e manipulação**.

(CADOZ, 1997, p. 10) apresenta de uma forma bastante interessante que estar imerso é ter a capacidade de ver, ouvir, tocar e manipular objetos que não existem, percorrer espaços sem lugar, em companhia de pessoas que estão alhures, tendo a absoluta convicção da realidade e da presença daqueles e destas.

De acordo com (QUÉAU, 1993, p. 99)

O fascínio pelos mundos virtuais e pelas imagens de síntese toca particularmente as jovens gerações. Este fascínio provém do fato de que não somente podemos criar pequenos “mundos” do nada, mas sobretudo pelo fato de que, num certo sentido, podemos habitar “realmente” esses mundos.[...] Não há dúvida de que o virtual venha tornar-se um novo ópio do povo. Eis precisamente a razão pela qual devemos acompanhar os seus desenvolvimentos, conter seus usos eticamente questionáveis e pensar nos seus fundamentos.

A imersão é em primeiro lugar uma função do hardware. Na visão de (LAVROFF, 1994): “Estar imerso em um sistema de Realidade Virtual é sentir que você está vivenciando uma realidade alternativa de dentro e não apenas observando-a através de uma janela”.

A percepção do nível de imersão de um sistema de RV é influenciada fortemente pelos dispositivos visuais e a qualidade da imagem gerada.

(NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002) aponta que a Realidade Virtual Imersiva é baseada no uso de equipamentos como:

- Dispositivos Visuais – (Capacetes) dispositivo constituído por um capacete com um sistema de minúsculas telas de tv e com um conjunto de lentes que ajudam a focalizar as imagens ampliando o campo de visão do usuário;
- Dispositivos de Interação (Luvas de dados): dispositivo que permite ao sistema de RV reconhecer os movimentos da mão do usuário que veste a luva, determinando assim os movimentos dos dedos. Na maioria dos casos eram utilizados luvas com sensores mecânicos. Atualmente, são utilizados sensores de fibra ótica que medem a intensidade da luz quando os dedos são flexionados, transmitindo para o computador a posição dos dedos.
- Dispositivos Hápticos (Reação Tátil): dispositivos que procuram estimular sensações como o tato, tensão muscular, e temperatura. Sua utilização em sistemas de Realidade Virtual envolve sistemas computacionais potentes e dispositivos específicos. (NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002) dispõe que os sistemas de reações táteis podem dispor de percepção de geometria, rugosidade, temperatura e atrito, permitindo assim simulações de situações que não existem no campo visual como exemplo da leitura em braile para deficientes visuais.

2.4 Dispositivos Hápticos

Segundo Burdea apud (RODRIGUES, 2011) o termo háptico é derivado do grego “hápticos” que significa “tocar” ou “perceber” e está relacionado à informação sensorial recebida, por meio do toque ou contato físico. Desta forma, pode-se definir, de uma maneira simples, que dispositivos hápticos são equipamentos capazes de permitir que usuários possam sentir, de alguma forma, os objetos que estão sendo manipulados no ambiente virtual.

Segundo (MACHADO, 2003, p. 19) Dispositivos hápticos são aqueles que incorporam sensores e atuadores, permitindo o monitoramento das ações do usuário e fornecendo-lhe sensação tátil e/ou de força. Já (CASTRO, PAULA e TAVARES, 2004) afirma que “o sistema háptico está relacionado com a percepção de textura, movimento e forças através da coordenação de esforços dos receptores do tato, visão, audição e propriocepção. Assim, “a

função háptica depende da exploração ativa do ambiente, seja este estável ou em movimento. Perceber os ambientes virtuais por meio de um sistema háptico é o objetivo destas interfaces”.

O dispositivo háptico consiste em um braço robótico que permite interação com ambientes tridimensionais, no qual, se rastreia a posição do cursor nas coordenadas x, y, z de acordo com os movimentos do usuário e tem como principal conjunto de propriedades: rigidez, elasticidade, fricção estática, fricção dinâmica, dentre outras (SANTOS, 2010).

Outros fatores importantes levados em consideração para o desenvolvimento do sistema de simulação e treinamento de inseminação artificial em bovinos foram: a detecção de colisão entre os objetos (aplicador e o órgão reprodutivo) e a força utilizada no dispositivo para as simulações. A detecção de colisão, a resposta da colisão e a força aplicada permitem um aumento do grau de realismo, consideradas fator determinante para o sucesso do treinamento de inseminação artificial em um ambiente virtual.

Para (MACHADO, 2003, p. 23) os passos mais complexos referem-se à detecção das colisões e cálculo das forças de reação, pois estes são dependentes das informações de interação monitoradas e podem estar atreladas ao ambiente ou aos objetos que o compõe.

Segundo Oliveira apud (TORRES e NUNES, 2011), detectar a colisão consiste em verificar o momento em que ocorre uma aproximação suficientemente pequena entre objetos de um ambiente virtual a ponto de possibilitar sobreposição entre eles, sendo que o processo de reconhecimento dos movimentos realizados pelo usuário e o cálculo das forças de reação ao dispositivo háptico é conhecido segundo (MACHADO, 2003) como modelagem física.

Um ambiente virtual mais próximo da realidade possível precisa simular de forma prática o comportamento dos corpos segundo as leis da física. Nesse sentido, quando um objeto colide com o outro em um ambiente virtual, um não pode simplesmente atravessar o outro.

2.5 Deformação de Objetos

Segundo (MACHADO, 2003) modelos dinâmicos ou modelos deformáveis são aqueles que podem apresentar deformação no tempo a partir do contato com os mesmos. Essas deformações incluem aspectos físicos do material do qual o modelo é constituído, sendo a geometria utilizada para representar a forma do objeto e a física para impor restrições sobre o mesmo. Para (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011) a deformação de objetos é um recurso que auxilia a transformação de um AV em uma simulação mais próxima do mundo real e consiste basicamente na mudança das estruturas poligonais do objeto formando um novo modelo dependendo da tensão aplicada ao modelo 3D.

Alguns métodos de deformação têm sido propostos sendo **Deformação Livre, Métodos de Elementos Finitos e Massa Mola** os mais citados pela comunidade acadêmica.

2.5.1 Deformação Livre

A Deformação de Forma Livre (Free Form Deformation - FFD) consiste segundo (SEDERBERG, 2011, p. 149) em uma técnica de manipulação de modelos geométricos sólidos de uma maneira livre através de pontos de controle. De uma forma bem simples, esta técnica consiste em envolver o modelo geométrico em uma grade parametrizada que sofre deformação e por sua vez deforma o objeto Figura 2.

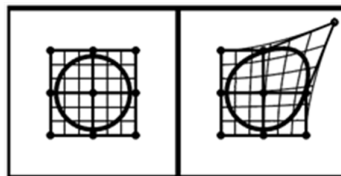


Figura 2 - Exemplo Free Form Deformation
[extraído de (PAVARINI, 2006)]

(KERA, PEDRINI e NUNES, 2011) explica que “mesmo sendo versátil, esse método apresenta dificuldades para limitar as deformações para pequenas regiões, pois somente os objetos inseridos dentro das grades são deformados globalmente. Como o método FFD desconsidera propriedades físicas para deformação de objetos, essa técnica acaba sendo limitada e custosa, pois não permite a manipulação dos objetos que compõem a cena, não sendo uma técnica satisfatória para aplicações de RV”.

2.5.2 Métodos de Elementos Finitos (Finite Element Method - FEM)

Segundo (AZEVEDO, 2003, p. 1) método dos elementos finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Utiliza-se de técnicas de Matemática para encontrar soluções aproximadas para equações diferenciais, sendo que a técnica subdivide o problema, resultando em partes menores de malhas poligonais (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011).

Já para (PAVARINI, 2006) o método dos elementos finitos (FEM), originou-se da necessidade de resolver elasticidade complexa e análise de estruturas. Para tal utiliza-se a teoria da elasticidade que afirma que a deformação de um corpo é proporcional à tensão aplicada desde que o limite elástico do material não seja excedido. Apesar de ser uma técnica vantajosa em termos de deformação, a mesma apresenta desvantagens quando aplicada em

sistemas de tempo real, uma vez que, por ser uma técnica baseada em cálculos matemáticos a reavaliação se torna muito cara, em termos de processamento.

2.5.3 Métodos Massa-Mola

Segundo (PAVARINI, 2006) o método massa-mola é uma técnica baseada na física que permite a remodelagem de objetos deformados por meio de nós de massa conectados por *springs* (molas). De uma forma bem simples, cada ponto é interligado ao outro por uma mola. Como a estrutura da mola possui elasticidade, ocorre a deformação do objeto quando é exercido uma pressão sobre um ponto. O método é baseado na lei de Hooke, na qual a força produzida pela mola é diretamente proporcional ao seu deslocamento do estado inicial. (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011). Assim, como nos outros métodos, (PAVARINI, 2006) explica que o método massa-mola também tem desvantagens devido aos valores determinados para a constante da mola que compõem o objeto. Não é trivial derivar esses valores devido às propriedades medidas do material.

2.6 Inseminação artificial em bovinos

O procedimento de Inseminação Artificial em bovinos consiste na deposição do sêmen no útero da fêmea, por meio de materiais apropriados, ao invés de ocorrer à cópula com um touro, com a finalidade de concepção (VIEIRA, 2012).

O trabalho apresentado por (SEVERO, 2009) traçou um estudo do Impacto da Inseminação na indústria Bovina no Brasil e no mundo e comprovou que a Inseminação Artificial é o método de escolha dos países de maior produção leiteira, por ser um método simples, econômico e de fácil disseminação em comparação com outros métodos. Calcula-se, segundo a ASBIA (Associação Brasileira de Inseminação Artificial), que mais de 106 milhões de fêmeas sejam, anualmente, inseminadas em todo o mundo, sendo que no Brasil, até o ano de 2010, apenas 10% das fêmeas eram inseminadas, passando a atingir a meta de 23% em 2011.

As vantagens da Inseminação Artificial, segundo a Associação, são:

- melhoramento genético;
- controle de doenças;
- cruzamento entre raças;
- prevenção de acidentes com animais;
- aumento do número de descendentes dos animais;
- uso de touros após sua morte;

- controle zootécnico do rebanho.

Nos últimos anos, o procedimento natural de reprodução animal tem sido substituído pelo procedimento de inseminação artificial pelas vantagens apresentadas acima (OLIVEIRA, 2000).

Na inseminação artificial, a monta² é substituída pela colocação do sêmen no aparelho reprodutivo da vaca Figura 3a.

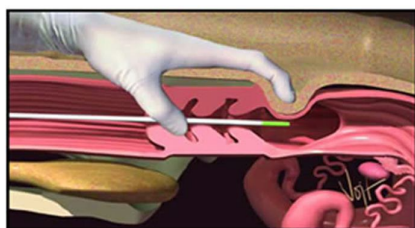


Figura 3 - (a) - Aparelho Reprodutor Bovino



Figura 3 – (b) Aplicador

Neste tipo de procedimento, utiliza-se um aplicador (Figura 3b) que é introduzido na vulva da fêmea, atravessa a vagina e a cérvix e permite a deposição do sêmen na entrada do útero. Em todos os casos, não existe informação visual para o usuário que está executando o procedimento de inseminação, sendo sua habilidade fundamental para o sucesso do procedimento. Em métodos desta natureza, sabe-se que o treinamento é efetuado no próprio animal. Apesar de o procedimento parecer simples, o trabalho apresentado por (PEGORARO, SAALFELD e MARA HELENA, 2008) demonstra algumas desvantagens da Inseminação Artificial:

- exige pessoal habilitado e equipamentos especiais;
- aumenta a disseminação de fatores genéticos indesejáveis, quando as qualidades de um reprodutor não são bem conhecidas;
- pode provocar lesões e infecções no aparelho genital da fêmea, bem como facilitar a propagação de certas doenças no rebanho, quando há negligência no uso do método.

O procedimento de inseminação artificial em bovinos exige preparo e destreza do profissional. Na maioria das vezes, o treinamento da fecundação é feito por meio de contato direto com próprio animal. Nos períodos de treinamento prático, muitas vezes, não é possível a uma grande quantidade de pessoas terem contato com o animal, por fatores como: custos, riscos à saúde do animal e do usuário, espaço físico inadequado, cio e manejo do animal. Tais

² Cobertura de animais de reprodução. (Dicionário Escolar Língua Portuguesa, 2008)

fatores acabam tornando o processo de aprendizado extremamente teórico, culminando no despreparo dos mesmos.

Após inteirar-se do domínio da aplicação, em especial, o último tópico das desvantagens apresentadas por (PEGORARO, SAALFELD e MARA HELENA, 2008), optou-se por desenvolver um plano metodológico para a criação de um ambiente virtual de treinamento de inseminação artificial em bovinos. Assim, para atingir o objetivo proposto, os seguintes objetivos específicos são ratificados:

- identificar as necessidades dos diferentes tipos de usuários do sistema (alunos, zootecnistas, veterinários);
- pesquisar ambientes de Realidade Virtuais iguais ou próximos do sistema proposto, bem como suas funcionalidades;
- desenvolver um modelo de Realidade Virtual que suporte (acomode) o real formato do objeto (anatomia reprodutiva bovina);
- associar o modelo a um sistema de força e *feedback* para que o usuário possa interagir com o objeto;
- realizar testes e validações do sistema proposto com diferentes usuários finais;

O treinamento do procedimento real é baseado em aspectos visuais e táteis que podem ser simulados em um ambiente de Realidade Virtual. Neste sentido, o uso das ferramentas baseadas em Realidade Virtual com exploração, imersão e informações táteis combinadas permitiriam um melhor treinamento e, conseqüentemente, uma melhora na condição dos animais.

2.7 Conclusão

Neste capítulo, foram descritos os principais conceitos relacionados ao estado da arte da Realidade Virtual, bem como descrição a respeito dos dispositivos hápticos.

Além disto, os conceitos básicos relacionados ao processo de inseminação artificial foram apresentados.

Finalmente, foram discutidos conhecimentos específicos que foram adquiridos e que permitirão nortear a escolha de métodos adequados e necessários ao desenvolvimento do sistema de forma a permitir dimensionar os custos computacionais ao desempenho almejado para o sistema.

3 Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

Existem diversas linhas de estudos direcionados a simuladores, porém em sua grande maioria estão relacionados à área médica, planejamento e simulação de cirurgias, endoscopia virtual, reabilitação, simulação de voos, área militar, simuladores agrícolas e apenas um trabalho foi encontrado relacionado à área de veterinária. Dentre os trabalhos encontrados, destacam-se:

3.2 A Realidade Virtual no Transplante de Medula Óssea

Este sistema, utilizado na área médica, tem como objetivo simular o treinamento de procedimentos invasivos em oncologia pediátrica, em especial coleta e transplante de medula óssea, permitindo ao usuário treinar todas as etapas envolvidas de forma realista, oferecendo estímulos sensoriais semelhantes ao procedimento real. (CORRÊA, 2008) explica que na educação médica, sistemas de RV são utilizados para gerar visualizações em três dimensões e, com isso, permitir o ensino de anatomia, com a exploração de órgãos, e até mesmo simular cirurgias que na prática são treinadas em cobaias. Segundo (MACHADO, 2003), é sabido que este tipo de treinamento é, tradicionalmente, executado por médicos novatos em cobaias e que normalmente não reproduz fielmente a anatomia ou as características dos tecidos humanos. Sendo assim, o sistema de treinamento baseado em Realidade Virtual com a utilização de dispositivos hápticos foi desenvolvido de forma a oferecer uma nova perspectiva com explorações do ambiente virtual e informações táteis tornando o procedimento mais próximo da realidade. O sistema simula o procedimento de extração de medula óssea em um modelo de corpo humano virtual por intermédio do dispositivo háptico Figura 4 representada pela agulha.



Figura 4 - Pesquisador testando simulador de extração de medula óssea [(MACHADO, 2003)]

De acordo com (MACHADO, 2003), na definição dos componentes do simulador de coleta de medula óssea, o ponto principal que demandou maior atenção foi o fato de o procedimento real ser realizado sem nenhum tipo de informação visual do interior do corpo do paciente, dependendo apenas do toque do médico. Nesse sentido, considera-se que esse procedimento aproxima-se muito do procedimento de inseminação artificial, o qual também é realizado sem nenhuma informação visual do aparelho reprodutor bovino, dependendo apenas do toque do veterinário. Entretanto, para o desenvolvimento do sistema proposto, será necessário à implementação de novas técnicas de detecção de colisões, uma vez que, o objeto proposto para o desenvolvimento deste trabalho (útero) tem propriedades (densidade, textura, rugosidade, flexibilidade) diferentes dos órgãos relacionados ao trabalho apresentado por (MACHADO, 2003).

3.3 Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia

Atualmente, muitos trabalhos têm sido publicados na área médica, porém segundo (SANTOS, 2010), nota-se uma dificuldade em encontrar trabalhos relacionados à simulação de exames ginecológicos. Neste sentido, os autores optaram por desenvolver um sistema baseado em Realidade Virtual denominado SISTEG (Sistema Interativo para Treinamento e Ensino Ginecológico), que tem por finalidade providenciar um ambiente tridimensional e interativo para estudo e treinamento na realização do exame ginecológico, com a possibilidade de monitoramento e avaliação da interação do usuário.

Alguns fatores particulares que dificultam o treinamento em universidades foram fundamentais para o desenvolvimento do sistema, dentre eles destacam-se:

- Constrangimento do paciente;
- Estudos feitos por fotografias de patologias diversas, o que dificultam os procedimentos médicos por ausência de impressões tácticas;
- Falta de oportunidade de contato com todas as patologias existentes, levando a um treinamento inadequado;

Segundo (SANTOS, 2010), este sistema baseado em RV voltado à simulação da realização do exame ginecológico, deve ser capaz de simular o procedimento do exame em suas diversas fases e avaliar o desempenho realizado pelo usuário, atendendo assim a requisitos importantes como:

- eliminação da falta de oportunidade de contato com patologias raras;
- possibilidade de inúmeros treinamentos;
- possibilidade de treinamentos por equipes;

- ausência de riscos a saúde do paciente;
- ausência de riscos a saúde do aluno;
- problemas éticos relacionados a estudos com cobaias;
- reavaliação do treinamento;

Dentro desta perspectiva, o exame praticado no simulador é realizado em duas etapas: a visual, que consiste na observação de características da vagina e do colo do útero, e a tátil, que consiste no toque do canal vaginal para avaliar as características do tecido (CORRÊA, 2008). Em seu trabalho, (CORRÊA, 2008) explica que, para a execução, foram criados dois módulos:

- estudo: no qual o usuário escolhe um caso de patologia para apresentação de informações visuais e táteis relacionados à escolha feita;
- diagnóstico: que permite o treinamento da capacidade do usuário de diagnóstico, sendo a escolha aleatória pelo sistema.

3.4 The Haptic Cow

Preocupações sobre o uso de cadáveres em treinamentos e formações da área veterinária têm sido consideradas pelo público e pelos meios de comunicação. Atualmente, há um movimento em direção aos três “R”: para o uso de animais em todos os contextos da formação veterinária (BAILLIE, KINNISON e FORREST, 2009) *Reduce*: Reduzir; *Replace*: Substituir; *Refine*: Refinar. Estas pressões, juntamente com a escassez de recursos, corroboraram para a exploração de alternativas e para o desenvolvimento de novos métodos e tecnologias para apoiar e complementar o ensino de anatomia tradicional.

Primeiramente, os alunos aprendem anatomia por meio de palestras e aulas, sendo estas posteriormente complementada por um processo de estudo anatômico em cadáveres de animais. Segundo (BAILLIE, KINNISON e FORREST, 2009), os estudos anatômicos são comumente feitos em cadáveres de ovinos ao invés de bovinos por razões de: custos, disponibilidade de amostras, restrições de controle de doenças associadas a tecidos bovinos.

Também não é sustentável ou aceitável por motivos de bem-estar, permitir que um grande número de estudantes nos cursos pré-clínicos realizem palpação retal em animais vivos.

Neste sentido, foi desenvolvido um simulador de treinamento, baseado em Realidade Virtual, destinado ao ensino de anatomia abdominal bovino e ao estudo de palpação retal, com intuito de auxiliar no conhecimento de cada estrutura, bem como na sensação e posição de cada órgão (BAILLIE, KINNISON e FORREST, 2009).

O simulador consiste em um dispositivo de força e *feedback* tátil (*Phantom Premium*, *Sensable Technologies*) posicionado dentro de um modelo físico de uma vaca feito de fibra de vidro (Figura 5). Neste, o usuário tem a ponta do dedo preso por um anel ao dispositivo háptico, permitindo-lhe a sensação de toque do objeto tridimensional. Esta sensação de toque conhecida como exame de palpação retal é uma habilidade prática necessária e essencial dos veterinários para identificação de problemas no sistema gastrointestinal, manipulação de exames, diagnóstico de gravidez, dentre outros.

O sistema proposto para o SISTIA (Sistema de Treinamento de Inseminação Artificial) difere-se do sistema apresentado acima por:

- Tratar-se de uma técnica feita internamente ao órgão manipulado, o que remete a uma maior dificuldade, uma vez que, o campo de visão do objeto virtual fica comprometido e necessita de um algoritmo preciso de detecção de colisão de objetos.
- Utiliza dois objetos virtuais (útero + aplicador) ao invés de um único objeto.
- Utiliza métodos de deformação híbridos de objeto;

Outro requisito importante de se destacar é que diferentemente do Haptic Cow que utiliza o *Phantom Premium*, *Sensable Technologies* como dispositivo de força e *feedback* tátil, o SISTIA utiliza o *Phantom Omini*, *Sensable Technologies*. Isto se deve ao fato do sistema de simulação e treinamento de inseminação artificial não necessita de maior fidelidade às forças mais fortes e baixa fricção, uma vez que, o sistema é calibrado para atuar com forças médias e nenhuma fricção dinâmica.

Apesar das diferenças entre os sistemas, futuramente a proposta deste trabalho pode ser integrada ao *Hapt Cow* e vice versa, sendo que o procedimento de inseminação artificial real necessita da ajuda da mão esquerda para a manipulação do aparelho reprodutor, facilitando o procedimento de inseminação.



Figura 5 - Dispositivo Háptico no Modelo de Fibra de Vidro [(BAILLIE, KINNISON e FORREST, 2009)]

3.5 Conclusão

Neste capítulo, foi possível conhecer os trabalhos desenvolvidos nas áreas correlatas e identificar as técnicas adotadas nos sistemas baseados em Realidade Virtual.

Foram apresentados três trabalhos disponíveis na literatura, permitindo um estudo sobre cada um deles, verificando suas vantagens e desvantagens.

Dentre os trabalhos apresentados *The Hapt Cow*, por ser um sistema baseado em realidade virtual e em especial, por ser da área de veterinária, foi o que apresentou maior proximidade com a proposta de desenvolvimento do sistema de treinamento para inseminação artificial. Apesar das semelhanças e das técnicas relacionadas a dispositivos hápticos serem muito próximas, o sistema *Hapt Cow* não acomoda o real formato da anatomia interna ao útero e o modelo háptico associado é diferente do modelo háptico proposto para este trabalho. Outro fator que deve ser levado em consideração são os parâmetros de colisão e deformação do objeto, uma vez que no *Hapt Cow* não há deformação da malha e a colisão é feita na parte externa do útero e no sistema de treinamento de inseminação artificial existe a deformação da malha e a colisão é feita no interior do objeto virtual.

Neste sentido o próximo capítulo descreve as tecnologias utilizadas, incluindo características e especificações importantes utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

4 Análise e Especificação do Sistema

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta os requisitos e a arquitetura do sistema de Realidade Virtual, apoiado por dispositivos hápticos, que simula o aparelho reprodutor de bovinos e permite ao inseminador o treinamento da inseminação artificial. Foram desenvolvidos módulos de interação dos dispositivos hápticos, com seis graus de liberdade, com os ambientes virtuais que são apresentados ao inseminador com uso de monitores, configurando, assim, uma solução de RV semi-imersiva.

4.2 Especificações do Sistema

Uma vez que o sistema deverá simular um procedimento de inseminação artificial, o mesmo necessita de requisitos inerentes a este tipo de procedimento. Neste sentido, identificou-se requisitos e restrições de modo a tornar o ambiente virtual mais próximo do ambiente real.

Segundo (NETTO, MACHADO e OLIVEIRA, 2002, p. 12) um sistema de Realidade Virtual precisa ter suas condições claras e bem definidas. Para ser considerado um Sistema de RV é importante que os seguintes critérios sejam providenciados:

- a) **Interface de alta qualidade:** a RV é utilizada como a interface de mais alto nível entre o ser humano e a máquina, pois permite que ambos interajam de uma maneira intuitiva para a pessoa, por imitar o que acontece na interação desta com o mundo real.
- b) **Alta interatividade:** O ambiente deve reagir de maneira adequada às ações do usuário e permitir o maior número possível de ações.
- c) **Imersão:** o conceito de imersão aqui não está inteiramente ligado à RV imersiva. O que se quer dizer com imersão é que um sistema de RV deve permitir que o usuário sinta-se “dentro” do ambiente virtual, seja com o seu corpo físico ou com uma representação qualquer (avatar, vídeo, simulação de cabine, etc.). É importante que, de alguma forma, o usuário seja “envolvido” pelo ambiente.
- d) **Uso da Intuição/Envolvimento:** o sistema deve explorar a intuição do usuário “envolvido” pelo ambiente e, assim, proporcionar novas formas de interação. Por exemplo, o projetista de um sistema de simulação de veículo que inclua um volante, marcha e pedais tem muito mais liberdade de projetar ações do que projetista de um sistema equivalente em que o usuário tem que ficar em pé e utilizar um *joystick*. No primeiro caso, o projetista sabe que o usuário já está habituado a certas ações, por sua experiência no mundo real.
- e) **Analogia/Ampliação do Mundo Real:** O fato de criar envolvimento e utilizar a intuição faz com que o sistema de RV atue como uma transferência do mundo real, capturando tudo de proveitoso que pode vir do fato de o usuário já ter uma “noção” do que deve fazer e como fazer, mas acrescentando aspectos que não existem no mundo real.

O desenvolvimento de um simulador baseado em Realidade Virtual para o treinamento de inseminação artificial requer o uso de um dispositivo háptico que permita ao usuário sentir as forças de resistência, bem como a deformação da malha. Segundo (MACHADO, 2003), estes tipos de sistemas que levam em conta imagens realistas, deformação de objetos e interação háptica, geralmente requerem o uso de máquinas com processamento paralelo e alto desempenho gráfico. Por essa razão, optou-se por conduzir a pesquisa com foco apenas no aparelho reprodutor bovino, descrito nos requisitos do sistema a seguir.

4.3 Diagrama de Caso de Uso

Do ponto de vista do usuário, é possível acesso às funcionalidades do sistema por meio dos Casos de Uso do treinamento, apresentados na Figura 6.

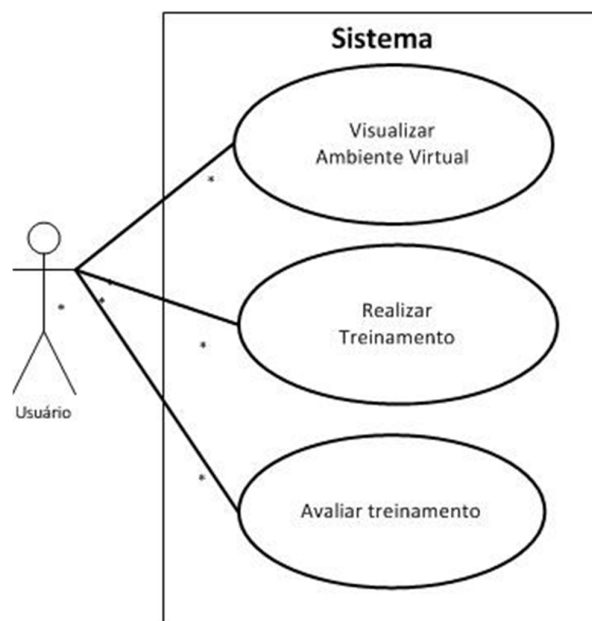


Figura 6 - Diagrama Caso de Uso do Sistema

a) Caso de Uso 1 – Acessar Fase de Apresentação

A primeira funcionalidade do programa consiste em uma apresentação geral do sistema, bem como suas ferramentas e as estruturas hápticas que serão manuseadas durante a utilização do sistema.

Este Caso de Uso foi projetado para atender aos seguintes requisitos:

Nome do Caso de Uso	Acessar Fase de Apresentação
Caso de Uso Geral	
Ator Principal	Operador/ Trainee / Inseminador / Aluno
Atores Secundários	-
Resumo	Reconhecimento do dispositivo háptico: o usuário passa por uma série de testes que têm como objetivo auxiliá-lo a obter conhecimento sobre o manuseio do <i>Phantom</i>. Reconhecer formas geométricas específicas: em primeiro instante, somente com o sentido do dispositivo háptico, sem o ambiente virtual; em segundo instante, com auxílio do ambiente virtual.
Pré-Condição	-
Pós-Condição	
Ações do Ator	Ações do Sistema
	1- Selecionar opção no menu 2- Manipulação formas geométricas
Restrições / Validações	Não há

b) Caso de Uso 2– Fazer Treinamento

A segunda funcionalidade simula uma situação real de inseminação artificial. Nesta fase o objeto virtual (útero) é estático, ou seja, não tem elasticidade como propriedade física e não sofre deformação da malha. Este Caso de Uso foi projetado para atender aos seguintes requisitos:

Nome do Caso de Uso	Fazer Treinamento
Caso de Uso Geral	
Ator Principal	Operador/ Trainee / Inseminador / Aluno
Atores Secundários	-
Resumo	1- Reconhecimento e aprendizado de manuseio do equipamento e do

	ambiente virtual: este primeiro momento permite ao usuário conhecer o funcionamento do equipamento e familiarizar-se com ele. Uma das grandes vantagens desta funcionalidade é a possibilidade de exploração dos objetos no ambiente virtual. No caso do simulador, a área de interesse (útero) foi fielmente modelada (conforme verificado por veterinários), de modo a permitir a visualização do modelo com movimentos de rotação e translação. 2- Localizar e introduzir o aplicador em formato de uma pequena esfera na entrada do canal e, posteriormente, passar pela cérvix. Este tipo de ação foi sugerida por profissionais da área, a fim de providenciar uma melhor adaptação do usuário à ferramenta. À medida que o usuário encosta o aplicador virtual no objeto tridimensional, emite-se um sinal sonoro facilitando o manuseio do equipamento háptico.
Pré-Condição	-
Pós-Condição	
Ações do Ator	Ações do Sistema
Restrições / Validações	Não há

c) Caso de Uso 3– Processar Avaliação

A terceira funcionalidade consiste em um sistema de avaliação por parte do aplicador do exame. Nesse contexto, o usuário será submetido a uma avaliação geral e poderá ter um estudo mais detalhado de todos os procedimentos feitos. Nesta fase, o objeto virtual (útero) é dinâmico, ou seja, tem elasticidade como propriedade física e sofre deformação da malha. Este Caso de Uso foi projetado para atender aos seguintes requisitos:

Nome do Caso de Uso	Processar Avaliação
Caso de Uso Geral	
Ator Principal	Instrutor
Atores Secundários	-
Resumo	1- Treinamento de passagem e inseminação – o treinamento será efetuado em um ambiente virtual completo no qual o usuário terá domínio das técnicas de inseminação artificial com o depósito de sêmen na cavidade uterina.
Pré-Condição	-Fazer Treinamento;
Pós-Condição	
Ações do Ator	Ações do Sistema
Restrições / Validações	Não há

4.4 Arquitetura do Sistema

Os principais módulos inerentes à arquitetura do sistema são: módulo de gerenciamento dispositivos de entrada, módulo de processamento tátil, módulo de simulação e módulo de processamento gráfico (Figura 7).

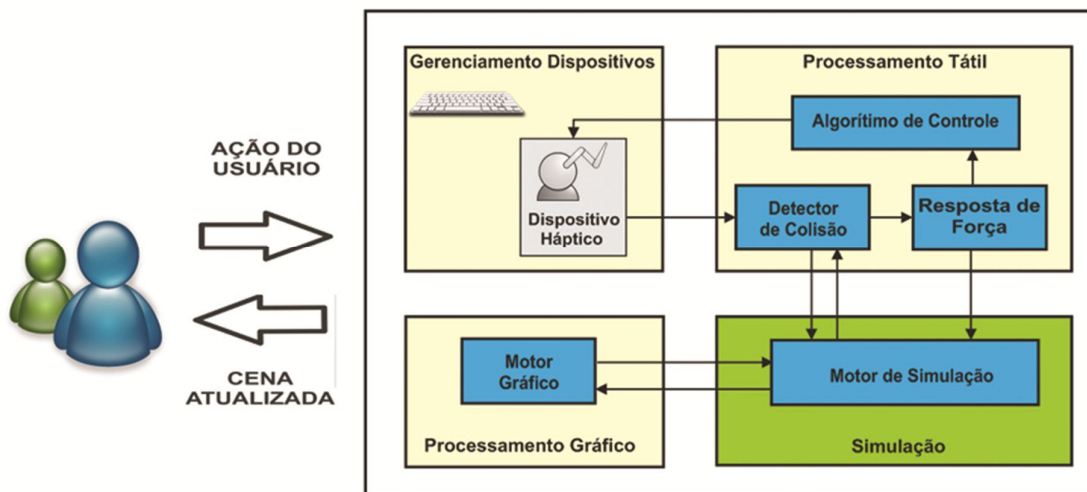


Figura 7 – Arquitetura do Sistema

O módulo de **gerenciamento de dispositivos de entrada** é responsável por enviar ao módulo de **processamento tátil**, as intenções de movimento do usuário captado pelos dispositivos de entrada (teclado, dispositivo háptico), que por sua vez, irá processar os movimentos. Ao processar os movimentos, o **módulo de processamento tátil** acessa o método detector de colisões e o núcleo de objetos virtuais hápticos, calcula a resposta de força necessária e envia ao algoritmo de controle. O **algoritmo de controle** envia ao gerenciamento de dispositivos, os seguintes parâmetros: a posição, situação de colisão e o objeto de colisão.

Os procedimentos hápticos (força, matriz de colisão, objeto de colisão) são enviados ao módulo simulação. O **módulo de simulação** é responsável por unir a parte gráfica do dispositivo háptico (Ponto de referencia do *Háptics*) à parte gráfica do ambiente virtual (Virtual Environment) (Figura 8) e por repassar ao **módulo de processamento háptico** às informações (objeto, posição, situação) do objeto virtual.



Figura 8 – Interface Gráfica Sistema

A estrutura de visualização, interna ao módulo de processamento gráfico é responsável pela *renderização* dos objetos no ambiente virtual, bem como toda estrutura de iluminação, transparência, coloração, texturização aplicada às cenas.

Para o desenvolvimento desse sistema optou-se por enfatizar os sistemas táteis, por serem mais complexos, difíceis de serem implementados e por remeterem a uma significativa proximidade do mundo real em relação ao processo de inseminação artificial, que é feito sem nenhum acompanhamento visual por parte do usuário. É importante destacar que este tipo de aproximação é, segundo entrevista com profissionais da área, fundamental para se atingir o nível de treinamento desejado.

Segundo (PINHO e KIRNER, 1997) a modelagem de ambientes virtuais é de fundamental importância em um sistema de Realidade Virtual, definindo as características dos objetos como: forma, aparência, comportamento, restrições e mapeamento de dispositivos de E/S. Neste sentido, o módulo GUI – Interface Gráfica do Usuário possibilita a comunicação do usuário com todos os outros módulos desenvolvidos. Optou-se, em um primeiro instante, por construir um ambiente virtual simples, permitindo fácil interação do usuário (Figura 9). O ambiente virtual foi desenvolvido conforme as especificações de um especialista na área de reprodução animal. Para facilitar a visão do usuário e consequentemente o treinamento ao lado esquerdo do ambiente virtual (Figura 9 – 1) está localizada a área de atuação virtual juntamente com a área de atuação háptica. Esta área tem como objetivo permitir a navegação e a interação do usuário com os objetos virtuais. Ao centro do ambiente virtual (Figura 9 – 2) está localizado o painel de objetos virtuais. Este painel tem como objetivo a importação de diferentes objetos virtuais permitindo assim que o usuário possa ter um treinamento mais

próximo do mundo real. Ao lado direito do ambiente virtual, encontra-se o painel de controle, no qual permite ao usuário controlar e navegar pelo ambiente virtual.

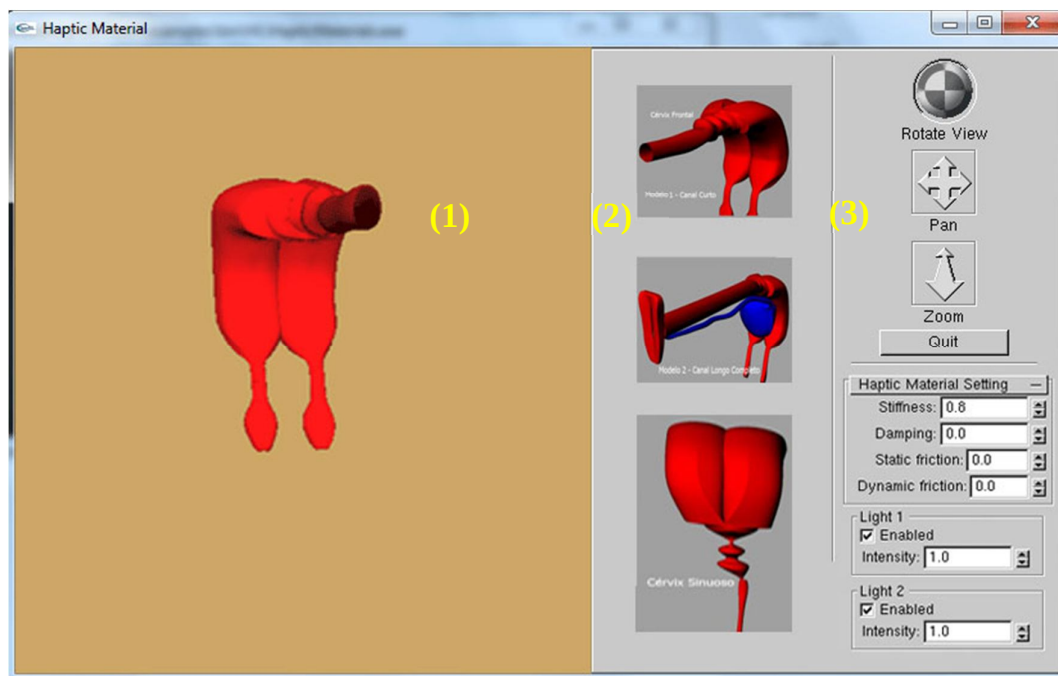


Figura 9 – Interface Gráfica Sistema

4.5 Conclusão

Neste capítulo foram discutidos de forma mais detalhada os principais módulos inerentes ao sistema de treinamento de inseminação bovino, bem como as tecnologias utilizadas para construção do mesmo. Foram apresentados os requisitos do sistema e a arquitetura proposta de forma a nortear e esclarecer os detalhes mais importantes para a construção do mesmo.

Foram esclarecidos as estrutura de visualização, interna ao módulo de processamento gráfico, bem como as estruturas de visualização háptica, interna ao módulo de processamento tátil.

E por fim foi apresentado um modelo de comunicação da interface gráfica com o usuário proposto por um especialista da área de reprodução animal, de forma a facilitar a navegação e o treinamento do usuário do sistema.

No próximo capítulo serão apresentados os detalhes de implementação do sistema com base na análise dos requisitos proposto neste capítulo.

5 Detalhes da Implementação

5.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os detalhes de implementação do sistema criado a partir da arquitetura demonstrado no capítulo anterior. É feita uma descrição do sistema em sequência de execução desde a geração do modelo tridimensional utilizado até o desenvolvimento final do simulador de inseminação artificial, ressaltando os sistemas visuais e táteis. O trabalho inclui o estudo, a implementação e a avaliação de métodos para colisão e deformação de objetos representados com malhas poligonais.

5.2 Funcionamento do Sistema

5.2.1 Observação do Ambiente Virtual

Com a observação do Ambiente Virtual, permitiu-se ao usuário o conhecimento do aparelho reprodutor bovino, incluindo a bexiga e o canal urinário (Figura 10). O objetivo principal deste módulo é permitir ao usuário a navegação, observação, exploração e interação com o objeto de estudo, uma vez que, os aparelhos reprodutores são diferentes para cada animal. Neste sentido, é necessário que o usuário tenha conhecimento dos diferentes formatos, para que o mesmo tenha êxito no treinamento do procedimento, seja no mundo real ou virtual. Nesta fase, o usuário pode mover os objetos pelo ambiente virtual com os movimentos de translação e rotação. De tal maneira, a principal distinção entre os modelos relacionam-se com a cervix de cada animal. Neste sentido, modelou-se 8 (oito) objetos virtuais diferentes de cada aparelho reprodutor.

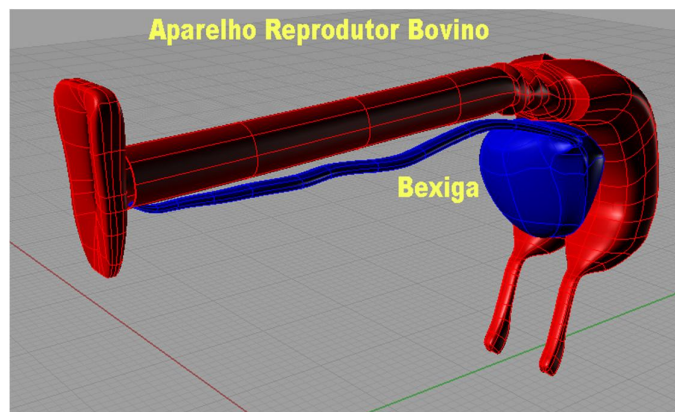


Figura 10 – Modelo 3D Aparelho Reprodutor Bovino

5.2.2 Módulo de Treinamento

Este módulo permite a simulação e o treinamento do procedimento de inseminação artificial em tempo real. Consiste na manipulação do dispositivo háptico com intuito de passar o aplicador pela cervix até chegar ao colo do útero bovino. Para facilitar a interação com o usuário, foram adicionados recursos visuais como: WireFrame, Transparência, Normal, Eixos (Figura 11).

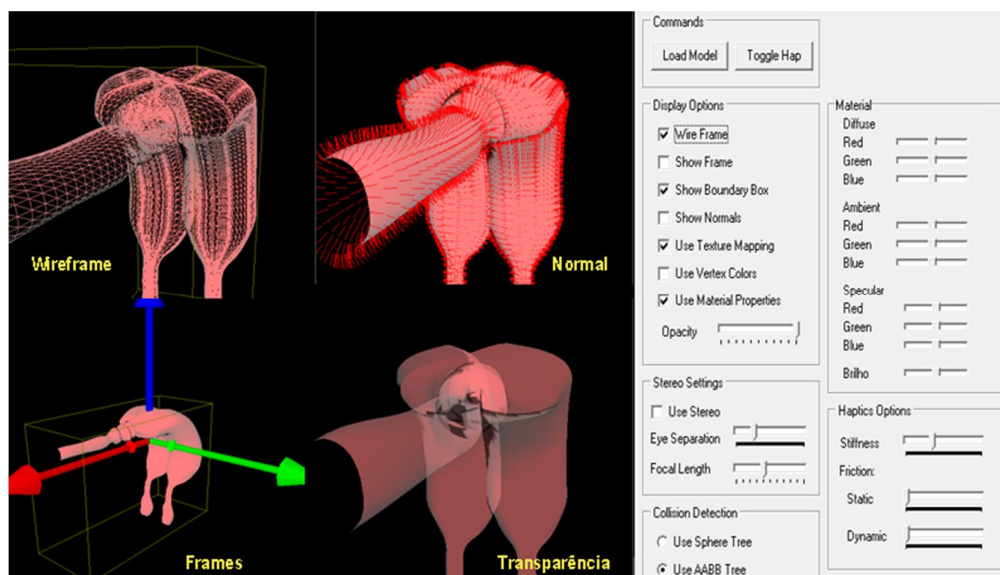


Figura 11 – Conjunto visual do Sistema

5.2.3 Módulo de Avaliação

Integrado ao módulo de treinamento, encontra-se o módulo de Avaliação (Figura 12). Este módulo é responsável por supervisionar os movimentos do usuário e outros parâmetros (tempo, posição de câmera, resistência do equipamento) associados a ele.

Outro fator importante analisado neste módulo é a conclusão das etapas efetuadas pelo usuário e demarcadas pelo operador do sistema. Ao final do procedimento um relatório de avaliação é emitido com as informações relevantes do procedimento de inseminação artificial virtual.

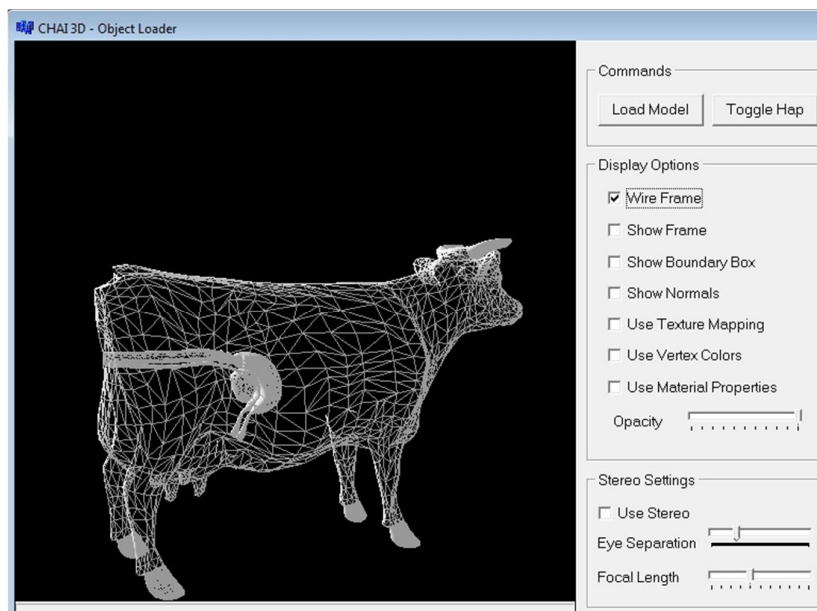


Figura 12 - Módulo de Avaliação

5.3 Definição dos Dispositivos

5.3.1 Hardware

Para a escolha dos dispositivos, considerou-se os seguintes fatores:

1. O sistema será utilizado por veterinários, zootecnistas, especialistas e não especialistas da área de reprodução animal.
2. Outro fator fundamental na escolha do equipamento foi à área física de utilização do equipamento. Por pertencer à pecuária, os equipamentos serão utilizados em áreas rurais (fazendas, chácaras, sítios, escolas agrotécnicas), sendo estes lugares muitas vezes precários de recursos ou até mesmo insalubres.
3. Com intuito de facilitar a mobilidade, o transporte e a portabilidade, optou-se pelo desenvolvimento de um simulador baseado em computador do tipo notebook, com opção de placa gráfica, processador I5 ou superior e comunicação háptica do tipo FireWire³.

Dentre os dispositivos hápticos avaliados, optou-se para este trabalho o *Phantom Omini* da empresa Sensable (Figura 13) por ser leve, compacto, portátil e, em especial, por ter seis graus de liberdade, o que permite fazer movimentos nos três eixos X, Y, Z. Além

³ Porta de comunicação de alto desempenho (400 Mbs) desenvolvido pela Apple para conexão de dispositivos. (ROUSE, 2012)

disso, o dispositivo deve ser adequado, ergonomicamente, à simulação e o seu custo deve ser viável comercialmente, possibilitando o seu uso além dos laboratórios de pesquisas (MACHADO, 2003, p. 21). Outro fator preponderante na escolha feita com auxílio de veterinários especialistas na área de reprodução animal foi o fato da haste do dispositivo assemelhar-se com aplicador e a facilidade de manipulação do dispositivo.

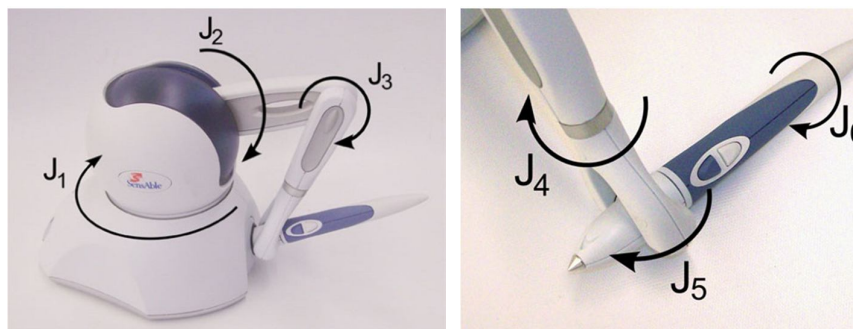


Figura 13 - Dispositivo Háptico Phantom Omini

5.3.2 Software - Ambiente de Programação

Uma vez que o simulador será utilizado por diversas pessoas de diferentes perfis, o fator preponderante na escolha do ambiente foi a facilidade de utilização. Para tanto, dentre os diversos sistemas analisados, o sistema operacional Windows se mostrou o mais propício para a situação, uma vez que sua interface gráfica é de fácil manuseio e satisfaz aos requisitos almejados.

Como linguagem de programação foi adotada a linguagem C++ com apoio da biblioteca gráfica OpenGL por intermédio da implementação de classes (Figura 14), que está adequada a arquitetura do sistema (pag.38), sendo que para o módulo háptico foram utilizadas as bibliotecas do dispositivo Phantom Omini com auxílio de classes da API CHAI3D.

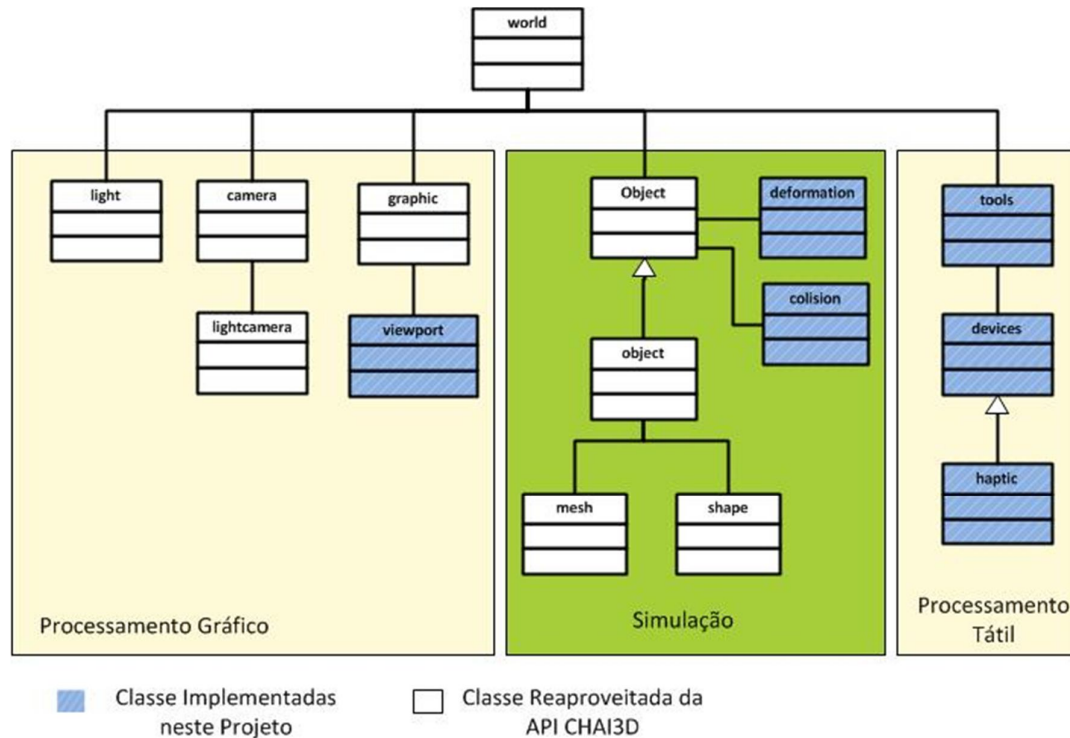


Figura 14 - Diagrama de Classes do Sistema

As classes são responsáveis por permitir instanciar o ambiente virtual (classe world). A classe (light) é responsável pela iluminação. Após todo o procedimento de criação do ambiente virtual, iluminação e câmera com a classe (camera), os objetos tridimensionais podem ser importados através da classe (object) que é responsável por carregar nos formatos OBJ ou 3DS, os objetos tridimensionais para o ambiente virtual. Após a importação os objetos tridimensionais e toda a parte gráfica (luz, câmera, objetos) são instanciados ao ambiente virtual por intermédio da classe (graphics). A classe (tools) é responsável pela criação do ambiente háptico, juntamente com a classe (devices) que verifica qual o dispositivo háptico existente e o instancia no ambiente virtual.

O ambiente desenvolvido apresenta por meio da parte gráfica (classe graphics), sistemas de interação com menus ao lado direito da tela, subdivisão da parte visual gráfica em quatro telas (Topo, Direita, Frente e Perspectiva) e ajustes do ambiente virtual tais como: iluminação, material e háptico.

5.4 Implementação

5.4.1 Geração dos Modelos Tridimensionais

Conforme a descrição feita por um veterinário especialista em inseminação artificial bovina, a área formada pelo aparelho reprodutor desde o canal vaginal até o colo uterino, não apresenta grandes variações de características táteis e visuais. Portanto não necessita de uma visualização foto realista. Entretanto, deve fornecer uma visão adequada à simulação virtual. Desta forma, características como: rugosidade, viscosidade foram desprezadas nos sistemas visuais e implementadas nos sistemas táteis de forma a facilitar a programação do simulador, uma vez que, não interferem de forma significativa no processo de inseminação artificial.

Utilizou-se dois tipos de modelos tridimensionais, sendo um modelo completo externo (Figura 15a) para o módulo de avaliação e diversos outros modelos de aparelhos reprodutores internos (Figura 15b) para os módulos de treinamento.

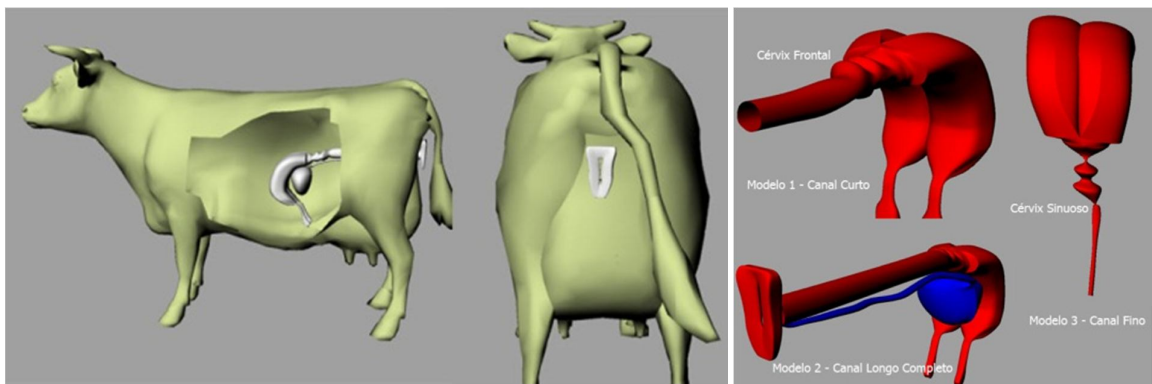


Figura 15 a) Modelo 3D Externo

b) Modelo 3D Interno

Os objetos 3D foram modelados através de técnicas de modelagem geométrica manual (Instanciamento de Primitivas e Modelagem pela geração de Superfícies por meio de modificadores).

- A **Modelagem por Instanciamento de Primitivas** consiste no processo de criação de novos objetos através do posicionamento de objetos por transformações geométricas (mudanças de escala, rotação, translação) ou pelo uso de primitivas parametrizáveis (AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA;, 2003). Este tipo de modelagem foi utilizado na criação do canal vaginal (Figura 16) por meio da primitiva geométrica cilindro. Após a criação, a mesma foi transformada em curvas de forma a permitir a modelagem de superfícies complexas como a cervix bovina.

- A **Modelagem por Deformação de Superfícies** consiste no processo de criação de pontos ligados nas direções x e y de um espaço bidirecional e posteriormente particionadas por *patches* nas seções de quadriláteros curvilíneos. Normalmente, este tipo de modelagem é muito utilizado para modelagem de objetos com formas arredondadas e complexas, como partes do corpo humano ou animal, veículos ou peças (AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA;, 2003). Esta modelagem foi utilizada na criação do aparelho reprodutor bovino útero (Figura 17) através de uma primitiva geométrica cubo transformada em uma malha de forma a permitir a modelagem de superfícies. A junção dos objetos foi efetuada pelo modificador *Blend Surface* (Figura 18) e por uma operação booleana sólida construtiva.

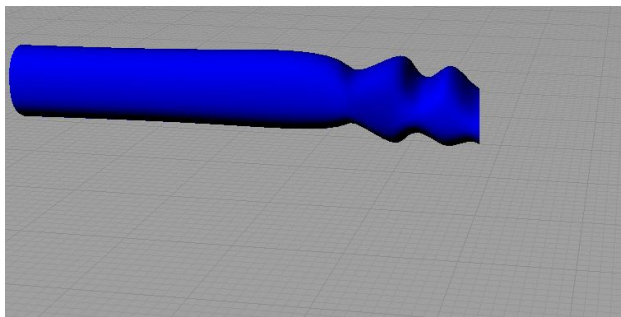


Figura 16 - Modelagem Instanciamento de Primitivas

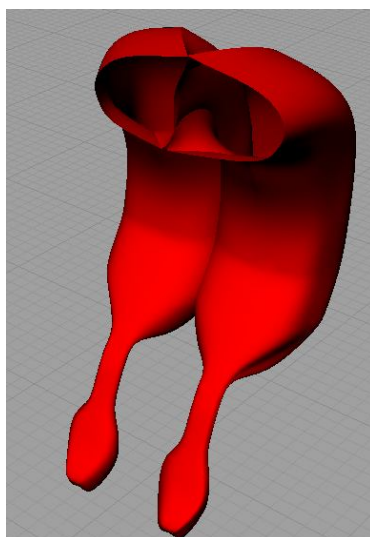


Figura 17- Modelagem por Deformação de Superfícies

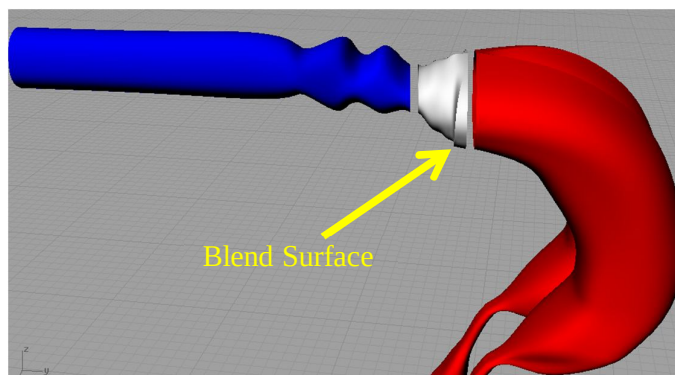


Figura 18 -Blend Surface

No procedimento de modelagem por deformação de superfícies, utilizou-se a superfície do tipo *Spline* e, posteriormente, foi convertida em malha poligonal. Segundo (AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA;, 2003) as superfícies são uma extensão das curvas e podem ser representadas pela expressão:

$$P(s,t) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,j} N_{i,k}(s) N_{j,l}(t)$$

Onde $N_{i,k}(s)$ e $N_{j,l}(t)$ são funções de B-Spline e $B_{i,j}$ são pontos de controle.

Após o processo de modelagem, o objeto foi convertido para malha poligonal triangular (Figura 19), de forma a ser reconhecido pela biblioteca gráfica OpenGL.

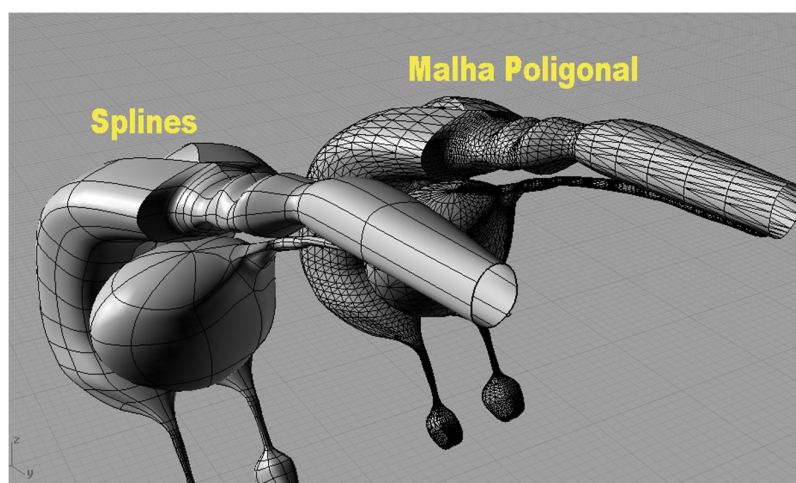


Figura 19 - Conversão Splines para Malha Poligonal Triangular

Convertido para malha poligonal, a redução do número de polígonos foi considerada a maior preocupação, uma vez que, tal redução impacta diretamente nas rotinas de simulação tátil. Apesar da redução de tempo e do ganho nas rotinas, a redução de polígonos causou um problema de instabilidade no dispositivo háptico. No processo de modelagem, existe a

possibilidade da malha ficar aberta ou conter falhas na junção de alguns pontos, quando este tipo de falha acontece segundo (KADLECEK e KMOCH, 2011), o dispositivo háptico pode apresentar instabilidade, ficando em movimentos desordenados, sem responder fielmente as ações do usuário. Além disso, o ponto de interface háptica pode ficar preso ao encontrar uma falha na malha poligonal (Figura 20).

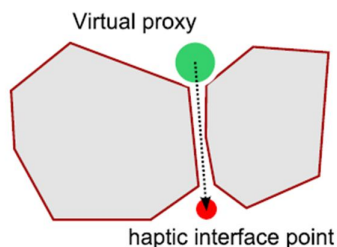


Figura 20 - Falha Modelagem Objeto (KADLECEK e KMOCH, 2011)

Para facilitar o processo de busca e conhecimento de falhas, os modelos tridimensionais foram submetidos à animação de um sistema de partículas de água através da *engine* de animação Unity3D. Depois de criado um sistema de partículas, o mesmo foi inserido dentro do modelo tridimensional. Ao ser inserido no interior do objeto, o sistema de partículas de água colidiu com o interior das paredes do objeto virtual, revelando por vazão as falhas existentes no processo de modelagem dos objetos tridimensionais (Figura 21).

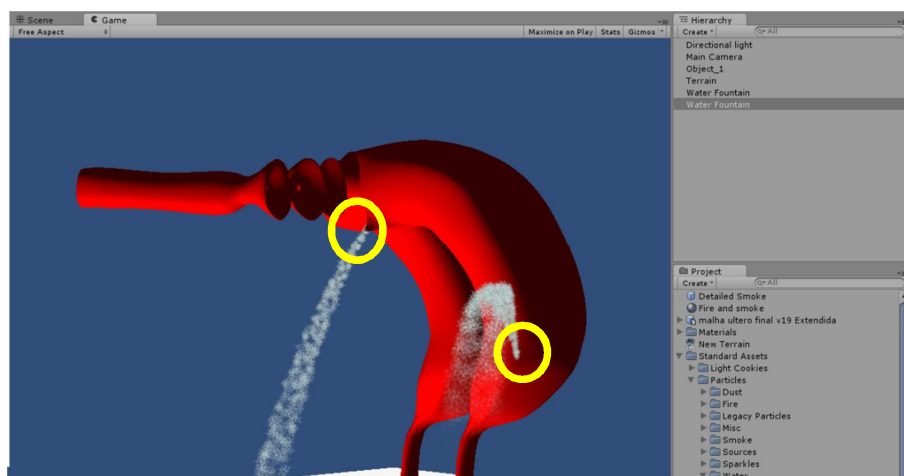


Figura 21 - Procedimento de busca de falhas

Para diminuir o problema causado pela redução de polígonos, foi necessária uma operação de remodelagem do objeto 3D, de modo a fechar as falhas encontradas no modelo.

Outro problema encontrado na simulação decorrente do procedimento de modelagem aconteceu no processo de importação do objeto tridimensional para o ambiente virtual. Ao importar o objeto com o vetor normal da face voltado para fora do objeto tridimensional, a

câmera não conseguiu renderizar o objeto por completo (Figura 22). Normais à superfície são importantes para a geração realística de sombreamentos, cálculo de trajetórias em jogos, detecção de interferências em robótica, detecção de interferências hápticas e para diversos cálculos na modelagem dos objetos (AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA;, 2003).

Essas normais podem ser obtidas substituindo nas expressões as coordenadas de s e t do ponto onde se deseja conhecer a tangente e as matrizes de curvas, uma vez que, as expressões na forma matricial têm tangentes na superfície $P(s,t)$ dadas pelas derivadas parciais.

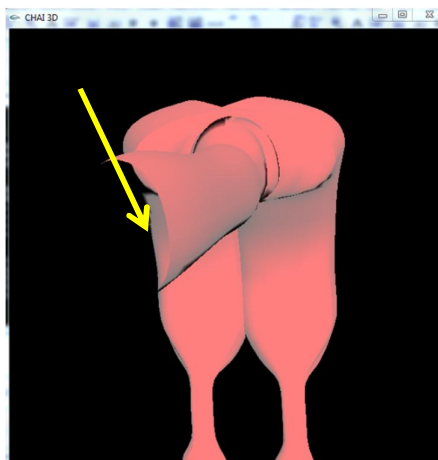


Figura 22 - Problemas de renderização do objeto

Para resolver este problema, uma das possíveis soluções encontradas foi modelar duas malhas paralelas sendo a normal da malha interna (vermelho) voltada para dentro do objeto e a normal da malha externa (azul) voltada para fora do objeto, conforme apresentado na (Figura 23).

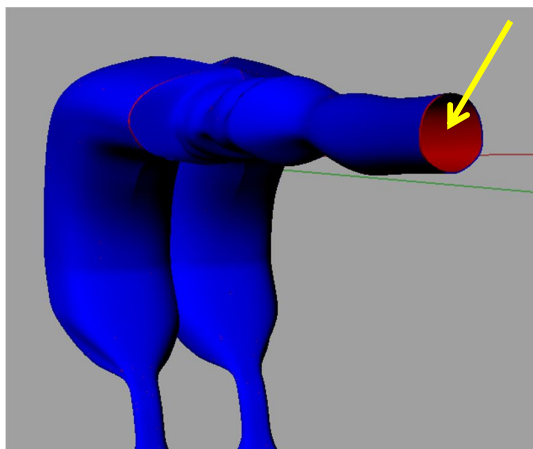


Figura 23 - Imagem normal invertida

Apesar de a solução funcionar no ambiente gráfico, a mesma não funcionou perfeitamente no ambiente háptico. Nos testes de colisão aplicados ao modelo proposto, o dispositivo háptico se mostrou instável, em especial nos modelos com maior grau de complexidade, uma vez que o objeto passou a ter quatro faces ao invés de duas.

Segundo (AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA;, 2003) o uso apropriado de técnicas de projeção e eliminação polígonos ou faces escondidas (*backface culling*) auxilia no objetivo de criar resultados mais rápidos e realistas. Deste modo os algoritmos de renderização gráfica comumente empregam solução para esconder as faces que estão ocultas quando vistas do ponto de vistas perspectivas (Figura 24) obtendo ganho de desempenho e incremento da simulação em Realidade Virtual.

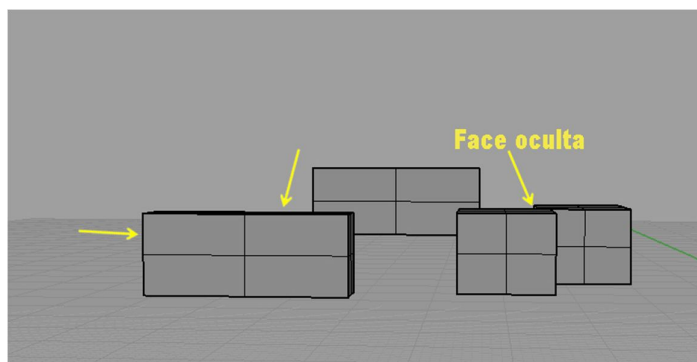


Figura 24 - Face oculta dos objetos

Para a realização dos testes de visibilidade foram considerados dois vetores, sendo o vetor de orientação associado a cada uma das faces do objeto e o vetor da normal de cada uma destas faces. Se o ângulo entre o vetor normal e o vetor da linha de visibilidade da câmera encontrar entre 0° e 90° então a superfície é visível e pode ser traçada, por outro lado, se o ângulo estiver entre 90° e 180° o objeto estará invisível e indisponível. Desta forma, foram encontradas duas possibilidades para o problema de renderização. A primeira proposta foi a projeção de um algoritmo que efetue o cálculo entre o ângulo do vetor normal e o vetor de visibilidade da câmera e a segunda proposta foram de cancelar a renderização de *back-face* do algoritmo de eliminação de faces ocultas pelo cálculo da normal. A segunda proposta foi adotada, uma vez que, a primeira necessita de um cálculo o que poderia prejudicar o desempenho háptico, os testes de colisão e deformação do objeto devido aos custos computacionais.

5.4.2 Rotinas do Dispositivo Háptico

Para o desenvolvimento deste trabalho os detalhes de implementação das rotinas hápticas seguirão o modelo proposto na arquitetura do sistema (Figura 25) e o processo de aplicação (Figura 26) proposto por (WATSON, 1999) e apresentado por (SARAIVA, ALMEIDA, *et al.*, 2010). Os passos propostos serão apresentados a seguir.

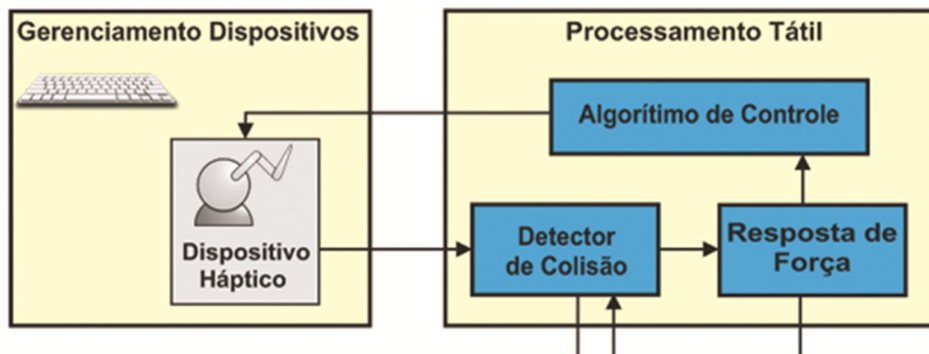


Figura 25 - Rotinas Dispositivo Háptico

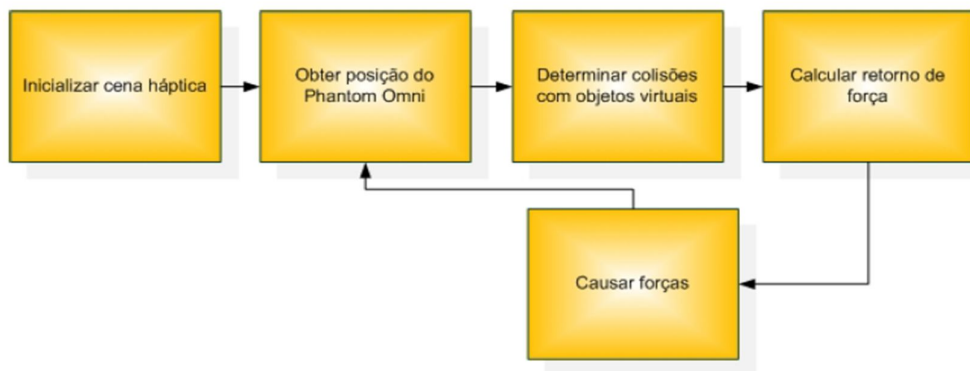


Figura 26 - Processo de aplicação háptica (WATSON, 1999)

5.4.2.1 Inicialização Cena Háptica

A inicialização da cena háptica consiste no método que tem como objetivo principal reconhecer e detectar o dispositivo háptico conforme (Figura 27).

```

1. // create a haptic device handler
2. handler = new cHapticDeviceHandler();

3. // get access to the first available haptic device
4. cGenericHapticDevice* hapticDevice;
  
```

```

5. handler->getDevice(hapticDevice, 0);

6. // retrieve information about the current haptic device
7. cHapticDeviceInfo info;
8. if (hapticDevice)
9. {
    a. info = hapticDevice->getSpecifications();
10. }

```

Figura 27- Algoritmo de reconhecimento do háptics

Nota-se que, um novo objeto háptico de manipulação é criado –(linha 2) para que o mesmo possa ser atribuído ao dispositivo caso o mesmo seja encontrado- (linhas 4 e 5). Uma vez encontrado o dispositivo, faz-se necessário que todas as informações (nome, posição, tipo) do mesmo seja atribuído ao método da classe cHapticDeviceInfo – (linhas 7 a 10) de forma que permita a sincronização entre o dispositivo háptico e o ambiente virtual.

5.4.2.2 Posicionamento do Dispositivo Háptico

Este método consiste em adicionar a interface háptica a simulação por intermédio da classe cGeneric3dofPointer (Figura 28). O objeto cMeta3dofPointer quando criado –(linha3) tenta se conectar através de memória compartilhada a outro processo rodando como servidor de um dispositivo háptico-(linha 6). A API Chai3D prevê a comunicação com o dispositivo háptico (*Phantom*) – (linha 6). Após colocar o objeto nas coordenadas determinadas-(linha 7), o mesmo é instanciado no ambiente virtual – (linha 18). Se nenhum servidor estiver ativo o objeto cMeta3dofPointer lança o executável dhdvirtual.exe, que é um simulador de dispositivo háptico provido pela API.

```

1. tool = new cGeneric3dofPointer(world);
2. //camera->addChild(tool);
3. world->addChild(tool);
4.
5. // connect the haptic device to the tool
6. // tool->setHapticDevice(hapticDevice);
7. tool->setPos(-2.0, 0.0, 0.0);
8.
9. // map the physical workspace of the haptic device to a larger virtual workspace.
10. tool->setWorkspaceRadius(1.3);
11.
12. // Rotate the tool so its axes align with our opengl-like axes
13. tool->setRadius(0.02);

```

```

14. tool->setFrameSize(0.04);
15. }
16.
17. // set up the device
18. tool->initialize();
19.
20. // open communication to the device
21. tool->start();
22.
23. // update initial orientation and position of device
24. tool->updatePose();

```

Figura 28- Adicionando uma interface háptica à simulação

Dentro da API Chai3D é preciso utilizar uma *thread* Figura 29 – (linha 1) que tem como objetivo a comunicação com o servidor háptico. A *thread* lê a posição do dispositivo e informa as forças calculadas – (linha 5). Essa *thread* ao ser lançada chama uma rotina chamada HapticLoop – (linha 8), que fará a comunicação com o servidor através de um loop. A aplicação poderia usar um timer, porém a comunicação precisa ser muito rápida (em torno de 1KHz ou 1000 vezes por segundo) de forma a alimentar o servo controlador. Segundo (RUSPINI, KOLAROV, *et al.*, 1997) está necessidade justifica-se a fim de alcançar a estabilidade e a rejeição de alta perturbação. O fracasso em alcançar essas taxas pode levar a um sistema que é instável, potencialmente causando danos ao dispositivo ou lesão ao usuário. Neste sentido uma *thread* é mais eficiente, pois pode ser configurada com alta prioridade tendo assim sua velocidade garantida (BALANIUK, 2001).

```

1.  DWORD thread_id;
2.      ::CreateThread(0, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE)(HapticLoop), this, 0, &thread_id);
3.
4.      // Boost thread and process priority
5.      ::SetThreadPriority(&thread_id, THREAD_PRIORITY_ABOVE_NORMAL); */
6.      // create a thread which starts the main haptics rendering loop
7.      /* cThread* hapticsThread = new cThread();
8.      hapticsThread->set(HapticLoop, CHAI_THREAD_PRIORITY_HAPTICS);
9.
10.     }
11.     else
12.     {
13.         flagSimulationOn = false;

```

Figura 29 - Thread de Sincronização

5.4.2.3 Sincronização das Rotinas de Visualização e Háptica

Cada objeto do ambiente virtual tem uma componente física e uma componente gráfica. Esta concepção modular permite assim que quando existe uma colisão entre dois objetos, esta é processada como envolvendo dois objetos físicos (não visíveis ao utilizador), sendo calculadas pelo motor físico as respectivas reações de cada um dos objetos em interação. O motor gráfico (Figura 30) terá então a missão de recriar visualmente os comportamentos e reações despoletadas pela colisão entre os objetos físicos (PEREIRA, 2010).

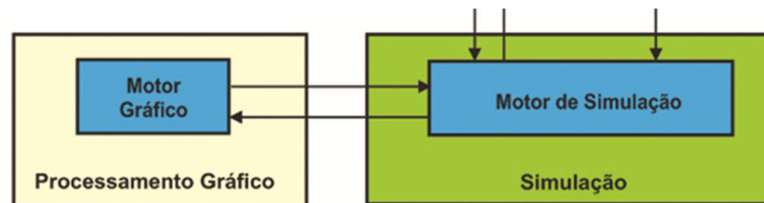


Figura 30- Rotinas Processamento Gráfico

O motor de simulação tem como função principal efetuar a sincronização entre a parte gráfica a parte háptica. A partir desta sincronização é possível visualizar propriedades inerentes ao objeto virtual como: Transparência – (linhas 11 e 12), Cor da Caixa de Colisão (ShowFrameBox) – (linha 7), Indicativo de Posicionamento (FrameBox) – (linha 2), Detector de Colisão (ShowCollisionDetectorBox) – (linha 5), Mapeamento de Textura (UseTextureMappingBox) – (linha 6) e propriedades inerentes ao dispositivo háptico como: Rigidez (stiffness) – (linhas 15 e 16), Atrito Estático (staticFriction) – (linha 19) e Atrito Dinâmico (dynamicFriction) – (linhas 20 e 21) conforme (Figura 31) .

```

1. object->setWireMode(WireFrameBox->Checked, true);
2. object->setShowFrame>ShowFrameBox->Checked, true);
3. object->setShowNormals>ShowNormalsBox->Checked, true);
4. object->setShowBox>ShowBoundaryBoxBox->Checked, true);
5. object->setShowCollisionTree>ShowCollisionDetectorBox->Checked, true);
6. object->setUseTexture(UseTextureMappingBox->Checked, true);
7. object->setUseVertexColors(UseVertexColorsBox->Checked, true);
8. object->setUseMaterial(UseMaterialPropertiesBox->Checked, true);
9.
10. // set transparency
11. float transparency = (float)TransparencyLevelSlider->Position / 10.0f;
12. object->setTransparencyLevel(transparency, true, true);
13.
14. // set stiffness

```

```

15. double stiffness = (double)StiffnessSlider->Position;
16. object->setStiffness(stiffness, true);
17.
18. // set static and dynamic friction
19. double staticFriction = (double)StaticFrictionSlider->Position / 100.0;
20. double dynamicFriction = (double)DynamicFrictionSlider->Position / 100.0;
21. object->setFriction(staticFriction, dynamicFriction, true);

```

Figura 31- Propriedades Gráficas e Físicas Objeto

Outro requisito importante do motor de simulação é a sincronização da taxa de atualização. Segundo (MAULE, 2009) um dos problemas enfrentados na construção de um sistema computacional com deformação é obter alto desempenho para prover um retorno visual e háptico em tempo interativo obtendo taxa de atualização dos dispositivos de tal forma que a animação e o retorno de força sejam suaves e precisos. Neste sentido, o motor de simulação tem como requisito sincronizar a taxa de atualização mínima de 30 quadros por segundo para o processamento gráfico com uma taxa mínima de 1000 quadros por segundo para o processamento háptico.

Simulações físicas de um modo em geral manipulam uma enorme quantidade de pontos e parâmetros, formando um grande conjunto de dados que sofrerão as mesmas operações (MAULE, 2009). Para resolver problemas relacionados à taxa de atualização, uma vez que, os modelos de simulação físicas utilizarão o método de massa-mola, e os mesmos necessitam de aceitáveis taxas para as equações de integração de cada ponto, foram implementadas restrições ao algoritmo de simulação física de modo a manter retorno de força contínuo e suave.

5.4.2.4 Detecção de Colisão e Cálculo de Retorno de Forças

Em um ambiente virtual composto de corpos rígidos em movimento, ocorrerá à interferência da geometria de um dos objetos com as dos outros. Ambientes virtuais de corpos rígidos procuram simular o comportamento dos mesmos de acordo com as leis da física. Assim sendo um corpo rígido não pode simplesmente atravessar a topologia de outro objeto. Isto provoca o efeito da colisão (TAVARES e LEMOS, 2006).

A detecção de colisão é um dos itens mais complexos e dependentes das informações de interação monitoradas em um AV, permitindo responder às interações entre objetos no mundo virtual, fator importante para obtenção do realismo (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011). Neste sentido, detectar a colisão é verificar a aproximação entre objetos de um AV,

sendo que sua percepção exige no mínimo dois objetos podendo ser rígidos ou deformáveis. (ROCHA, 2010) afirma que sistemas de Realidade Virtual com suporte a dispositivos de retorno de força são alguns exemplos de aplicações que necessitam de mecanismos sofisticados de detecção de colisão. Dentre os algoritmos de detecção de colisão, destacam-se o algoritmo de volume limitante, subdivisão hierárquica de espaço, subdivisão hierárquica do objeto. Outro método comumente utilizado por dispositivos hápticos é conhecido como método *proxy*.

A detecção de colisão por volumes limitantes consiste em utilizar primitivas simples para delimitação do espaço de colisão do objeto (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011). A principal ideia desse tipo de abordagem é verificar os pontos mais afastados do objeto e inserir a primitiva nesse espaço. Segundo (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012), entre os algoritmos de volumes estão incluídos o uso de caixas alinhadas aos eixos (Axis Aligned Bounding Box – AABB - Figura 32), caixas orientadas (Oriented Bounding Box – OBB - Figura 33), esferas (Figura 34) e polítopos (Discrete Oriented Polytope – DOP - Figura 35).

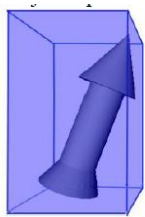


Figura 32 - Caixas Alinhadas
Fonte: (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012)

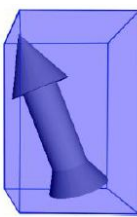


Figura 33 - Caixas Orientadas
Fonte: (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012)

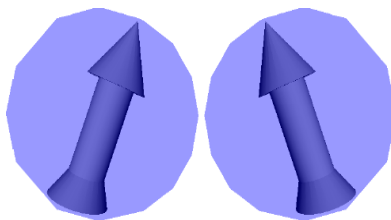
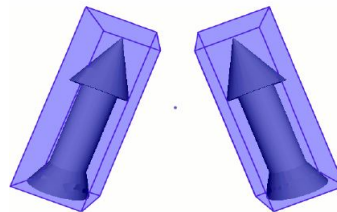


Figura 34 - Caixas Esferas
Fonte: (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012)

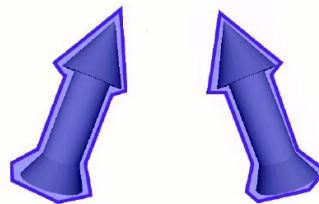


Figura 35 - Modelo Baseado em Polítopo
Fonte: (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012)

Objetos no ambiente são agrupados de acordo com a região em que se encontram. Quando um objeto no ambiente se movimenta e troca de posição, movendo-se para outra região do espaço, apenas os objetos do novo espaço precisam ser verificados se colidem ou não com o objeto em movimento (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011).

Na categoria de subdivisão hierárquica de objeto, o mesmo é subdividido em regiões, sendo que a detecção de colisão é feita quando uma dessas regiões é interceptada por outro objeto. A hierarquia de volumes envolventes é baseada em dois tipos de nós: nós internos e nós folhas. Cada nó, independentemente do tipo, possui um volume envolvente associado. Nós folhas possuem volumes envolventes que englobam somente a geometria (ou seja, a malha de triângulos) enquanto nós internos possuem volumes envolventes que englobam todos os volumes envolventes de seus filhos (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011). Os métodos mais conhecidos de subdivisão do ambiente virtual são *Kd trees*, *BSP trees*, *octrees* (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011).

Para o desenvolvimento do presente sistema de treinamento de inseminação artificial em bovinos, dois algoritmos foram utilizados em conjunto com o método *proxy* para a detecção de colisão dos objetos no ambiente virtual.

O algoritmo de volume limitante e o algoritmo de subdivisão hierárquica de objetos (*octrees*) foram utilizados em primeira instância de forma a detectar a colisão primária entre o aplicador virtual representado por uma esfera e o aparelho reprodutor bovino. Nesta fase foi implementado o método de caixas alinhadas (AABB - Figura 36) no qual, os objetos candidatos à colisão são envolvidos por uma caixa, sendo que a normal de cada face é paralela aos eixos do sistema de coordenadas. Este tipo de algoritmo foi utilizado devido ao baixo consumo de memória e ao processamento rápido.

Uma das desvantagens deste algoritmo segundo (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012) é que durante a detecção de colisão pode ocorrer a intersecção das caixas sem que os objetos tenham se colidido, uma vez que, esse volume envoltório não fica totalmente ajustado. Entretanto, esta desvantagem não acarretou grandes problemas ao sistema devido ao fato do mesmo conter apenas dois objetos (avatar e o objeto de colisão) o que facilitou o reconhecimento da detecção de colisão e a implementação de um algoritmo secundário de subdivisão hierárquica.

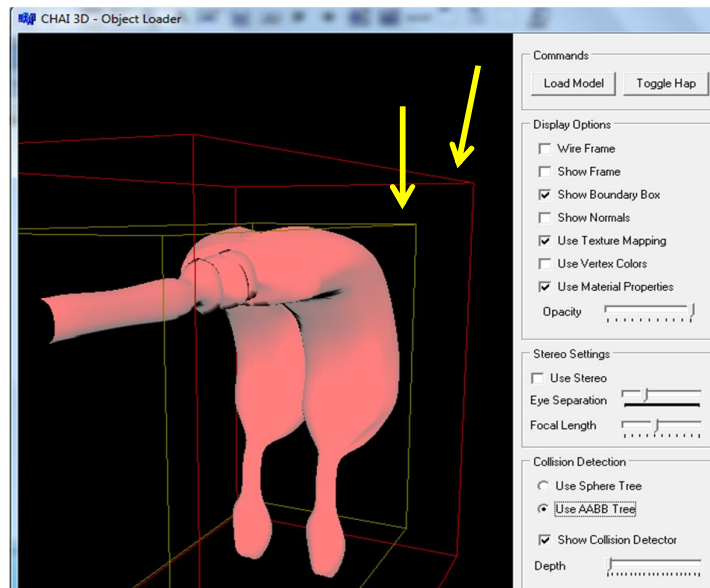


Figura 36- Algoritmo de Volume Limitante - AABB Tree

Após a detecção de colisão primária, um novo algoritmo de subdivisão hierárquica com o método de *octrees* foi adotado. Octrees são estruturas de árvores hierárquicas em que cada nó interno tem até oito filhos e é organizada para que cada nó corresponda a uma região do espaço tridimensional (Figura 37) (ROCHA, 2010) (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011). O esquema de codificação divide regiões de espaços tridimensionais, normalmente cubos, em octantes e armazena elementos em cada nó da árvore. O processo é executado recursivamente até que o octante chegue a um tamanho mínimo (colisão detectada) ou esteja vazio (colisão não detectada) (TORRES e NUNES, 2011).

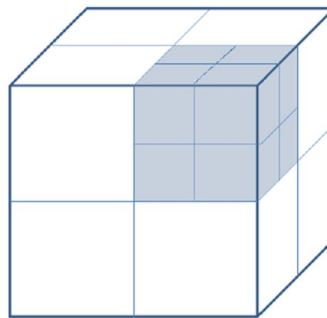


Figura 37 - Subdivisão Hierárquica Octrees (ZOTOVICI e NAKAMURA, 2012)

Após a divisão, os objetos são posicionados em seus respectivos octantes (Figura 38). Se dois objetos estiverem no mesmo octante, uma nova subdivisão é executada até que os testes de colisão sejam finalizados.

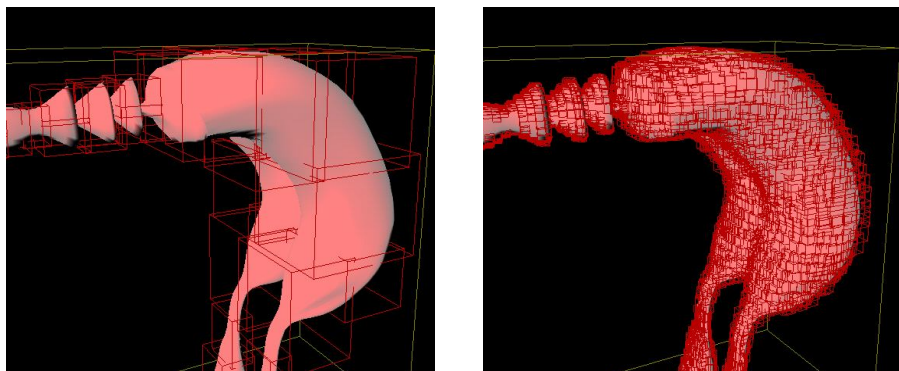


Figura 38- Divisão do Espaço em Octantes

A detecção de colisão primária pelo algoritmo de volume limitante funcionou corretamente em testes executados nos primeiros objetos, porém erros de colisão e instabilidade hápticas foram notados em testes com objetos tridimensionais mais complexos, em especial em aparelhos reprodutores cuja cervix foi modelada com ajustes finos e curvas mais apertadas (Figura 39).

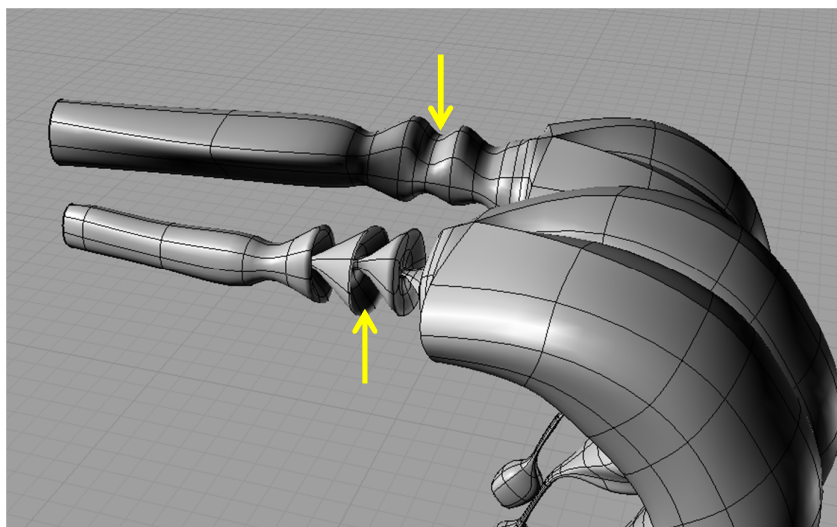


Figura 39 - Diferentes Tipos de Cervix

Para resolver este problema o método *proxy* foi adotado. O método segundo (RUSPINI, KOLAROV, *et al.*, 1997) é baseado em um método chamado “penalty-based”, ou baseado em penalidade. A ideia básica é penalizar uma penetração com uma força de reação do objeto sobre o usuário de forma a “expulsar” o usuário de dentro do objeto (Figura 40) (BALANIUK, 2001).

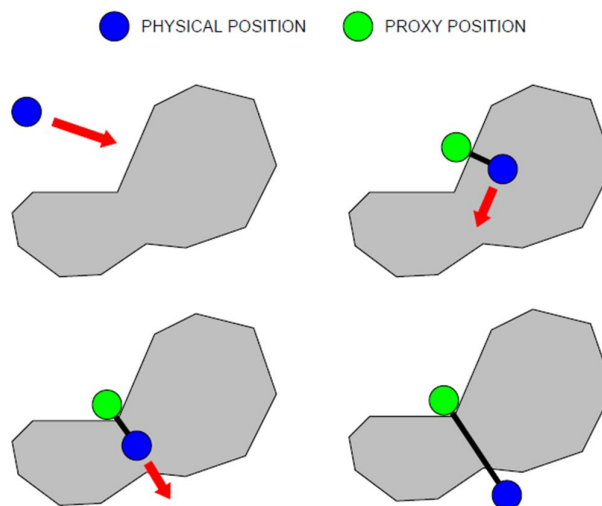


Figura 40- Exemplo Virtual Proxy (RUSPINI, KOLAROV, *et al.*, 1997)

Embora o método *proxy* tenha funcionado com êxito nos testes aplicados, de forma a evitar os problemas de instabilidade háptica (por falhas na junção de alguns pontos na modelagem do objeto conforme esclarecidos no tópico 5.4.1), optou-se por aumentar o raio do *proxy* diminuindo as chances do mesmo ficar preso em alguma falha do objeto virtual.

A simulação do comportamento físico dos objetos é de responsabilidade do motor físico. Para obtenção da posição da interface háptica, bem como a transmissão de uma força de feedback, fez-se necessário recorrer a API do dispositivo háptico (*OpenHaptics*). A biblioteca de renderização háptica (*OpenHaptics*), atualiza constantemente, com uma frequência de 1000Hz a posição do dispositivo no ambiente virtual.

Ao contrário dos objetos do ambiente virtual, o objeto que representa o dispositivo háptico depende do movimento que é feito pelo usuário do sistema, portanto está representação necessita de características especiais. Quando o objeto que representa o dispositivo háptico colide com outro qualquer objeto da cena, é sentida pelo utilizador uma força de *feedback*, que varia conforme o tipo de comportamento e características do objeto com que chocou.

A força enviada para o dispositivo háptico é calculada a partir da profundidade de penetração do mesmo dentro do objeto em relação à posição final na superfície.

O algoritmo de força e *force-feedback* é descrito por (KYUNG, 2001) segundo (SARAIVA, ALMEIDA, *et al.*, 2010) sendo:

$$F_T = F_R + F_C + F_G \quad \text{Equação 1}$$

A força gerada pelo dispositivo háptico F_T é representada pela somatória das forças requeridas para penetrar o tecido (F_R), a força corretiva para manter o dispositivo posicionado ao longo da direção do movimento (F_C) e a força ambiente para compensar a gravidade, sendo:

$$F_C = -k * F_C'$$

$$K \text{ escala de força: } k = l_1/l_2 \quad \text{Equação 2}$$

$$F_C' = C * \text{const}$$

$$C = V_1 - V_C$$

$$V_1 = \text{Vetor de direção inicial}$$

$$V_C = \text{Vetor de direção atual}$$

Dois tipos de cálculos foram executados de acordo com os módulos. No módulo de treinamento, no qual o objeto é estático e não sofre deformação, foi utilizado o cálculo da força gerada pelo dispositivo háptico levando em consideração apenas o objeto de colisão, no caso a esfera que simula o aplicador bovino (Figura 41). Ambos os cálculos levaram em consideração a lei de Hooke, também chamada de força mola.

Baseado na lei de Hooke a mola é uma estrutura que possui elasticidade permitindo sua deformação quando uma pressão é exercida sobre ela, sendo a força diretamente proporcional ao seu deslocamento do estado inicial, conforme cálculo da deformação (PROVOT, 1995):

$$F = -k \Delta x \quad \text{Equação 3}$$

F: Força elástica em newton;

K: Constante elástica da mola;

Δx : Deformação da mola;

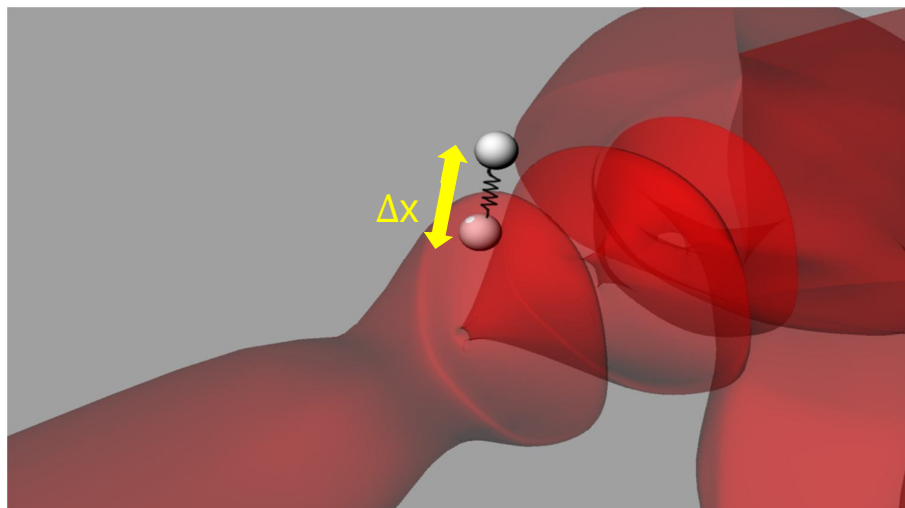


Figura 41 - Cálculo da Deformação da Mola para Objeto Estático (Transparência)

No Módulo de Avaliação, o objeto é dinâmico e sofre deformação da malha. Nesta fase, foi utilizado o cálculo para o conjunto do sistema em relação às propriedades físicas do objeto. Para o modelo do aparelho reprodutor bovino (fase avaliação), foi utilizado a propriedade física da elasticidade.

Em sistemas de treinamento, em especial sistemas hápticos, além da detecção de colisão, é importante saber onde ocorreu e o impacto causado pela colisão aos objetos tridimensionais.

Assim, como demonstrado no capítulo de fundamentos, existem na literatura três métodos mais citados para se obter a deformação de objetos em aplicações de Realidade Virtual: *Free Form Deformation* (FDD), *Mass Spring* (MS), *Finite Element* (FE). Devido a sua relativa simplicidade de implementação, o método massa-mola (Mass Spring) foi escolhido para o desenvolvimento de uma classe de deformação.

Segundo (KERA, PEDRINI e NUNES, 2011) o método massa-mola está relacionado à área da mecânica e permite a remodelagem de objetos através de massas conectados por molas. Cada ponto de massa é mapeado em um ponto específico do objeto 3D descrevendo a deformação do objeto à medida que ocorre o descolamento do conjunto (Figura 42).

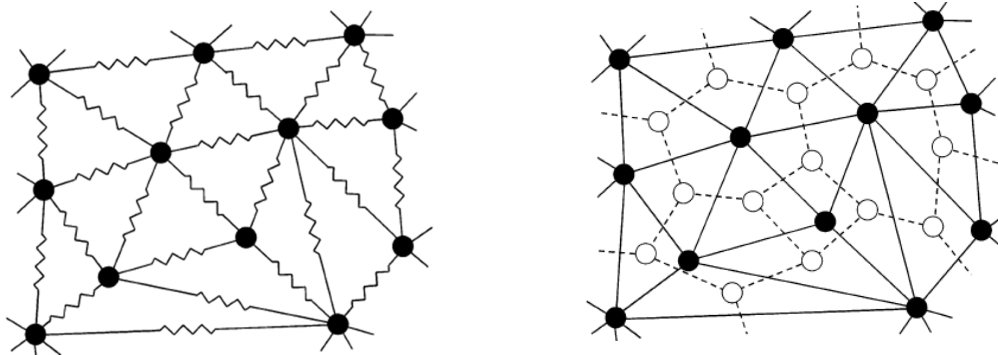


Figura 42 - Modelo Massa-Mola (MEIER, L'OPEZ, *et al.*, 2005)

Como descrito, o sistema é baseado no modelo de deformação massa-mola e para o funcionamento dos cálculos matemáticos, foi utilizada a 2ª lei de Newton:

$$F = ma$$

Equação 4

F: Força Aplicada;

m: Massa;

a: Aceleração;

Para deformar um objeto segundo (PAVARINI, 2006) a equação demonstrada abaixo é utilizada:

$$m_i \ddot{x}_i = -\gamma_i \dot{x}_i + \sum_j g_{ij} + f_i$$

Equação 5

onde:

(m_i) é a massa do ponto;

($\ddot{x}_i$) sua posição;

$-\gamma_i \dot{x}_i$: derivada da velocidade;

g_{ij} : força exercida na massa i pela mola entre massas i e j;

f_i : somatório das forças externas;

A força de contato calculada gera deslocamentos na malha do objeto virtual (Figura 43), sendo que os cálculos das forças de resistentes variam de acordo com a profundidade e o ângulo de inserção do modelo virtual que simula o aplicador.

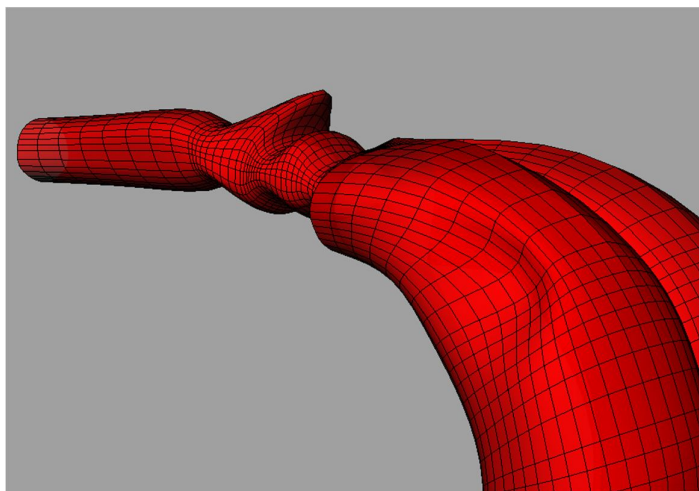


Figura 43- Deformação da Malha

Segundo (PAVARINI, 2006) embora o método massa-mola seja simples, o mesmo apresenta algumas desvantagens devido aos valores determinados para as constantes da mola que compõem o objeto e por existirem alguns obstáculos de incompreensão de objetos volumétricos ou superfícies finas.

Um dos problemas enfrentados no decorrer deste trabalho, foi à calibração do dispositivo háptico em relação às propriedades físicas iniciais. Uma vez que os procedimentos reais se diferem de animal para animal, não existem parâmetros que determinem a força aplicada no procedimento de inseminação artificial bem como deformação do aparelho reprodutor causado pelo aplicador. Para resolver este problema, parâmetros médios determinísticos de força e valores das constantes da mola para os sistemas de deformação foram atribuídos baseados na prática efetuada por um especialista da área de veterinária, a fim que o sistema se comportasse o mais próximo do procedimento real de inseminação artificial. Os testes foram executados pelo veterinário e o melhor resultado foi replicado para os diferentes modelos virtuais de aparelhos reprodutores bovinos.

5.4.3 Conclusão

Este capítulo abordou todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento de um simulador para o treinamento de inseminação artificial em bovinos com dispositivos hápticos, desde a análise do sistema e concepção dos modelos tridimensionais utilizados até a sua implementação.

Foi apresentado o desenvolvimento dos módulos principais do sistema, no qual é possível estudar a anatomia do aparelho reprodutor bovino, treinar o procedimento de inseminação artificial em um modelo rígido (módulo de treinamento) e em modelo com deformação do objeto (módulo de avaliação).

Por fim, foram apresentados os cálculos e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema, bem como a calibragem do dispositivo háptico por um veterinário especialista da área de reprodução animal, uma vez que, não existem parâmetros de força e deformação causada pelo aplicador de inseminação artificial.

O próximo capítulo apresenta uma avaliação do uso do sistema proposto por profissionais da área de inseminação artificial.

6 Resultados e Limitações

6.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os resultados dos testes feitos junto a alunos da área de reprodução animal para validar o projeto proposto.

Após isto, são mostradas algumas das sugestões e considerações dos entrevistados no intuito de melhorar o sistema proposto.

6.2 Metodologia

Para validar este projeto, escolheu-se seis alunos do curso de zootecnia, do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba. Todos os alunos executaram de forma prática, os procedimentos de Inseminação Artificial, com experiência nos procedimentos de reprodução animal. Frisa-se que o custo de treinamento destes profissionais é muito elevado, o que culmina na carência de profissionais com expertise nesta área de atuação.

A partir do levantamento de perfil dos entrevistados, verificou-se apesar de possuírem experiência no trabalho com computadores, os mesmos não possuíam nenhuma experiência na área de realidade virtual.

Para registrar a opinião dos entrevistados, elaborou-se um questionário na ISONORM, pelo qual, foram desenvolvidas questões de múltipla escolha e uma questão aberta para que o entrevistado pudesse registrar suas considerações sobre o *software* apresentado, sugestões e críticas.

As questões de múltipla escolha foram agrupadas segundo os seguintes critérios:

- **Funcionalidade:** onde se verifica se o conjunto de funções do sistema atende às necessidades explícitas e implícitas para o qual foi projetado;
- **Usabilidade:** onde se avalia a facilidade de uso do software;
- **Confiabilidade:** onde se nota se o desempenho do sistema se mantém no decorrer do tempo;
- **Eficiência:** onde se verifica se os recursos e os tempos envolvidos são compatíveis com o tempo de desempenho requerido para o produto.
- **Usuário:** onde se analisa o usuário dentro de um contexto de treinamento.

Nestas questões, as únicas alternativas possíveis eram:

- Muito Satisfeito
- Satisfeito

- Insatisfeito

Antes de responderem ao questionário, apresentou-se aos entrevistados a proposta do trabalho, conceitos relacionados ao ambiente virtual, técnicas de navegação e interação em ambientes virtuais bem como as instruções para a execução do treinamento.

Em seguida, os ensaios foram conduzidos individualmente na oportunidade, em que, os usuários puderam executar o treinamento com a utilização do dispositivo háptico.

6.3 Resultados

Após tabulação dos questionários obteve-se os seguintes resultados:

6.3.1 Funcionalidades

Quando responderam a pergunta “O Software reflete as operações básicas para o treinamento de inseminação artificial? Reproduz com fidelidade o aparelho reprodutor?” a maioria dos entrevistados se mostrou satisfeito ou muito satisfeito, o que demonstra que a ferramenta pode ser um auxílio no treinamento de inseminação artificial, conforme verificado no (Gráfico 1). É interessante salientar que não houve nenhum entrevistado que se mostrou insatisfeito.

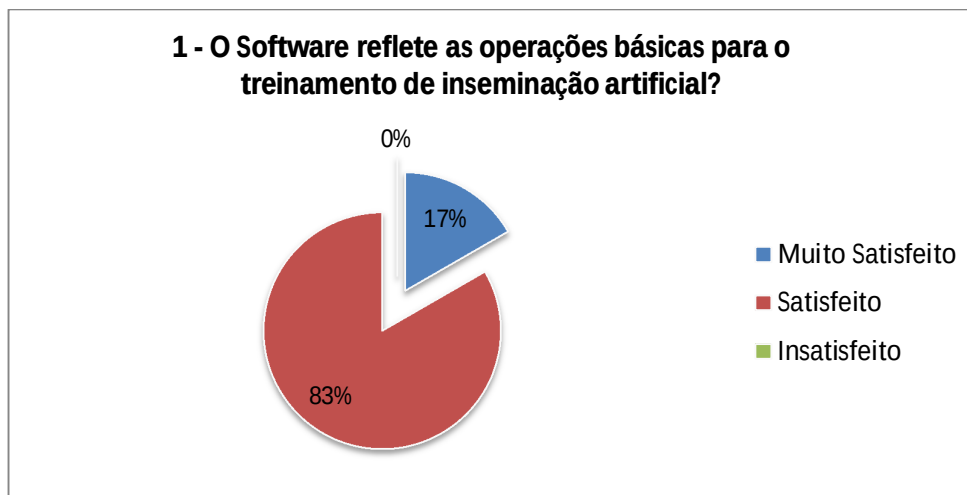


Gráfico 1

Ao responder a pergunta “1.2 - O Software apresentado possui informações que você julga essenciais para Treinamento de Inseminação artificial?” a maioria dos entrevistados se demonstraram muito satisfeitos, o que demonstra que o sistema atende aos requisitos propostos conforme (Gráfico 2).

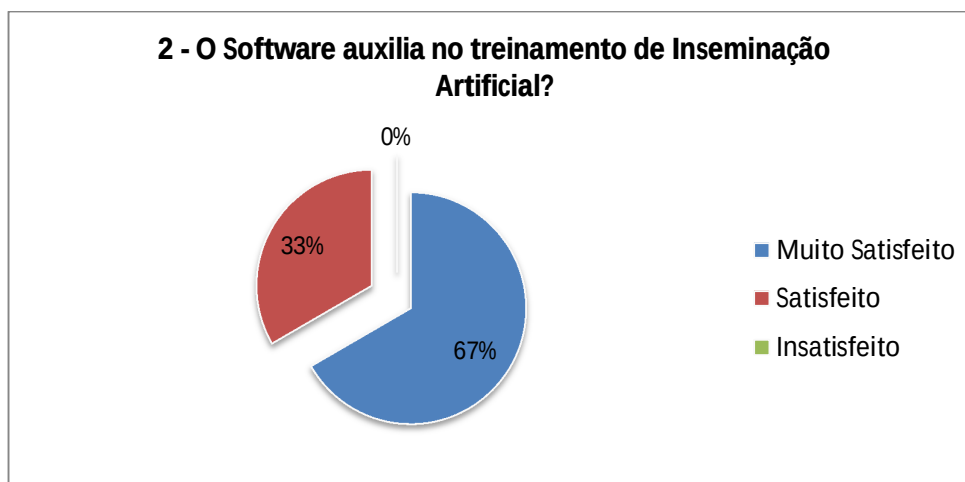


Gráfico 2

Ao responder a pergunta “1.3 - O Software auxilia no treinamento de Inseminação Artificial?” a maioria dos entrevistados se mostraram muito satisfeitos, o que demonstra em termos de funcionalidade que o software atende aos requisitos propostos para este sistema e auxilia no treinamento de inseminação artificial conforme (Gráfico 3).

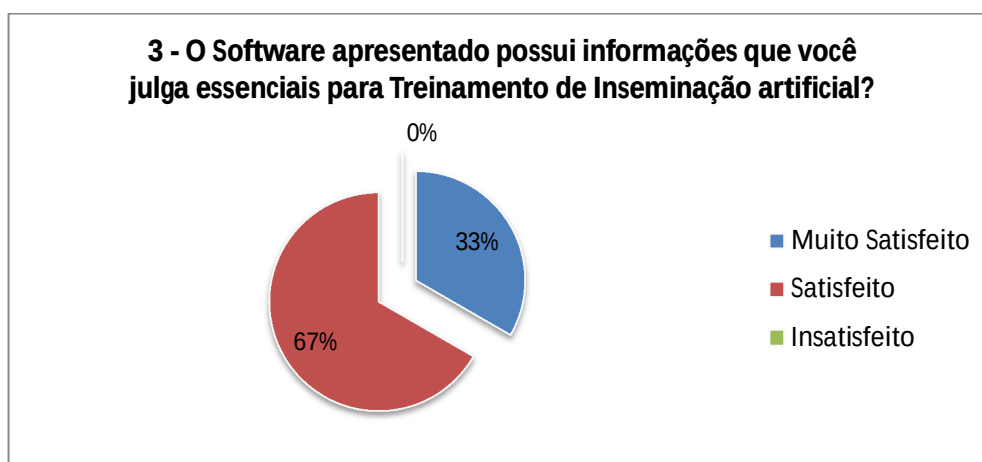


Gráfico 3

É importante salientar que em nenhum dos gráficos os entrevistados demonstraram insatisfação. Outro fator importante é que em termos de funcionalidades nenhuma observação foi colocada na pergunta “Sugestões de Funcionalidades”.

6.3.2 Usabilidade

Quando questionados em relação “a facilidade de entender como funciona o programa”, a maioria dos entrevistados considerou fácil de utilizar o sistema. Um dos

entrevistados o que equivale a 17% da pesquisa, se mostrou insatisfeito, o que leva a crer que apesar de ser fácil de utilizar, o sistema ainda necessita de mudanças conforme (Gráfico 4).

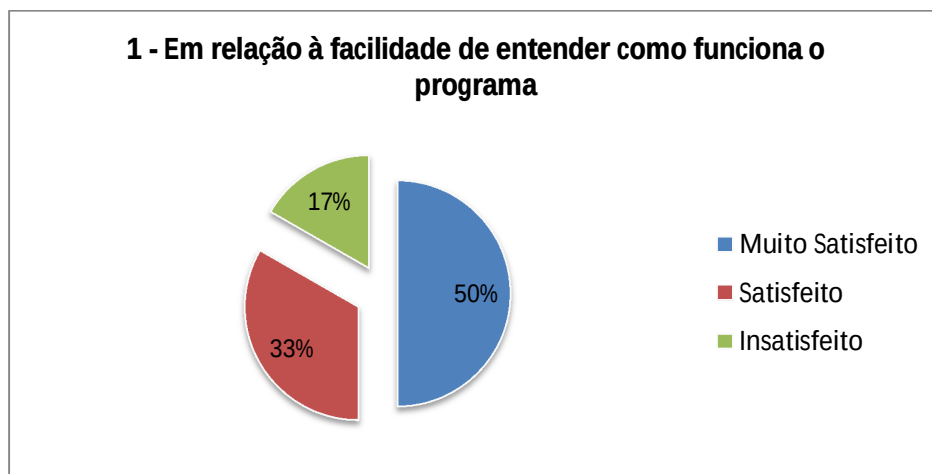


Gráfico 4

Ao responder a pergunta “2 – Quanto ao uso do sistema. (Cores, Textura do Objeto)”, os entrevistados mostraram-se satisfeitos, sendo 17% se mostraram muito satisfeitos (Gráfico 5). Esta pesquisa demonstra que apesar de uma representação visual simples, o sistema de treinamento remete a um ambiente próximo do real, em termos de estrutura visual. A simplicidade do ambiente virtual e requisitos visuais auxiliares como: transparência e *wireframe* foram considerações positivas segundo observações feitas pelos usuários do sistema.

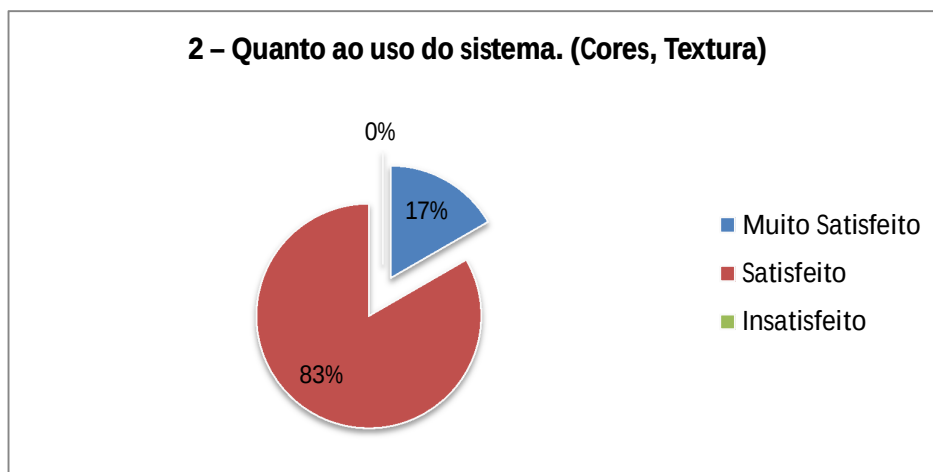


Gráfico 5

Quando questionados em relação à “*facilidade de utilização do ambiente de Realidade Virtual*”, 50% dos entrevistados se mostraram muito satisfeitos e 50% se mostraram satisfeitos conforme (Gráfico 6). Um fator que deve ser levando em consideração neste

requisito é que, nenhum dos entrevistados utilizou anteriormente um sistema baseado em realidade virtual. Neste sentido, devido a nenhum índice de rejeição, considerou-se que o sistema foi de fácil utilização, atingindo assim um nível aceitável de usabilidade do sistema proposto.

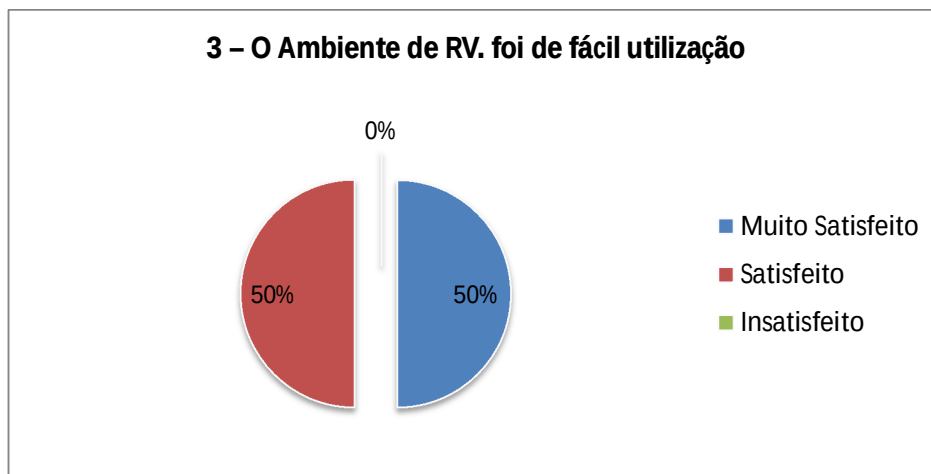


Gráfico 6

6.3.3 Confiabilidade

Quando questionados quanto à “*capacidade de funcionar corretamente*”, 67% dos entrevistados mostraram-se satisfeitos, 16% mostraram-se muito satisfeito e 17% mostraram-se insatisfeito com o requisito confiabilidade do sistema conforme (Gráfico 7). Tal fator de insatisfação justifica-se, segundo observação feita pelo usuário, devido ao fato de uma pequena instabilidade do dispositivo háptico ao rotacionar o objeto virtual com o dispositivo em seu interior.

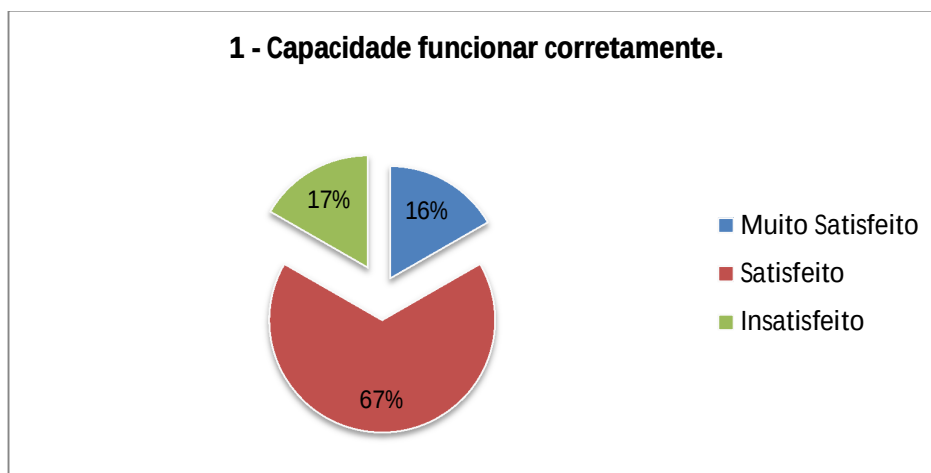


Gráfico 7

6.3.4 Eficiência

A maioria dos entrevistados considerou o tempo de treinamento suficiente (Gráfico 8). Neste sentido este gráfico ratifica o módulo de observação proposto na arquitetura do sistema, o que leva a crer que o treinamento efetuado neste módulo foi bem executado e atingiu o objetivo principal de permitir ao usuário a navegação, observação, exploração e interação com o objeto de estudo, tornando suficiente o tempo de treinamento no equipamento.

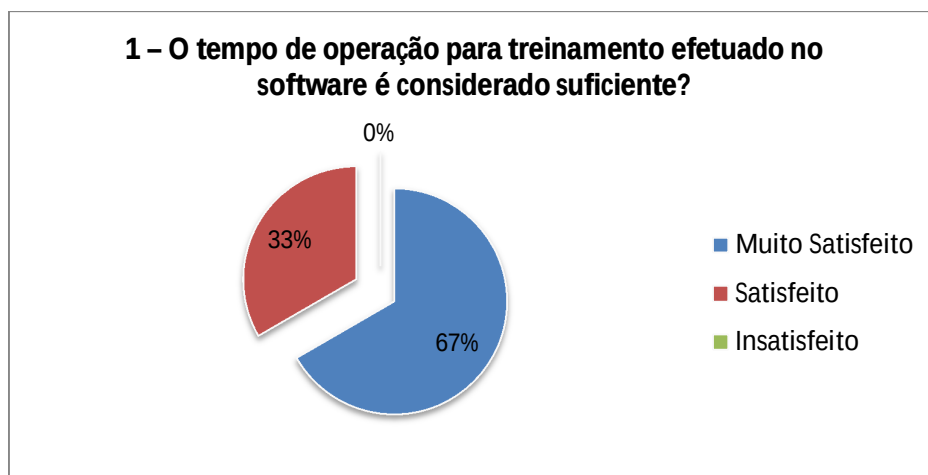


Gráfico 8

Quando questionados em relação à “2 - O sistema pode melhorar o desempenho do treinamento realizado na prática?”, os entrevistados foram unânimes em dizer que o sistema pode melhorar o desempenho do treinamento de inseminação artificial realizado na prática, o que ratifica a utilização da ferramenta como auxílio no treinamento e no aprendizado dos procedimentos de inseminação artificial (Gráfico 9).



Gráfico 9

A maioria dos entrevistados considerou o tempo de resposta, tanto visual quanto háptica muito satisfatório (Gráfico 8), o que leva a crer que não existiu inconsistência na sincronização virtual e háptica. Neste sentido, o sistema proposto atendeu as expectativas, e ratificou a eficácia dos algoritmos de detecção de colisão e deformação da malha.

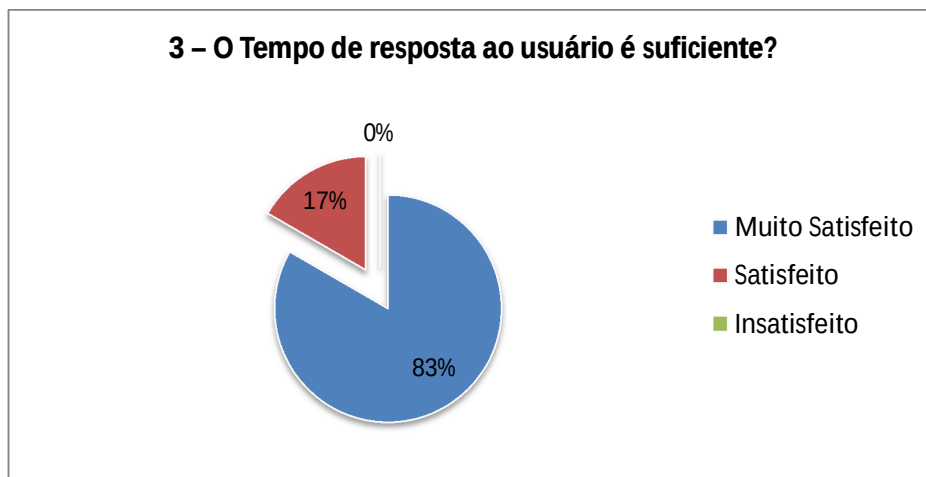


Gráfico 10

6.3.5 Usuário

Relacionado ao usuário a maioria mostrou-se insatisfeito 33% ou muito insatisfeito 67% (Gráfico 11) quando perguntado a respeito da “Experiência com Tecnologia”. Apesar do gráfico negativo, o mesmo apresenta pontos positivos quando relacionados ao sistema proposto, uma vez que, mesmo que a maioria esteja muito insatisfeito com sua experiência no uso da tecnologia, eles demonstraram muita agilidade e perspicácia na navegação e interação com o ambiente virtual, levando a crer que o sistema pode ser utilizado mesmo por pessoas com pouca ou nenhuma experiência com a tecnologia.

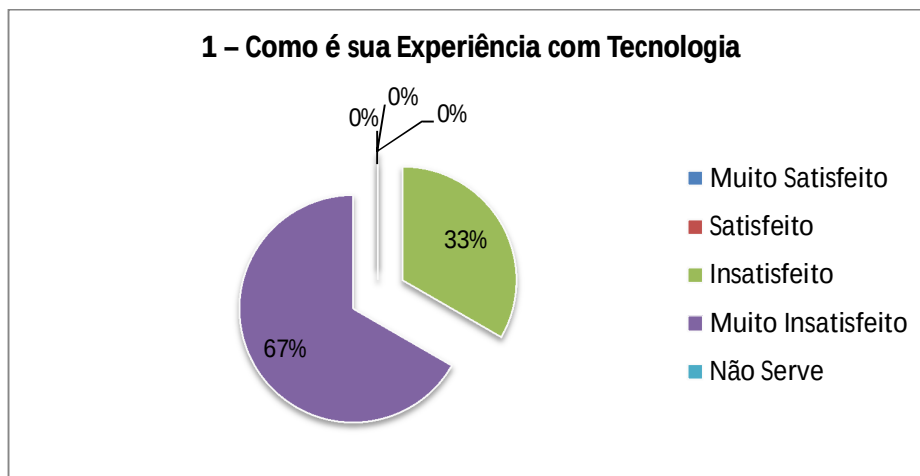


Gráfico 11

6.3.6 Considerações e Sugestões dos Entrevistados

Ao final do questionário foi disponibilizado um espaço para comentários e sugestões.

Abaixo segue uma transcrição das respostas de alguns usuários:

- O sistema é muito bom, porém sugiro que ao forçar o equipamento deve furar o útero conforme acontece na prática;
- O sistema é muito próximo do real, porém ao rotacionar o objeto o mesmo trava o dispositivo;
- As reações são inéditas e muito importantes para sinalizar seu movimento.

6.4 Conclusão

Através das análises dos resultados (Funcionalidades, Usabilidade, Confiabilidade, Eficiência), nota-se que a maioria dos entrevistados, mesmo aqueles que não estão familiarizados com Realidade Virtual considera o sistema de treinamento de inseminação artificial como uma ferramenta importante e válida para ser usada em treinamento e no aprendizado, demonstrando que o sistema cumpre com os objetivos para o qual foi projetado.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho propôs-se um estudo com o objetivo de investigar técnicas de Realidade Virtual e Háptica, propondo a criação de um sistema de simulação e treinamento de inseminação artificial em bovinos. Deste modo, procurou-se apresentar os aspectos e conceitos relacionados ao desenvolvimento de simuladores baseados em dispositivos hápticos, bem como os problemas e as soluções encontradas.

Os estudos conduzidos nesta pesquisa resultaram na criação e no desenvolvimento de um simulador de treinamento de inseminação artificial em bovinos baseado em Realidade Virtual desde a modelagem tridimensional dos objetos até sua concepção final. Foram analisados aspectos de implementação, modelagem tridimensional, rotinas de interação háptica e finalmente uma avaliação por parte do usuário do sistema.

Pesquisas relacionadas a dispositivos hápticos permitiram aquisição de conhecimentos relacionados à programação destes tipos de dispositivos, bem como a aplicação de algoritmos de colisão e deformação de objetos.

O apoio de pessoas especializadas na área de fertilidade e reprodução animal foi fundamental para a identificação dos possíveis problemas e das reais necessidades. Essa interação foi obtida com ajuda de zootecnistas e veterinários do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – campus Uberaba.

Até o presente momento encontrou-se na literatura pesquisas próximas ao desenvolvimento do trabalho proposto, porém pelos diferentes tipos de aplicação ou pelo âmbito da pesquisa não contemplam técnicas necessárias para a simulação e o treinamento de inseminação artificial proposto. Neste sentido, técnicas de aplicação dos algoritmos de detecção de colisão já conhecidos, foram executadas e permitiram a criação mais precisa do sistema.

É importante ressaltar que através das análises dos resultados dos testes (Funcionalidades, Usabilidade, Confiabilidade, Eficiência), feitos com usuários da área de inseminação artificial, o sistema foi validado como uma ferramenta importante para ser usada em treinamento e no aprendizado, demonstrando que o sistema cumpre com os objetivos pelo qual foi projetado.

Durante a realização deste trabalho, foi elaborado e apresentado um artigo com a descrição integral do sistema proposto, desde a modelagem tridimensional até a concepção final e os testes de validação com usuários.

7.1 Contribuições

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa buscou acrescentar conhecimentos à comunidade científica de modo a destacar as principais vantagens:

- Aplicação de diferentes procedimentos de modelagem tridimensional bem como a união das mesmas;
- Desenvolvimento de um modelo de RV que suporte (acomode) o real formato do aparelho reprodutor bovino (anatomia);
- Análise de requisitos fundamentais para o desenvolvimento de um sistema de simulação e treinamento baseado em Realidade Virtual;
- Elaboração de uma arquitetura para a integração das interfaces virtuais e hápticas;
- Adaptação dos algoritmos existentes de detecção de colisão a fim de adequar ao sistema proposto foram contribuições em relação aos trabalhos correlatos;
- Demonstração de que o sistema de simulação de inseminação artificial pode contribuir para o treinamento prático, diminuindo consideravelmente a utilização de animais vivos e consequentemente o índice de doenças causadas pelo treinamento excessivo;
- Aplicação de um sistema de avaliação, de modo a visualizar os dados e validar os conceitos propostos;

7.2 Trabalhos Futuros

Dentre os aspectos abordados, de forma a facilitar e aprimorar os aspectos de desempenho e funcionalidade do sistema, alguns fatores podem ser estendidos. São sugestões para trabalhos futuros:

- Implementação de uma nova técnica de visualização do objeto tridimensional com a utilização de rotinas estereoscópicas;
- Implementação um sistema de gravação de vídeo, de forma a permitir gravar o procedimento de treinamento para futuros acompanhamentos;
- Implementação de um sistema integrado com a luva de dados, permitindo a manipulação do objeto virtual, de forma a coincidir com o procedimento real de inseminação artificial que é feito com a utilização das duas mãos;
- Realização de novos estudos envolvendo diferentes tipos de especialistas na área, permitindo o aperfeiçoamento do sistema.

8 Referências

- AUKSTAKALNIS, S.; BLATNER, D.; ROTH, S. F. **Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality**. Berkeley: Peachpit Pr, 1992. 317 p.
- AZEVEDO, Á. F. M. **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. 1ª. ed. [S.l.]: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003. 248 p.
- AZEVEDO, EDUARDO; CONCI, AURA. Computação Gráfica: geração de imagens. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- BAILLIE, S.; KINNISON, T.; FORREST, N. D. Teaching Bovine Abdominal Anatomy: Use of a Haptic Simulator. **Anatomical Sciences Education**, United Kingdom, 01 Nov. 2009. 280-285.
- BALANIUK, R. Mini-curso de Implementação de Aplicações em Realidade Virtual, 2001. Disponível em: <http://www.geocities.ws/rv_ucb/>. Acesso em: 23 julho 2012.
- BRAGA, M. Realidade Virtual e Educação. **REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA**, Sanata Catarina, v. Volume 1, n. Número 1, 2001. ISSN ISSN 1519-5228.
- CADOZ, C. **Realidade virtual**. Tradução de Paulo Goya. Domínio. ed. São Paulo: Ática, 1997. 111 p. ISBN 850806635X.
- CASTRO, E. M. D.; PAULA, A. I. D.; TAVARES, C. P. Orientação Espacial em Adultos com Deficiência Visual. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, Rio Claro, v. 2, p. 199-210, 2004.
- CORRÊA, C. G. IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO EM UM FRAMEWORK PARA TREINAMENTO MÉDICO. **FUNDAÇÃO DE ENSINO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM**, Marília – SP, p. 185, 2008.
- DICIONÁRIO Escolar Língua Portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2008.
- FILHO, L. R. IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE SÊMEN - 2011. **ASBIA - Associação Brasileira de Inseminação Artificial**, Uberaba, p. 1-23, 2011.
- FREITAS, C.; NEDEL,. Framework para Construção de Pacientes Virtuais: Uma Aplicação em Laparoscopia Virtual. In: _____ **Proceedings of VI Symposium on Virtual Reality (SVR)**. Ribeirão Preto: SBC Brazilian Computer Society, 2003. p. 283-293.
- KADLECEK, P.; KMOCH, P. Overview of current developments in haptic APIs. **Proceedings of CESC 2011: The 15th Central European Seminar on Computer Graphics**, Praga - Republica Checa, 2011.

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**, São Paulo, 18, 2011. 1-10.

KERA, M.; PEDRINI, H.; NUNES, F. L. S. Ambiente Virtual Interativo com Colisão e Deformação de Objetos para Treinamento Médico. **RITA - Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Rio Grande do Sul, v. 18, n. 2, p. 205-233, 2011.

KYUNG, K.-U. Force feedback for a spine biopsy simulator. **Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems**, 2001. 1732-1737.

LATTA, J. N.; OBERG, D. J. A conceptual virtual reality model. **IEEE Computer Graphics & Applications**, Janeiro 1994. 23-29.

LAVROFF, N. **Divertindo-se com Realidade Virtual**. São Paulo: Berkeley, 1994.

MACHADO, L. D. S. **REALIDADE VIRTUAL NO MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DE PROCEDIMENTOS INVASIVOS EM ONCOLOGIA PEDIÁTRICA: UM ESTUDO DE CASO NO TRANSPLANTE DE MEDULA ÓSSEA**. SÃO PAULO: [s.n.], 2003. 130 p. Tese de Doutorado.

MAULE, M. *Aceleração da Deformação Interativa de Corpos Sólidos Usando GPU*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 2009.

MEIER, U. et al. Real-time deformable models for surgery simulation: a survey. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Valencia, Spain, 2005. 183—197.

NETTO, A. V. et al. REALIDADE VIRTUAL E SUAS APLICAÇÕES NA ÁREA DE MANUFATURA, TREINAMENTO SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 5, n. 2, p. 104-116, Agosto 1998.

NETTO, A. V.; MACHADO, L. D. S.; OLIVEIRA, M. C. F. D. Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica da SBC**, São Paulo-SP, II, n. 2, Março 2002. 1-33.

OLIVEIRA, F. N. D. Pecuária-Inseminação Artificial em Bovinos. **EMATER - MG**, p. 1-6, Agosto 2000.

PAVARINI,. **ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO MASSA-MOLA PARA DEFORMAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS DE TREINAMENTO MÉDICO USANDO A API JAVA 3D**. Marília: FUNDAÇÃO DE ENSINO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM, 2006. 147 p. Dissertação de Mestrado.

PAVARINI,. **Estudo E Implementação Do Método Massa-Mola Para Deformação Em Ambientes Virtuais De Treinamento Médico Usando A Api Java 3d**. Marília: FUNDAÇÃO DE ENSINO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM, 2006. 147 p. Dissertação de Mestrado.

PEGORARO, L. M. C.; SAALFELD; MARA HELENA. Reciclagem em inseminação artificial de bovinos. **Embrapa Clima Temperado. Documentos**, Pelotas, p. 246, 2008. ISSN 1516-8840.

PEREIRA, T. D. R. *Framework para o Desenvolvimento de Experiências Virtuais com Interação Háptica*. 123p. Dissertação de Mestrado. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO., 2010.

PINHO, M. S.; KIRNER, C. Uma Introducao à Realidade Virtual. **Sociedade Brasileira de Computacao - LNCC (Internet)**, Rio de Janeiro - RJ, n. 01, 1997. 35.

PROVOT, X. Deformation Constraints in a Mass Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior. **Proceedings of Graphics Interface**, Quebec, p. 147–154, 1995.

QUÉAU, P. O tempo do Virtual. In: PARENTE, A. **Imagem Máquina: A era das tecnologias do virtual**. Rio de Janeiro: 34, 1993. p. 91-99.

ROCHA, R. D. S. *Algoritmos Rápidos de Detecção de Colisão Broad Phase utilizando KD-Trees*. 84p. Dissertação de Mestrado. FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ UNIVERSIDADE DE FORTALEZA. Fortaleza, 2010.

RODRIGUES, H. F. **Aplicando Sistemas Hápticos em Serious Games: Um Jogo para a Educação em Higiene Bucal**. João Pessoa: [s.n.], v. Ufpb/ccen, 2011.

ROUSE,. Definition FireWire. **SearchNetworking**, 2012. Disponível em: <<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/FireWire>>. Acesso em: 01 Agosto 2012.

RUSPINI, D. C. et al. The Haptic Display of Complex Graphical Environments. **COMPUTER GRAPHICS Proceedings, Annual Conference Series**, Stanford, CA, 1997.

SANTOS, A. D. D. Simulação Médica Baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia. In: INFORMÁTICA, D. D. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Informática**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2010. p. 95 f.

SARAIVA, A. J. J. I. B. U. et al. *Sistema integrado para incisão cirurgica com bisturi virtual utilizandoo dispositivo háptico Phantom Omni*. Dissertação de Mestrado. Centro Universitário da FEI., 2010.

SEDERBERG, T. W. Free-Form Deformation (FFD). In: SEDERBERG, T. W. **COMPUTER AIDED GEOMETRIC DESIGN**. [S.l.]: [s.n.], 2011. Cap. 14, p. 149-152.

SEVERO, N. C. Impacto da Inseminação Artificial na Industria Bovina no Brasil e no Mundo. **Revista Veterinária e Zootecnia em Minas Gerais: V & Z em Minas**, 2009.

SMITH, R. D. Factors Affecting Conception Rate. **Dairy Integrated Reproductive Management**. 6.

SZÉKELY, G. Virtual Reality Basead Surgery Simulation for Endoscopic Gynaecology. In: _____ **Medicine Meets Virtual Reality**. [S.l.]: [s.n.], 1999. p. 351-357.

TAVARES, D. L. M.; LEMOS, R. R. Detecção de Colisões par a Cor pos Rígidos em Tempo Real utilizando Hierarquias de Volumes Envoltoiros. **Hifen**, Caxias do Sul, v. 30, n. 58, 2006. ISSN 0103-1155.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos de Realidade Virtual. In: _____ **Fundamentos e Tecnologia de realidade Virtual e Aumentada, livro do Pré Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality**. Belém: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 30. ISBN 85-7669-068-3.

TORRES, R. S.; NUNES, F. L. S. Aplicando Aspectos Lúdicos de Serious Game em Treinamento Médico: Revisão Sistemática e Implementação. **XIII Symposium On Virtual And Augmented Reality**, Uberlândia, 23 Maio 2011. CD-ROM.

VENDRUSCOLO, M. et al. RELAÇÃO ENTRE A DURAÇÃO DO ATO DA INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL EM BOVINOS E A FERTILIDADE. **Archives of Veterinary Science**, 10, n. 2, 2005. 81-88. Printed in Brazil.

VIEIRA, M. Tecnologia e Treinamento Online. **http://www.tecnologiaetreinamento.com.br/pecuaria/pecuaria-de-corte-pecuaria/inseminacao-artificial-bovinos/**, 12 abr. 2012. Saiba como fazer inseminação artificial em bovinos.

WATSON, K. Development of stereoscopic-haptic virtual environments. **12th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems**, 1999. 29-34.

ZOTOVICI, A.; NAKAMURA, R. Aplicação de Algoritmos Adaptativos em Detecção de Colisão. **Workshop de Tecnologia Adaptativa (WTA 2012)**, São Paulo, Janeiro 2012.