

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



**O Uso de Realidade Virtual e Aumentada na Visualização do
Fluxo do Campo Magnético de um Motor de Indução Monofásico**

Jucélio Costa de Araújo - Orientando

Alexandre Cardoso, Dr – Orientador

Edgard A. Lamounier Junior, PhD – Co-orientador

UBERLÂNDIA, MG, NOVEMBRO DE 2008

JUCÉLIO COSTA DE ARAÚJO

**O Uso de Realidade Virtual e Aumentada na Visualização do
Fluxo do Campo Magnético de um Motor de Indução Monofásico**

Dissertação apresentada por Jucélio Costa de Araújo, à
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de
Engenharia Elétrica, para obtenção do título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração

Processamento da Informação

Banca Examinadora:

Profº. Alexandre Cardoso, Dr. (UFU)-Orientador.

Profº. Edgard A. Lamounier Jr., PhD (UFU) – Co-Orientador

Profº. Kleiber D. Rodrigues, Dr. (UFU)-Banca

Profº. Marcos Wagner Ribeiro, Dr. (ULBRA)-Banca

Profº. Robson Siscoutto, Dr. (UNIC) - Banca

Uberlândia, MG, Novembro de 2008.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A663u Araújo, Jucélio Costa de, 1970-
 Uso de realidade virtual e aumentada na visualização do fluxo do
 campo magnético de um motor de indução monofásico / Jucélio Costa de
 Araújo. - 2008.
 95 f.: il.

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

 1. Realidade virtual - Teses. 2. Motores elétricos de indução - Teses.
 3. Correntes alternadas - Teses. 4. Campos magnéticos - Teses. I. Cardoso,
 Alexandre. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Gra-
 duação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 681.3:007.52

O Uso de Realidade Virtual e Aumentada na Visualização do Fluxo do Campo Magnético de um Motor de Indução Monofásico

JUCÉLIO COSTA DE ARAUJO

Dissertação apresentada por Jucélio Costa de Araújo à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Alexandre Cardoso
Orientador

Dr. Darizon Alves de Andrade, Phd
Coordenador

“Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece.”

(Fil. 4,13)

Agradecimentos

- ✓ A Deus, que em primeiro lugar me deu toda a força necessária para que pudesse alcançar meus objetivos, cuidando de mim nos momentos de angústia e celebrando comigo nos momentos de vitória, pois Ele é o motivo principal de minha existência e não sou nada sem Ele.
- ✓ Ao Professor Alexandre Cardoso que tanto fez para que eu chegasse a este momento, quanto pelas suas orientações, apoio, compreensão e dedicação.
- ✓ Ao Professor Edgard Lamounier Júnior pelos constantes auxílios no decorrer desta caminhada, como também pelo apoio e amizade.
- ✓ Ao Professor Marcos Wagner pela grande ajuda no desenvolvimento do projeto, que sempre acompanhou a execução do mesmo, e cujas palavras não são suficientes, para mostrar o agradecimento que devo.
- ✓ À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela oportunidade de realização deste trabalho.
- ✓ Aos colegas do Laboratório de Realidade Virtual de Goiás, onde foi desenvolvida boa parte desta dissertação, principalmente ao colega Rodrigo Vasconcelos Arruda pela ajuda na modelagem dos objetos virtuais.
- ✓ Ao amigo Wender Antônio da Silva, que foi o meu parceiro constante nesta empreitada, pois estávamos juntos num mesmo caminho dividindo as alegrias e as tristezas, as dificuldades e as vitórias que conseguimos nesta trajetória, para que cada um de nós pudesse alcançar os nossos respectivos objetivos.
- ✓ A minha mãe Lenita Costa de Araújo, que sempre esteve comigo durante este período de estudo, me ajudando principalmente em um momento muito delicado de minha vida, sem a qual talvez não pudesse ter chegado até aqui, ao meu irmão Juci Junior; e a meu pai Juci Tenório que apesar de não estar entre nós, tenho a certeza que ele está olhando por mim e por nossa família, junto ao PAI lá no céu reforçando o time dos anjos, com sua simplicidade e amor pela família.
- ✓ Aos colegas de Trabalho do CEFET - Morrinhos - GO, pela compreensão referente às substituições feitas nas aulas em que não pude estar presente, devido a minhas idas e vindas nas estradas da vida durante o desenvolver deste projeto.
- ✓ A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho..

RESUMO

ARAÚJO, Jucélio C., *O Uso de realidade virtual e aumentada na visualização do fluxo do campo magnético em um motor de indução monofásico*. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFU, 2008.

Esta dissertação apresenta uma aplicação de Realidade Virtual e Aumentada, tendo como foco principal o estudo do campo magnético criado por um motor de indução monofásico durante o seu funcionamento. A Realidade Virtual e a Realidade Aumentada a cada dia vêm se destacando, devido ao surgimento de suas inúmeras aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento, e uma das mais beneficiadas é a educação. Portanto estas tecnologias vêm se tornando ferramentas de apoio ao ensino, auxiliando a percepção e interação dos alunos em assuntos diversos. A visualização do campo magnético está relacionada com estratégias de utilização de elementos ferromagnéticos. Tais campos, a exemplo de outros (Campo Elétrico, Campo Gravitacional) têm características tridimensionais. Sendo que grande parte das imagens referentes a este fenômeno físico é estática o que na maioria das vezes acaba dificultando ao aprendizado deste tema. Neste trabalho, o Campo Magnético poderá ser visualizado, pelo usuário, com uso de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada. O elemento de estudo será o Campo Magnético que é gerado em um motor elétrico (de indução monofásico). Pretende-se, por meio desta abordagem, identificar as vantagens de se utilizar as técnicas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada em relação à outras formas de visualização do campo magnético.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Motor de Indução Monofásica, Corrente Alternada, Campo Magnético.

ABSTRACT

ARAÚJO, J C. *The use of the Virtual and Augmented Reality in the Visualization of flow of the magnetic field in an induction motor single phase*. Dissertation (Master's degree in Sciences) Program of Masters degree in Electric Engineering, UFU, 2008.

This dissertation presents an application of Virtual and Augmented Reality, having as main focus the study of the magnetic field created by a single-phase engine of induction during its functioning. Virtual Reality and Augmented Reality potentially emerges every days, due increasing number of its applications in the most varied areas of the knowledge. One of the most benefited is Education. Therefore, these technologies becomes supporting tools for education, for assisting in the perception and interaction of the students in divers subjects. The visualization of the magnetic field is related to strategies of use of ferromagnetic elements. Such fields, the example of others (Electric Field, Gravitational Field) have three-dimensional characteristics. Since great part of the referring images to this physical phenomenon is static what most of the time it finishes making it difficult the learning of this subject. In this work, the Magnetic Field could be visualized, for the user, with use of Virtual Reality or Augmented Reality. The study element will be the Magnetic Field that is generated in an electric engine (of single-phase induction). It is intended, by means of this boarding, to identify the advantages of if using the techniques of Virtual Reality and Augmented Reality in relation the other forms of visualization of the magnetic field.

Keywords: Virtual Reality, Augmented Reality, Induction Motor Single Phase, Current Alternating, Magnetic Field.

PUBLICAÇÕES

A seguir, será apresentada a publicação resultante deste trabalho:

ARAUJO, Jucélio C.; CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER JR, Edgard; RIBEIRO, Marcos Wagner de Souza. **O Uso de Realidade Virtual e Aumentada na Visualização de Campos Magnéticos de Máquinas Elétricas**. In: Workshop of thesis and dissertations, SVR 2008, X Symposium on Virtual and Augmented Reality, held in João Pessoa: UFPB, 2008.

ARAUJO, Jucélio C.; CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER JR, Edgard; RIBEIRO, Marcos Wagner de Souza. **O Uso de Realidade Virtual e Aumentada na Visualização de Campos Magnéticos de Máquinas Elétricas**. WARV 2007 III Workshop de Aplicações de Realidade Virtual, 2, 2007, *Itumbiara*. *Proceedings-Itumbiara*: ULBRA, 2007.

Sumário

CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos e Metas..	3
1.3 Justificativa	4
1.4 Organização da Dissertação	4
CAPÍTULO 2	6
2 FUNDAMENTOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA	6
2.1 Introdução	6
2.2 Máquinas Elétricas(Motores)	6
2.2.1 Máquinas Assíncronas	8
2.2.1.1 Princípio de Funcionamento	9
2.2.1.2 Produção de Campo Girante	9
2.2.1.3 Motores de Indução	9
2.2.1.4 Motores de Indução Monofásicos.....	10
2.2.3 Campo Magnético	12
2.3 Realidade Virtual	13
2.3.1 Realidade Virtual Aplicada a Educação	14
2.4 Realidade Aumentada.....	15
2.5 Considerações Finais	17
CAPÍTULO 3	18
3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	18
3.1 Introdução	18
3.2 Sistema de Experiências Físicas Instrucional em Realidade Virtual – SEFIRV	18
3.3 Conservação da energia elétrica em sistemas industriais: sob a óptica da realidade virtual	20
3.4 Construção de um Sistema de Realidade Virtual - Sistema de monitoramento e controle utilizando-se um PIC	21
3.5 Livro dos Sólidos Geométricos	22
3.6 Sistema de Medição de Movimentos por RA – SMMAR.....	23

3.7 Service and Training through Augmented Reality - STAR	25
3.8 Sistema Eic-RA	25
3.9 ARAS – Augmented Reality Aided Surgery	26
3.10 Considerações Finais	27
CAPÍTULO 4	29
4 ARQUITETURA DO SISTEMA.....	29
4.1 Introdução	29
4.2 Tecnologias de Apoio	29
4.2.1 OpenGL	30
4.2.2 ArtoolKit.....	30
4.2.3 Microsoft Visual Studio C++	31
4.2.4 Linguagem C	32
4.2.5 3Ds Max 5.0	32
4.2.6 PIC	32
4.3 Arquitetura Proposta do Sistema	33
4.4 Visão geral do funcionamento do sistema com um diagrama de blocos.....	35
4.5 Considerações Finais	35
CAPÍTULO 5	36
5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	36
5.1 Introdução	36
5.1.1 Caso de Uso do Sistema PVVAC.....	36
5.1.2 Caso de Uso : Ativar o ambiente de RV	37
5.1.3 Caso de Uso : Visualizar o campo no Motor RV	37
5.1.4 Caso de Uso : Ativar o ambiente RA	38
5.1.5 Caso de Uso : Visualizar o Campo no motor Real	39
5.2 Ferramentas de Programação Utilizadas	40
5.3 Composição do Motor Elétrico e Modelagem utilizada.....	40
5.4 Placa de Comunicação (Protoboard)	42
5.4.1 Objetivos da Placa	43
5.5 Implementação do Sistema de Realidade Virtual.....	44
5.6 Implementação do Sistema de Realidade Aumentada.....	46

5.7 Princípio de funcionamento do motor	48
5.7.1 Descrição do motor monofásico utilizado	49
5.8 Funcionamento do Sistema.....	50
5.8.1 Realidade Virtual	51
5.8.2 Realidade Aumentada.....	53
5.8.3 Considerações Finais	56
CAPÍTULO 6	57
6 AVALIAÇÃO E LIMITAÇÕES.....	57
6.1 Introdução	57
6.2 Avaliação do Sistema PVVAC.....	57
6.2.1 Quanto a clareza dos termos utilizados (Finalidade do protótipo)	58
6.2.2 Quanto ao número de funções existentes no sistema (Usabilidade).....	58
6.2.3 Facilidade de uso do sistema.(Funcionalidade).....	59
6.2.4 Quanto a Interatividade do sistema com o usuário.....	60
6.2.5 Quanto ao número de passos necessário para a realização de uma atividade no protótipo	60
6.2.6 Controle sobre a atividade do Motor (Possibilidade de interromper, suspender) ...	61
6.2.7 Possibilidade de visualização clara do que está sendo executado	62
6.2.8 Quanto ao aprendizado referente á visualização do campo magnético	63
6.2.9 Quanto ao controle do cenário de RV e RA do motor.....	64
6.2.10 Em relação ao uso da Realidade Aumentada como ajuda na compreensão do experimento (Ensino-Aprendizagem).....	65
6.2.11 Em relação ao uso da Realidade Virtual como ajuda na compreensão do experimento (Ensino Aprendizagem).....	66
6.2.12 Opinião Geral sobre o uso do sistema	67
6.3 Limitações do PVVAC.....	68
6.4 Considerações Finais	70
CAPÍTULO 7	71
7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	71
7.1 Introdução.....	71
7.2 Conclusões.....	71

7.3 Trabalhos Futuros	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
Anexo I.....	77

ÍNDICE TABELAS

Tabela 3-1 - Comparativa das características dos trabalhos relacionados.....	27
Tabela 5-1 – Relação dos Casos de Uso do Sistema PVVAC.....	36
Tabela 5-2 – Descrição do Caso de Uso ‘Ativar o ambiente RV’	37
Tabela 5-3 – Descrição do Caso de Uso ‘Visualizar o campo no motor RV’	38
Tabela 5-4 – Descrição do Caso de Uso ‘Ativar o ambiente RA’	39
Tabela 5-5 – Descrição do Caso de Uso ‘Visualizar o campo no motor Real’	39
Tabela 7-2– Comparativa das características dos trabalhos relacionados em relação ao protótipo	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de motores elétricos	7
Figura 2 – Componentes de um Motor de Indução	10
Figura 3 – Estator utilizado em Motor de Indução Monofásico	11
Figura 4 – Constituição de um Motor de Indução Monofásico	11
Figura 5 – Decomposição de um Campo Pulsante	12
Figura 6 – Head-Mounted criado por Ivan Sutherland.....	13
Figura 7 – Ambiente Virtual de Química	15
Figura 8 – Sistema de Realidade Virtual baseado em ambiente Virtual em um monitor.....	16
Figura 9 – Diagrama de Realidade e Virtualidade Contínua	16
Figura 10 - Sistema de ensino de legislação no transito usando RA.....	17
Figura 11 - Arquitetura do sistema SEFIRV	19
Figura 12 - Página de Abertura do SEFIRV.....	19
Figura 13 – Bomba Centrífuga Modelada	20
Figura 14 - Bicicleta o projeto com suporte de treino acoplado ao motor	21
Figura 15 - Ponto de vista do usuário no sistema.....	22
Figura 16 – Visualização de Poliedros	23
Figura 17 –Arquitetura do Sistema SMMAR.....	24
Figura 18 – Sensores e Temporizador do SMMAR	24
Figura 19 – Imagem do funcionamento do sistema STAR	25
Figura 20 – EIC: Quebra-cabeça.	26
Figura 21 - Imagem do funcionamento do ARAS.....	27
Figura 22 – Análise da imagem pelo ARToolKit.....	31
Figura 23 – Imagem do ambiente visual C++	32
Figura 24 – Microcontrolador USB PIC 18F2550	33
Figura 25 – Arquitetura proposta do Sistema	33
Figura 26 – Diagrama em Blocos do Sistema	35
Figura 27 – Caso de Uso do Sistema PVVAC	36
Figura 28 – Use –Case “Ativar o ambiente de RV”	37

Figura 29 – Use –Case “Visualizar o campo no motor RV”	38
Figura 30 – Use –Case “Ativar o ambiente de RA”	38
Figura 31 – Use –Case “Visualizar o campo no motor Real”	39
Figura 32 – Protótipo em sua fase Inicial	40
Figura 33 – Motor Elétrico na fase inicial de modelagem	41
Figura 34 – Motor Elétrico modelado no Software 3ds Max	41
Figura 35 –Circuito de controle do protótipo	42
Figura 36 – Esquema do Circuito de Controle do protótipo	43
Figura 37 – Visão parcial do arquivo da modelagem do ambiente	44
Figura 38 – Motor Elétrico virtual com o campo magnético	45
Figura 39 – Motor Elétrico virtual desmontado	46
Figura 40 – Marcador cadastrado para uso do Protótipo.....	47
Figura 41 – Campo Magnético base do Protótipo	48
Figura 42 –Imagem Frontal e Lateral de um motor assíncrono	49
Figura 43 –Imagem do protótipo utilizado mais a placa controladora do sistema.....	50
Figura 44 – Menu de abertura do protótipo	51
Figura 45 – Ambiente Virtual em uso acionado pelo motor real através da protoboard	51
Figura 46 – Motor Virtual sendo desmontado em pleno uso para uma melhor visualização do Campo Magnético	52
Figura 47 – Visualização do Campo Magnético apenas no estator.....	53
Figura 48 – Motor Real sendo visualizado pela WebCam	53
Figura 49 – Inicialização do Campo Magnético em RA acionando-se o Motor Real.....	54
Figura 50 – Visualização II do Campo Magnético em RA	55
Figura 51 – Visualização III do Campo Magnético em RA	55
Figura 52 – Finalidade do protótipo	58
Figura 53 – Usabilidade do protótipo	59
Figura 54 – Funcionalidade do protótipo	59
Figura 55 – Interatividade do protótipo.....	60
Figura 56 – Passos para a realização de uma atividade no protótipo	61
Figura 57 – Controle sobre atividade do protótipo.....	62
Figura 58 – Visualização clara de execução do sistema no protótipo.....	63

Figura 59 – Aprendizado a visualização do campo magnético	64
Figura 60 – Controle do cenário de RV e RA do motor.....	65
Figura 61 – Uso da RA como ajuda na compreensão do experimento.....	66
Figura 62 – Uso da RV como ajuda na compreensão do experimento.....	67
Figura 63 – Opinião geral sobre uso do Sistema	67

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	- B idimensional
3D	- T ridimensional
API	- A pplication P rogramming I nterface
ARToolKit	- A ugmented R eality T ool K it
CC	- C orrente C ontinua
CA	- C orrente A lternada
MCA	- M otores de C orrente A lternada
MCC	- M otores de C orrente C ontinua
MI	- M otores de I ndução
CAD	- C omputer A ided D esign
GLU	- G raphic L ibrary U ser
GLUT	- G raphic L ibrary U ser T ool K it
GLX	- G raphic L ibrary E xtension
HMD	- H ead M onted D isplay
MATLAB	- M atematic of L aboratory
MIT	- I nstituto de T ecnologia de M assachusets
OpenGL	- O pen G raphics L ibrary
RA	- R ealidade A umentada
RV	- R ealidade V irtual
VRML	- V irtual R eality M odeling L anguage
USART	- U niversal S ynchronous and A ynchronous R eceiver T ransmitter
USB	- U niversal S erial B us
WWW	- W orld W ide W eb

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

A educação é uma área ampla que conta com a informática como ponto de apoio. O uso do computador pode propiciar condições para que o aluno construa o seu conhecimento. Neste contexto, a Realidade Virtual assume papel de importância no que se refere a novos métodos de aprendizado por meio da criação de ambientes de aprendizagem, capazes de prover uma melhor visualização e interação com assunto apresentado. Ferramentas de RV, destinadas a educação, favorecem a fixação de conteúdos a curto e longo prazo e criam uma nova forma individualizada de representação de conhecimentos, propiciando melhor tratamento das informações (PINHO, 2000)

A Realidade Virtual (RV) pode ser definida como uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais em tempo real (KIRNER, 1999). O objetivo dessa tecnologia é recriar ao máximo, a sensação de realidade para um indivíduo, levando-o a adotar essa interação como uma de suas realidades temporais. Já outra tecnologia que vem se despontando rapidamente é a Realidade Aumentada (RA) definida como uma combinação da visão do ambiente real com o ambiente virtual (BILLINGHURST, 2005), objetivando a criação de um sistema, tal que o usuário não consiga distinguir o mundo real do virtualmente aumentado. Para tanto, os elementos reais e virtuais necessitam ser alinhados corretamente, um em relação ao outro (AZUMA, 1997). A Realidade Virtual e a Realidade Aumentada são áreas relacionadas com novas gerações de interface do usuário, facilitando e potencializando as interações do usuário com as aplicações computacionais (CARDOSO et.al, 2007).

Entende-se que a Realidade Aumentada, enriquece o ambiente físico com objetos virtuais. Assim esta, foi beneficiada pelo progresso da tecnologia da computação, tornando viável aplicações desta tecnologia, tanto em plataformas sofisticadas quanto em plataformas populares. Então, diferentemente da Realidade Virtual, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a Realidade Aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, permitindo a interação com o mundo

virtual, de maneira mais natural e sem necessidade de treinamento ou adaptação (TORI, KIRNER & SISCOUTTO, 2006).

Com isso, as pesquisas em Realidade Virtual e Aumentada vêm crescendo consideravelmente, por meio de vários grupos de pesquisa, ligados à indústria, ao entretenimento e, principalmente à educação. Além disso, existem muitos estudos, soluções e implementações para possibilitar que mais de uma pessoa faça parte de um Ambiente Virtual (JING et al., 2005).

Neste contexto, a Realidade Virtual e Aumentada despontam como bons instrumentos de apoio à educação para criação de cenários imaginados, podendo resolver o problema de abstração de alguns conteúdos, pois é crescente a preocupação dos docentes com o insucesso dos alunos na aprendizagem.

1.1 Motivação

A Informática exige dos indivíduos um conjunto de habilidades que os permitem dominar processos cognitivos e práticos para que vivam em um mundo onde a adaptabilidade, flexibilidade e criatividade são habilidades essenciais (SILVA, 2001).

Segundo Silva (2001), o uso ou a incorporação das novas tecnologias da Informática e Telemática nos processos educativos têm implicações diversas e ainda representam um salto de dimensões desconhecidas. Estas vão além das questões pedagógicas e ultrapassam de longe os muros de uma escola ou de uma sala de aula. Com o uso da informática é possível estimular o raciocínio das pessoas, capacitando-as à resolução de situações de problemáticas complexas.

Este trabalho apresenta a usuários potenciais, uma aplicação da Realidade Virtual e Realidade Aumentada, aplicadas à uma sub-área do Eletromagnetismo e em particular, ao estudo do campo magnético em um motor de indução. Este tema é pouco explorado no que se refere à visualização 3D, então viu-se a necessidade de se poder utilizar tanto técnicas de RV quanto de RA como ferramentas de apoio ao aprendizado e para o estudo desse fenômeno. Diante disso, buscou-se criar um sistema que pudesse visualizar de um campo magnético em um motor de indução, visando ajudar na compreensão do formato do mesmo, e possibilitando aos seus usuários, utilizar técnicas de interação e imersão tanto no ambiente do motor Real e Virtual. Fazendo com que estes usuários pudessem reconhecer a formação da imagem de um campo magnético tanto em um motor virtual, quanto num motor real, atuando assim como uma ferramenta de aprendizado no estudo desse fenômeno e também para o apoio a

Educação. O sistema proposto chama-se PVVAC(Protótipo de Visualização Virtual e Aumentada do Campo Magnético).

A Realidade Virtual (RV) é, antes de tudo, uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características, a visualização de, e movimentação em, ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente (TORI, KIRNER & SISCOUTTO, 2006).

E dentro do contexto da Realidade Virtual, pode-se destacar Azuma (2001) o qual relata que a Realidade Aumentada (RA) é a inserção de objetos virtuais no mundo real por meio de um dispositivo computacional. Desta forma, a interface do usuário é aquela que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço (AZUMA, 2001).

1.2 Objetivos e Metas

Este trabalho tem como objetivo investigar o uso de técnicas de Realidade Virtual e Aumentada para contribuir para a visualização do campo eletromagnético a fim de auxiliar o ensino aprendido de máquinas elétricas. Pretende-se permitir que o usuário possa interagir com o sistema proposto, para que o mesmo possa conhecer como o campo magnético atua em um motor de indução monofásico, podendo ver o seu formato durante o seu surgimento, no qual o usuário pode optar pela visualização do campo no ambiente de RV ou então optar pela visualização do campo no ambiente de RA.

Para tanto as seguintes metas foram estipuladas:

1. Revisão Bibliográfica.
2. Propor uma arquitetura de sistema computacional para a visualização do Fluxo de Campo Magnético.
3. Escolher uma representação gráfica do Fluxo de Campo Magnético.
4. Montar a placa de comunicação protoboard com o microcontrolador PIC para a comunicação do Motor real com o mundo virtual (Motor e Campo Magnético Virtual).
5. Gerar o Fluxo de Campo Magnético Virtual em RV;
6. Construir o sistema proposto para a visualização do Campo através de RV e RA.
7. Gerar o Fluxo de Campo Magnético Virtual em RA;
8. Testar o sistema com usuários potenciais tais como professores e alunos.

9. Avaliar a performance do sistema através de questionário repassados aos usuários potenciais para análise do uso do mesmo.

1.3 Justificativa

Tradicionalmente, na bibliografia não é possível a visualização do Campo Magnético no formato 3D, pois grande parte das imagens referentes a este fenômeno físico são estáticas, sendo apresentadas em livros e revistas, o que na maioria das vezes acaba dificultando o aprendizado deste tema. Com isso a visualização do campo acaba se tornando motivo de controvérsias entre diferentes autores não se chegando a um consenso de como seria o real formato deste campo, gerando diferentes tipos de imagens que confunde muitas vezes as pessoas que estudam este fenômeno. Por isso as dificuldades que existem na visualização do campo magnético, geram alguns obstáculos para o seu aprendizado, o que faz com que este trabalho tenha um fator positivo de poder mostrar que a RV e a RA podem ser ferramentas que auxiliem a educação para facilitar nos estudos sobre campo magnético devido a boa interação e percepção existente entre o usuário e o sistema utilizado.

O ensino de máquinas elétricas é uma área promissora no que tange o uso de Realidade Virtual e Realidade Aumentada, pois as visualizações dos princípios básicos que envolvem esta área podem produzir resultados satisfatórios. Com isso tais tecnologias podem ser usadas como ferramentas de apoio ao ensino, pois a demonstração do fluxo do campo magnético em um motor, podem ser apresentados de uma maneira mais visual e interativa.

1.4 Organização da Dissertação

A presente dissertação consiste de 7 capítulos, incluindo a introdução, já apresentada:

O Capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho formado pela motivação, objetivos, justificativas, metas e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma visão geral sobre alguns conceitos de Engenharia relacionados aos Motores elétricos, Campo magnético, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Ensino.

O Capítulo 3 apresenta o estado da arte e o relacionamento desses com o uso da Realidade Virtual e Realidade Aumentada na construção do campo magnético, comparando suas estruturas, suas abrangências, potencialidades e limitações.

O Capítulo 4 apresenta-se uma análise do sistema proposto, descrevendo-se a arquitetura do sistema e seus módulos, e as tecnologias envolvidas.

O Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento do sistema, mostrando os detalhes de implementação do mesmo, bem como funcionamento do sistema para visualização do campo magnético.

O Capítulo 6 apresenta os resultados da avaliação e as limitações descobertas com a apresentação do protótipo, a um grupo de alunos do curso técnico de informática e eletrônica de um Órgão Federal (CEFET), e posterior questionamento sobre o aprendizado adquirido pelo uso do protótipo em relação ao estudo do campo magnético .

O Capítulo 7 apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

2 - FUNDAMENTOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA

2.1 Introdução

O uso da Informática em temas que envolvam a Educação vem a cada dia ganhando espaço em relação aos métodos tradicionais de ensino, haja vista o número enorme de sites que, com o formato 2D e 3D, buscam apresentar conceitos até então demonstrados de forma estática, fazendo com que o usuário possa interagir mais com os temas apresentados.

Este capítulo apresenta alguns dos conceitos que estão envolvidos diretamente com o desenvolvimento do trabalho, mostrando uma visão mais ampla destes elementos que influenciam na criação do protótipo, além de tratar dos conceitos fundamentais de Realidade Virtual e Aumentada necessários à compreensão do projeto proposto.

2.2 Máquinas elétricas (Motores)

A conversão eletromecânica de energia relaciona as forças elétricas e magnéticas com a força mecânica. Como resultado desta relação, a energia mecânica pode ser convertida em energia elétrica, e vice versa, através das máquinas elétricas (KOSOW, 1979).

As máquinas elétricas rotativas, quando operam como geradores, transformam energia mecânica em energia elétrica e por outro lado convertem energia elétrica em mecânica quando operam como motor (CALVERT,2001).

A bibliografia relativa ao assunto, apresenta vários tipos de motores, classificados em primeiro lugar pelo tipo de alimentação, ou seja, em corrente alternada(c.a) ou corrente contínua(c.c). A figura 1 a seguir relaciona os tipos mais comuns de motores elétricos.

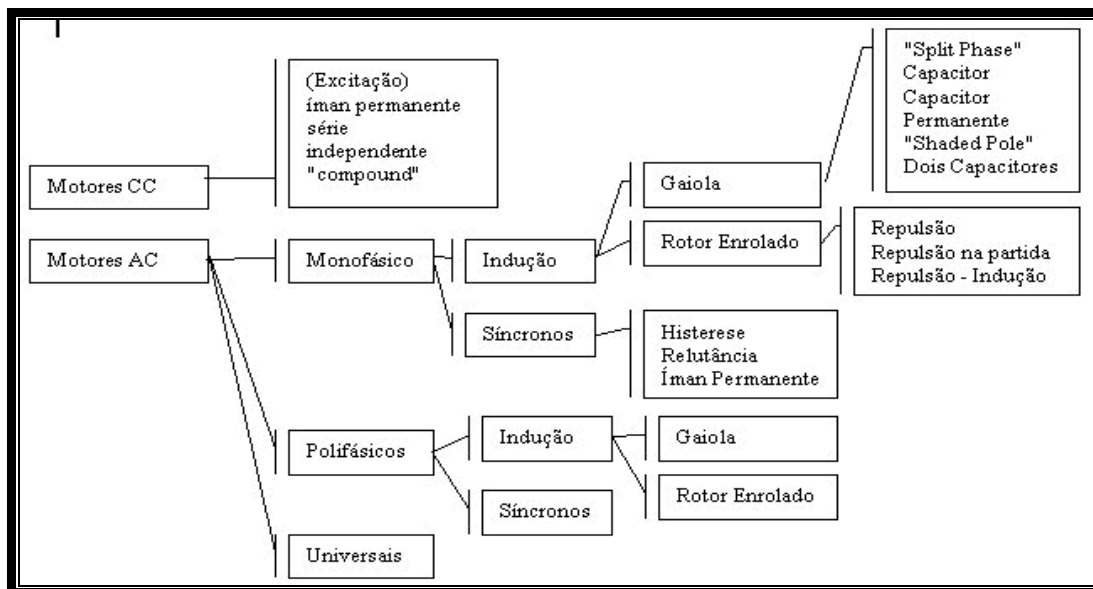


Figura 1 - Tipos de motores elétricos (UNIVERSIDADE DE COIMBRA- DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA, 2000)

Com o objetivo de diferenciar os dois tipos principais de motores, classificados de acordo com a alimentação, c.a ou c.c, descreve-se a seguir, de forma sintética seus princípios de operação.

Os motores de corrente contínua além do alto custo, necessitam de um retificador, para converter a tensão c.a da concessionária em tensão c.c para a sua alimentação. Esses motores tem como características um controle preciso de velocidade, desde baixas velocidade, como no caso da partida, até velocidades mais elevadas.

Na maioria dos MCC, o rotor (armadura) é um 'eletroímã' que gira entre os pólos de ímãs permanentes estacionários(campo). Para tornar esse eletroímã mais eficiente o rotor contém um núcleo de ferro, que se torna fortemente magnetizado, quando a corrente flui pela bobina. O rotor girará desde que essa corrente inverta seu sentido de percurso cada vez que seus pólos alcançam os pólos opostos do estator.

Esses motores caracterizam-se principalmente por sua versatilidade. Por meio das diversas combinações de ligações dos enrolamentos de campo, excitados em derivação, série ou independentemente, elas podem ser projetadas de modo a apresentar uma ampla variedade de características de tensão versus conjugado, para operações dinâmicas e em regime permanente (FITZGERALD, 2006). Podem ainda operar numa ampla faixa de ajuste de velocidade e apresentam facilidade e precisão de controle. Essa versatilidade em conjunto com a relativa simplicidade dos seus sistemas de acionamento, irá assegurar o seu uso continuado em uma ampla variedade de aplicações (FITZGERALD, 2006).

No entanto, os motores de corrente contínua (MCC) exigem manutenção constante devida a presença de alguns dispositivos como os comutadores e as escovas, o que aumentam substancialmente os custos de manutenção, além das limitações para aplicação em atmosfera explosiva. Devido a essas desvantagens os motores de corrente alternada (MCA) vêm ocupando o espaço onde anteriormente era ocupado pelos motores de corrente contínua (MCC).

O mais comum dos MCA que se tem conhecimento são os de indução. Neles, as correntes são induzidas nos enrolamentos do rotor por meio da combinação da variação, no tempo, de correntes no estator e do movimento do rotor em relação ao estator (FITZGERALD, 2006). O motor de indução funciona normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos.

Na literatura ainda são apresentadas outros tipos de máquinas elétricas, entre eles o motor síncrono e o motor à relutância variável. O motor síncrono funciona com velocidade estável; utiliza-se de um induzido que possui um campo constante pré-definido e, com isso, aumenta a resposta ao processo de arraste criado pelo campo girante. É geralmente utilizado quando se necessita de velocidades estáveis sob a ação de cargas variáveis. Também pode ser utilizado quando se requer grande potência, com torque constante.

Outro tipo de motor de corrente alternada é o de relutância. O motor de relutância é normalmente considerado e inserido no grupo de máquinas elétricas especiais e uma das suas principais características são pólos salientes. Se o rotor de qualquer motor monofásico de indução, de circuito magnético uniformemente distribuído, for alterado de modo que as laminações tendam a produzir pólos salientes no rotor, a relutância do caminho do fluxo através do entreferro será maior onde não haja condutores embebidos nas ranhuras. À medida que se aproxima da velocidade síncrona, o torque de relutância é suficiente para fazer o motor entrar em sincronismos com o campo pulsante monofásico.

2.2.1 Máquinas Assíncronas

A máquina de indução assíncrona funcionará normalmente como motor de indução se a armadura é ligada a uma fonte monofásica ou polifásica CA. Os motores de indução monofásicos requerem dispositivos auxiliares para a partida, mas os motores de indução polifásicos são inerentemente motores com partida própria, ou seja, que têm torque de partida (KOSOW, 1979).

2.2.1.1 Princípio de Funcionamento

Como o interesse desse trabalho está focado nas máquinas assíncronas, nesse item é feito uma breve explanação sobre o princípio de funcionamento dessas máquinas. O princípio de operação de qualquer máquina CA está na interação entre o campo magnético girante criado pelas correntes do estator com um campo magnético oposto, induzido no rotor ou produzido (garantido) por fontes de corrente contínua. A interação entre esses dois campos produz o conjugado. (KOSOW, 1979).

2.2.1.2 Produção de Campo Girante

Em qualquer instante de tempo o campo magnético produzido por uma fase particular depende da corrente que flui nessa fase. Se a corrente é nula o campo magnético também será nulo. Em contrapartida se a corrente está em seu valor máximo, o campo resultante também apresentará um valor máximo. Visto que as correntes num sistema trifásico são adequadamente defasadas de 120° , o campo magnético também será defasado de 120° . Esses três campos irão se combinar, produzindo um único campo magnético que atuará no rotor. Em um motor de indução o campo magnético é induzido no rotor com polaridade oposta àquele produzido no estator. Portanto, como o campo magnético gira no estator na frequência da rede, ele gira também no rotor para manter o alinhamento entre os campos do estator e rotor. (KOSOW, 1979; FITZGERALD, 2006).

2.2.1.3 Motores de Indução

O motor de indução (MI) é praticamente o tipo de máquina de corrente alternada mais utilizado em aplicações industriais. Isso se deve principalmente à sua simplicidade construtiva e custos relativamente baixos. A razão disso é que o rotor das máquinas de indução é robusto e não necessita de conexões externas, tal como nas máquinas de corrente contínua. O rotor do MI é feito de material ferromagnético laminado, sendo o tipo mais comum o rotor gaiola de esquilo, onde são inseridas barras de cobre curto-circuitadas em suas extremidades.

A figura 2 mostra as principais partes de um motor de indução.

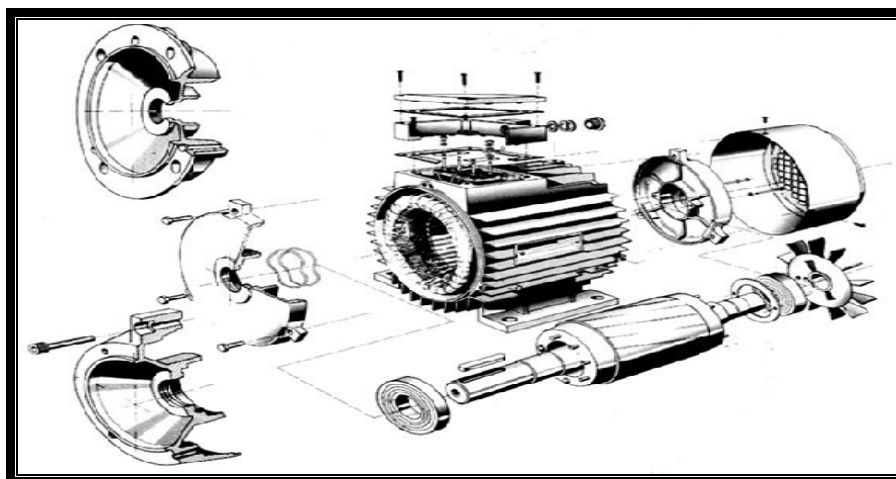


Figura 2 – Componentes de um Motor de Indução (UNIVERSIDADE DE COIMBRA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA – 2000)

2.2.1.4 Motores de Indução Monofásicos

Os motores monofásicos são assim chamados porque os seus enrolamentos do estator são ligados diretamente a uma fonte monofásica. Os motores de indução monofásicos são a alternativa natural aos motores de indução polifásicos, nos locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, como residências, escritórios, oficinas e em zonas rurais.

Há numerosas instalações industriais e residenciais para as quais a alimentação de energia elétrica é feita apenas através de sistemas monofásicos CA. Além disto, em todas as instalações há, normalmente, necessidade de motores pequenos que, operando a partir de redes monofásicas, acionam várias máquinas, como sejam, máquinas de costura, furadeiras, aspiradores, condicionadores de ar, etc. Genericamente, o termo “motor pequeno” significa um motor de menos de 1HP, isto é, um motor de potência fracionária, e a maioria dos motores monofásicos é, na verdade, de motores de potência fracionária. Mas os motores monofásicos são também construídos nos tamanhos correspondentes às potências inteiras: 1.5,2,3,5,7.5,10 HP para redes monofásicas de 115V ou 230V, ou mesmo 440V para as unidades de 7.5,10 HP (KOSOW, 1979).

O rotor de qualquer motor de indução monofásico é do tipo gaiola e não há ligações físicas entre o rotor e o estator, havendo, isto sim, um entreferro uniforme entre eles. As ranhuras do estator são uniformemente distribuídas e normalmente utiliza-se um “enrolamento-parcial” monofásico, imbricado de dupla camada. Um enrolamento monofásico “simples” não produziria campo magnético girante nem torque de partida. É necessário, portanto, modificar ou dividir o enrolamento do estator em duas partes, cada uma delas

deslocada no espaço e no tempo do estator e de impedâncias diferentes. Assim há dois enrolamentos, em paralelo, ambos ligados à mesma fonte CA monofásica (KOSOW, 1979).

A figura 3 nos mostra um modelo de estator utilizado em motores de indução monofásico.

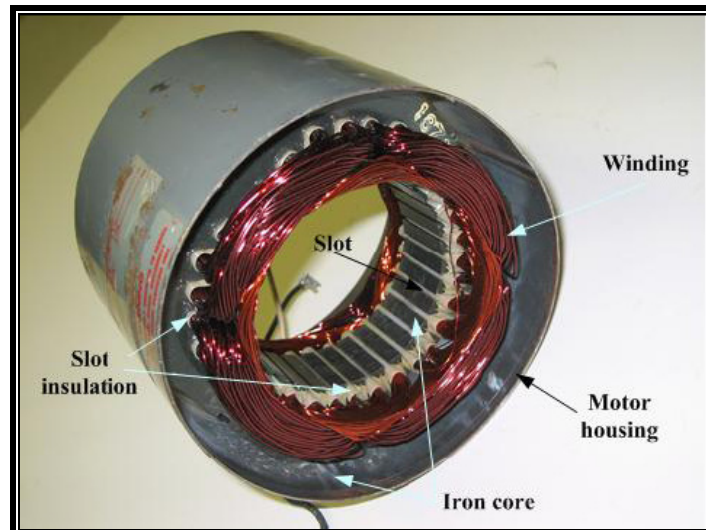


Figura 3 – Estator utilizado em Motor de Indução Monofásico (MARQUES, 2005)

O enrolamento monofásico distribuído (e, na verdade, o enrolamento de qualquer fase) tenderá a produzir um campo magnético resultante do enrolamento principal distribuído em volta do estator de um motor CA monofásico, tendo o sentido instantâneo da esquerda para direita. Uma vez que a corrente neste campo varia senoidalmente com a tensão monofásica aplicada, ela produzirá um campo concentrado da direita para esquerda a 180° , que é o campo pulsante. A figura 4 nos mostra a constituição de um motor indução monofásico.

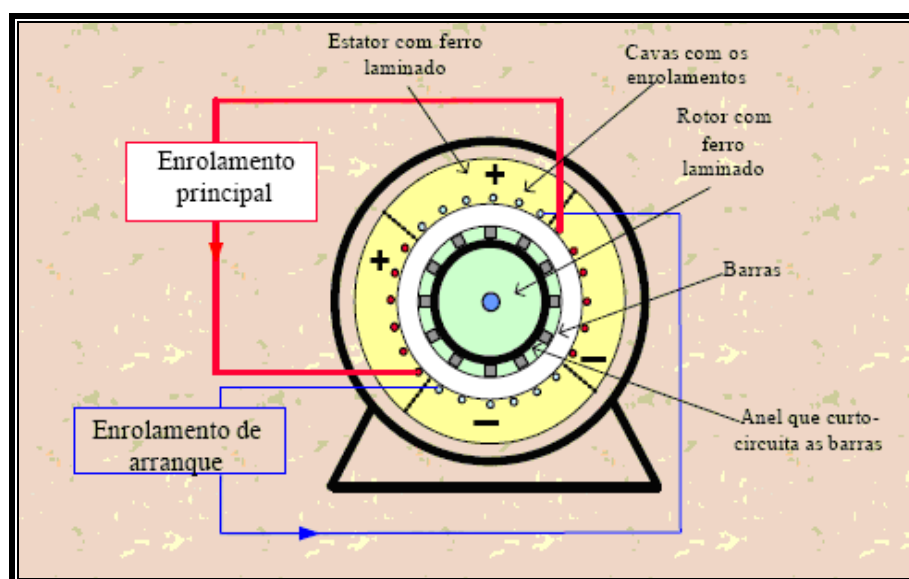


Figura 4 – Constituição de um Motor de Indução Monofásico (MARQUES, 2005).

Por terem somente uma fase de alimentação, não possuem um campo girante como os motores polifásicos, mas sim um campo magnético pulsante. Isto impede que tenham binário de arranque, tendo em conta que no rotor se induzem campos magnéticos alinhados com o campo do estator. Para solucionar o problema de arranque utilizam-se enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário para o arranque (NOLL, 2006).

O campo pulsante é um campo relativamente estacionário. Contrariamente ao motor de indução polifásico, portanto, a frequência do rotor, relativa à fem de velocidade, induzida nos condutores de um motor em funcionamento, é elevada, ocorrendo o mesmo com a reatância do rotor. O campo pulsante, em quadratura, do rotor reage contra o campo pulsante principal para produzir um campo magnético resultante. (KOSOW, 1979).

A figura 5 nos mostra a decomposição de um campo pulsante.

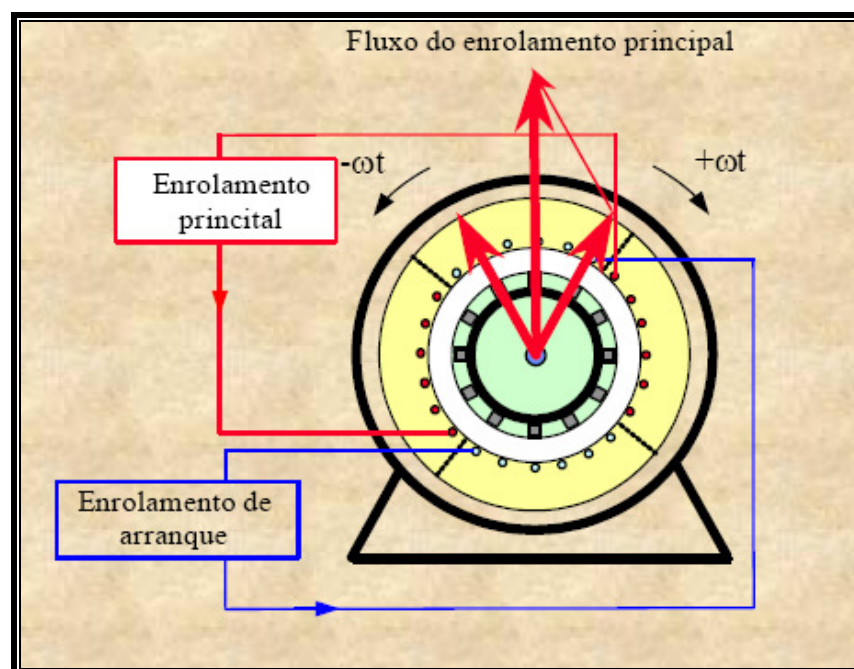


Figura 5 – Decomposição de um campo pulsante (MARQUES, 2005).

2.2.3 Campo magnético

Os elétrons giram em torno do núcleo dos átomos (chamada de eletrosfera). Há diversas camadas de elétrons, e em cada uma, os elétrons se distribuem em orbitais e regiões onde executam a rotação, distribuídos aos pares. Ao rodarem em torno de si, os elétrons da camada mais externa produzem um campo magnético mínimo, mas dentro do orbital, o outro elétron do par gira também, em sentido oposto, cancelando este campo, na maioria dos materiais. Porém nos materiais imantados (ferromagnéticos) os chamados ímãs artificiais,

nota-se que o seu contato com limalhas de ferro fazem com que as mesmas se aderem as extremidades deste, essas extremidades são chamadas de pólo. A parte do imã que se volta para o norte geográfico é conhecido como pólo norte, e a parte que se volta para o sul geográfico são chamados de pólo sul. A região do espaço que envolve os imãs é denominada campo magnético. Sua representação é feita através de linhas de indução que são linhas imaginárias fechadas que saem do pólo norte e entram no pólo sul (BONJORN& RAMOS, 2001).

A variação do fluxo magnético pode resultar se aplicada a um condutor, na movimentação de cargas e no aparecimento, por conta desta movimentação, de um campo elétrico no interior do mesmo (fenômeno conhecido por indução eletromagnética, mecanismo utilizado em geradores elétricos, motores e transformadores de tensão). De forma equivalente, a movimentação de cargas elétricas em um condutor é fonte de campo magnético. (SILVA, 2008).

2.3 Realidade Virtual

O termo Realidade Virtual (RV) foi cunhado no final da década de 1980 por Jaron Lanier, artista e cientista da computação que conseguiu convergir dois conceitos antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca da fusão do real com o virtual (TORI & KIRNER, 2006, p. 11).

Como se vê, apesar de ser relacionada com tecnologia computacional de ponta, a Realidade Virtual não é uma área de pesquisa tão recente quanto possa aparecer, nem estrita a profissionais da computação (TORI & KIRNER, 2006, p. 10-11).

A introdução de interação entre usuário e aplicação por meio de elementos gráficos exibidos numa tela foi comprovada em 1963, com o trabalho de doutorado de Ivan Sutherland, no MIT (PINHO, 2000). A figura 6 representa o *Head-mounted display* criado por Ivan Sutherland.



Figura 6. Head-mounted criado por Ivan Sutherland (PIMENTEL 1995)

A Realidade Virtual envolve tecnologias revolucionárias para o desenvolvimento de aplicações, em função de novas possibilidades que oferece para interfaceamento com o uso de dispositivos multi-sensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão no contexto da aplicação e interação em tempo real (CARDOSO et. al., 2007).

A Realidade Virtual nos permite entrar em um mundo em que muitas vezes, jamais estaremos na vida real, talvez, por ser um lugar muito longe, ou um lugar muito pequeno ou grande demais para ser explorado, ou até mesmo inexistente. A potencialidade da Realidade Virtual está no fato de permitir a exploração de alguns ambientes, objetos ou processos por meio da análise virtual e manipulação do próprio alvo do estudo. Nestes termos pode-se categorizar RV essencialmente em duas frentes: Realidade Virtual Imersiva (acesso ao ambiente virtual sem se isolar do mundo real) e Realidade Virtual Não-Imersiva (sistemas capazes de imergir completamente o usuário no mundo virtual).

Além desses dois principais tipos, outras formas comuns também podem ser citadas, como a Tele presença, Realidade Mista, Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada (KIRNER, 2005).

2.3.1 Realidade Virtual Aplicada a Educação

A Realidade Virtual vem sendo aplicada em diferentes áreas de conhecimento, como uma forma inovadora de geração de interação homem-computador (TORI, KIRNER & SISCOOTTO, 2006, p. 305).

Devido às potencialidades visualizadas pela RV, a diversidade de aplicações suportadas por esta tecnologia surge, naturalmente, em grande escala. Áreas como jogos, educação, medicina e engenharia têm sido profundamente explorados nos últimos anos (CARDOSO, et al, 2007, p. 4).

O uso de Realidade Virtual aplicada a educação está sendo intensamente trabalhado. Atualmente, as pesquisas vão à direção de como avaliar se a Realidade Virtual de fato é útil para o processo, quais seus custos, suas implicações e possíveis desvantagens.

Os indivíduos possuem maneiras diferentes de aprender, alguns preferem explorar o conteúdo, outros preferem aulas visuais, outros por formas verbais. Dentro de cada maneira pode-se aplicar o uso da Realidade Virtual.

A Realidade Virtual pode ser usada para materializar informações de uma forma mais fácil para pessoas que tem problemas em assimilar um conteúdo, como por exemplo, na matemática pode-se fazer um aluno "caminhar" sobre uma superfície que representa uma equação e a partir disto fazê-lo compreender conceitos como curvatura, ponto de inflexão, etc.

Na figura 7 se apresenta um ambiente virtual de química onde aparece a membrana de uma folha, em que se está sendo estudado os efeitos da fotossíntese na mesma, mostrando assim a Realidade Virtual como forma de auxiliar ao processo de aprendizado (FREITAS, 2007).

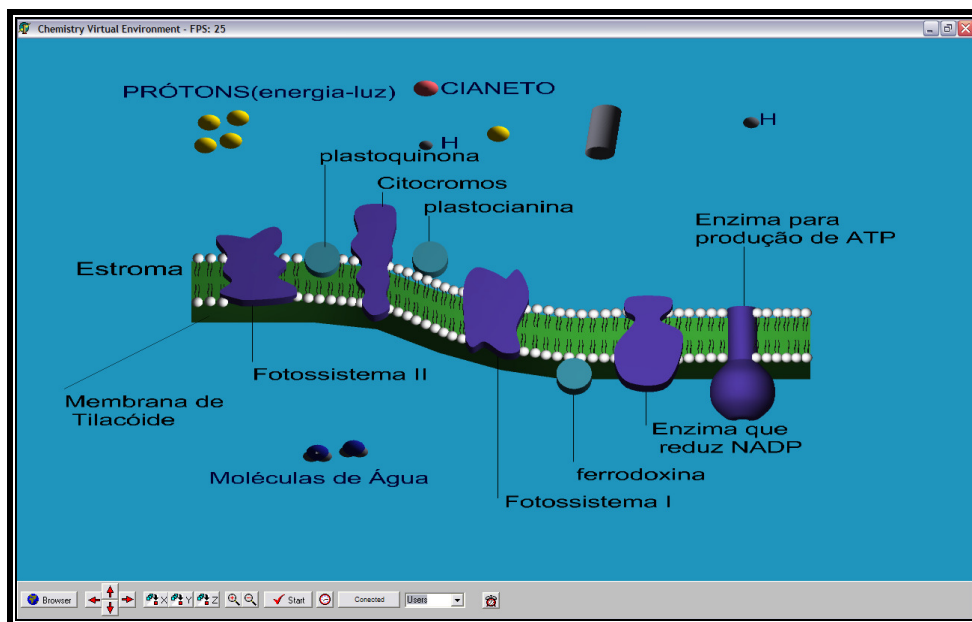


Figura 7 – Ambiente Virtual de Química (RIBEIRO, 2006)

2.4 Realidade Aumentada

Segundo Azuma (1997), a Realidade Aumentada (RA) pode ser definida como uma área de pesquisa que pretende desenvolver mundos que combinem o mundo real observado pelo usuário, com uma cena virtual gerada por computador e que aumente o mundo real com informação adicional. Utilizando a tecnologia de RA é possível desenvolver um sistema que permita integrar imagens reais e virtuais, oferecendo ao usuário a possibilidade de interação com os elementos presentes no ambiente.

Na figura 8 é demonstrado o uso do RA baseado em um monitor.



Figura 8 - Sistema de Realidade Virtual baseado em ambiente virtual em um monitor (AZUMA, 1997).

A RA pode ser definida como a amplificação da percepção sensorial por meio de recursos computacionais. Assim, associando dados computacionais ao mundo real, a RA permite uma interface mais natural com dados e imagens geradas por computador (CARDOSO, et. al., 2007). Desta forma, entende-se que um sistema de Realidade Aumentada deve prover ao usuário condições de interagir com estes dados e forma natural.

Realidade Aumentada é definida usualmente como a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais, gerados por computador, com um ambiente real, por meio de algum dispositivo tecnológico (MILGRAM, et. al., 1994). Entretanto, esta conceituação é muito geral e só fica clara com sua inserção em um contexto mais amplo: o da Realidade Misturada. A figura 9 apresenta o diagrama de Realidade e Virtualidade contínua.



Figura 9- Diagrama de Realidade e Virtualidade contínua (MILGRAM, 1994).

A Realidade Aumentada, hoje é aplicada como ferramenta de visualização, nas mais variadas áreas do conhecimento, como visualização médica, simulação, jogos, engenharia e podendo também ser aplicada na área educacional, onde se poderá mostrar visualmente e com

a interação do usuário, novas metodologias de ensino, para se alcançar o melhor aprendizado possível por parte dos alunos e usuários de sistemas de RA, como o apresentado na figura 10.

O sistema apresentado permite estimular o ensino de regras do trânsito a crianças de 1ª a 4ª série do ensino básico (CHAGAS & CARDOSO, 2006).

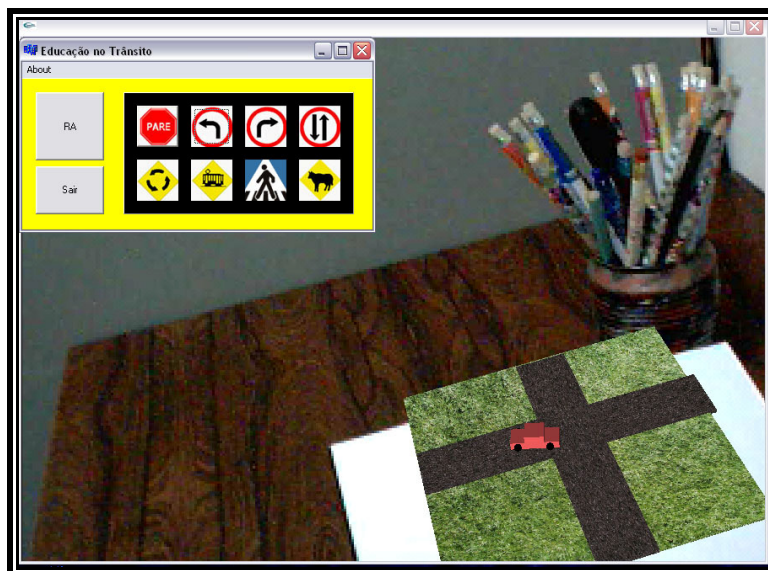


Figura 10 – Sistema de ensino de legislação no trânsito usando RA (CHAGAS, CARDOSO, 2006)

Assim, de acordo com Cardoso et. al. (2007) uma das características mais importantes de Realidade Aumentada é a modificação no foco da interação homem computador.

Com o uso da RA, a interação não se dá com um único componente e/ou elemento localizado, mas com o ambiente que circunda aquele que interage. Neste sentido, Realidade Aumentada faz uso da combinação de Realidade Virtual e Mundo Real, propiciando a melhoria da percepção do usuário e sua interação (CARDOSO, et. al., 2007).

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados alguns fundamentos de Engenharia, Motores e Campo Magnético, fundamentais no desenvolvimentos do trabalho, além das tecnologias utilizadas para que esses fundamentos possam ser utilizados de uma maneira proveitosa durante a criação do protótipo. Além disso os conceitos vistos neste capítulo são essenciais para o bom entendimento deste trabalho, sendo um capítulo que nos mostra também uma descrição de RV e RA.

CAPÍTULO 3

3 - TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 Introdução

Este capítulo tem o intuito de mostrar a avaliação de alguns softwares de RV e RA, verificando suas aplicações, limitações, processos de interação, e suas potencialidades como forma de auxiliar na concepção do protótipo proposto.

3.2 Sistema de Experiências Físicas Instrucional em Realidade Virtual – SEFIRV

Este trabalho descreve um sistema computacional elaborado para ser ferramenta de ensino de Física do Ensino Médio, com uso de técnicas de Realidade Virtual. Por meio de estratégias psico-pedagógicas, fundamentadas no paradigma de Mapas Conceituais, o sistema simula um laboratório virtual que permite ao estudante construir seu conhecimento através da criação e análise de experimentos físicos. Este software foi desenvolvido por meio de Realidade Virtual (RV) não imersiva com o uso das linguagens VRML (Virtual Reality Modeling Language) e JavaScript. O sistema proposto possui uma interface simples, permitindo aos professores e alunos a manipulação fácil dos ambientes virtuais. Não há necessidade de conhecimentos técnicos relacionados à Informática e/ou sobre os conceitos de Física, porque foram criadas estratégias de navegação que orientam os aprendizes no processo de interação nos ambientes de aprendizagem.

A primeira estratégia é a criação de um conjunto de organizadores gráficos conceituais da grade curricular do ensino de Física, para facilitar o processo de navegação conceitual e estimular a aprendizagem. A segunda estratégia é criar o acesso às experiências virtuais de fenômenos físicos por meio dos nós conceituais dos organizadores gráficos. A terceira estratégia é o acesso aos mapas conceituais tutoriais nos ambientes virtuais das simulações. Na figura 11 apresenta-se a arquitetura do sistema.

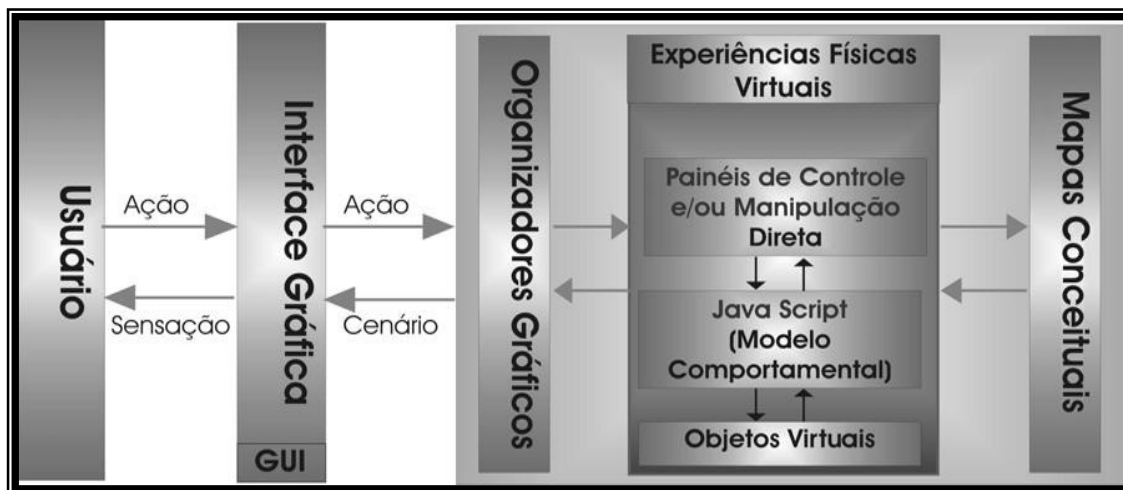


Figura 11 – Arquitetura do sistema SEFIRV (SILVA, 2006)

Como limitação, os ambientes de simulação possuem uma estrutura fixa, ou seja, não permitem ao usuário, de posse de um conjunto de objetos virtuais, construir diferentes experimentos. É permitido alterar propriedades de objetos virtuais, mas não inserir ou retirar objetos. Outra limitação observada é que, em alguns experimentos, os Ambientes Virtuais oferecem pouca manipulação direta de seus objetos, o que gera dependência do painel de controle. Na figura 12 apresenta-se a página de abertura do sistema.



Figura 12- Página de Abertura do SEFIRV (SILVA, 2006)

3.3 Conservação da energia elétrica em sistemas industriais: sob a óptica da realidade virtual

Este trabalho apresenta um sistema de bombeamento, baseado em técnicas de Realidade Virtual, para aplicação no estudo e análise da eficiência energética. A idéia básica é permitir que estudantes e profissionais da área de Engenharia Elétrica possam ter acesso a um ambiente virtual de um sistema motor elétrico-bomba. Com isso este sistema cria uma ferramenta de estudo de máquinas elétricas, a fim de mostrar ao usuário um sistema onde ele possa navegar e interagir com o seu objeto de estudo. A figura 13 mostra a bomba centrífuga modelada.

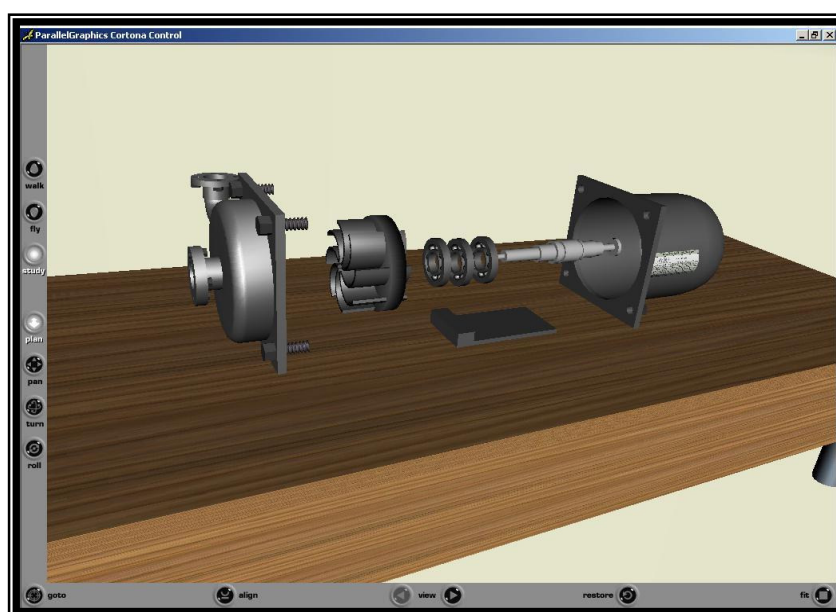


Figura 13 - Bomba Centrífuga Modelada (DELAIBA et .al, 2007).

Este sistema utilizou para a sua modelagem a linguagem VRML e para algumas animações e cálculos utilizou-se o Java script, que permitiu simular as alterações da carga no eixo do sistema de bombeamento. O usuário poderá, utilizando técnicas de RV, desmontar o motor ou a bomba tanto de forma pré-determinada, como arrastando cada parte integrante do objeto para uma região qualquer, permitindo que alunos e profissionais possam explorar o ambiente virtual (através de imersão e navegação) de forma bastante natural e intuitiva. O que se pode dizer que o este sistema em alguns momentos peca um pouco no quesito interatividade podendo suas funcionalidades ser um pouco mais descrito e orientado a usuários com pouco conhecimento da área.

3.4 Construção de um Sistema de Realidade Virtual - Sistema de monitoramento e controle utilizando-se um PIC

Neste trabalho desenvolvido por pesquisadores do curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia Mauá com ênfase em Computação, é apresentado o desenvolvimento de dispositivos e interfaces eletrônicos que controlam a interação do usuário com o mundo virtual, além da integração desses com o sistema de simulação. Permite a simulação de um passeio ciclístico utilizando a Realidade Virtual. Os sentidos do ciclista serão estimulados tanto pela visão como pela reação de um motor acoplado na roda traseira da bicicleta, que será o meio de navegação no mundo virtual. A figura 14 mostra a bicicleta utilizada no projeto de construção de um sistema de realidade virtual.



Figura 14 – Bicicleta do projeto com suporte de treino acoplado ao motor (SCHALCO et.al, 2007)

A utilização de um microcontrolador (PIC 16F877A) como elemento centralizador das principais funções do dispositivo de interação em Realidade Virtual, PIC16F877A é de essencial utilidade, pois é capaz de captar e controlar os dados dos sensores e do motor. O microcontrolador é interligado ao PC por meio da interface de comunicação (RS232 realizado pelo CI MAX232N).

Neste passeio ciclístico virtual, conforme a pessoa interage com mundo, o motor é acionado para aplicar mais ou menos força no pedal, simulando subidas e descidas, enquanto o HMD exibe duas imagens, levemente diferentes para cada olho, permitindo melhor percepção de profundidade. A figura 15 mostra o ponto de vista do usuário no sistema.



Figura 15 – Ponto de vista do usuário no sistema (SCHALCO et.al, 2007).

O sistema possui um alto custo como exemplo o uso do *Head Mounted Display* (HMD), por isso pode ser substituído por um monitor convencional, apenas para exibir uma imagem do mundo virtual. Além disso, à medida que se busca maior imersão do usuário no sistema, torna-se mais complexo o desenvolvimento da interface entre o usuário e o dispositivo de navegação no ambiente virtual, aumentando o custo da construção deste sistema. Assim, seria necessário utilizar outro microcontrolador.

3.5 Livro dos Sólidos Geométricos

O Livro de Sólidos Geométricos foi desenvolvido através do uso de RA com a finalidade de auxiliar alunos no aprendizado matemático (AKAGUI, 2004). Podendo desta forma ser utilizado por escolas do Ensino Médio.

Ao colocar o livro em frente a câmera e posicioná-lo de maneira que o marcador e a placa de controle fiquem visíveis no campo de captura da câmera, aparecerá o objeto virtual associado ao marcador. Quando a placa de controle é colocada no local especificado, imediatamente o objeto virtual do marcador mudará. O marcador pode disparar três vezes a mudança do objeto. O primeiro objeto é aramado, o segundo é sólido e o terceiro é sólido e tem movimentos de rotação conforme mostra a Figura 16.

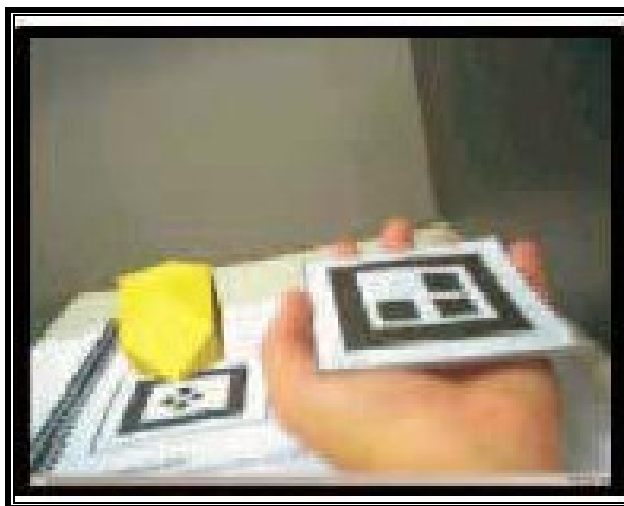


Figura 16 - Visualização de Poliedros. Fonte: (AKAGUI, 2004).

As principais características deste sistema são:

Vantagens- Os marcadores são dinâmicos, ou seja, as informações sobre um determinado marcador podem ser alteradas através da placa de controle.

Desvantagens- Utilização de um marcador especial como forma de placa de controle para que os ambientes virtuais não sofram variações com o decorrer do tempo;

3.6 Sistema de Medição de Movimentos por RA – SMMAR

Neste trabalho buscam-se adequar métodos e técnicas de Realidade Aumentada e Realidade Virtual, para suporte à Medição de Movimentos, que é a análise realizada pela concordância das observações com as medições de fenômenos físicos. Assim a partir disso com o uso de técnicas de RA se permitiu a inserção de objetos virtuais, como textos, imagens 2D, ou modelos 3D em imagens do ambiente real, para que a coleta de informações, tais como a velocidade e a aceleração, fossem feitas pela análise de imagens obtidas de um ambiente real e, ou de objetos em movimento. Tendo como base a utilização de um Air Track (Trilho de Ar), que abrange os princípios mecânicos e cinemáticos, se pôde aplicar as técnicas e os métodos estudados. Na implementação do sistema, utilizou-se a biblioteca ARToolKit, que permite o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada com suporte da linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language) utilizada para a modelagem dos objetos virtuais. A Figura 17 ilustra a representação da visão geral da comunicação entre as partes que compõem o sistema.

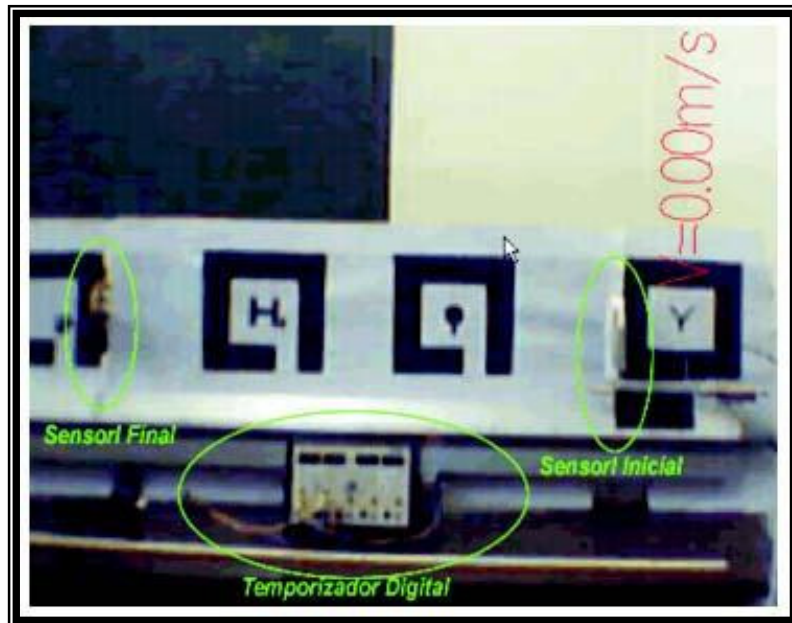


Figura 17 - Arquitetura do Sistema SMMAR (DUARTE, 2006).

As principais limitações detectadas foram referentes aos itens que dizem respeito às questões de iluminação, ângulos e rastreamento. Na iluminação observou-se que o excesso de luz ou a falta dela pode comprometer a detecção dos marcadores. Com relação a visão da câmera, para que a abrangência da imagem capturada pela câmera tome todo o experimento colocou-se a câmera a uma distância de 2 metros em relação aos marcadores, o que degradou a qualidade das imagens capturadas, podendo também afetar o rastreamento dos dados. A figura 18 mostra os sensores e o temporizador do SMMAR.

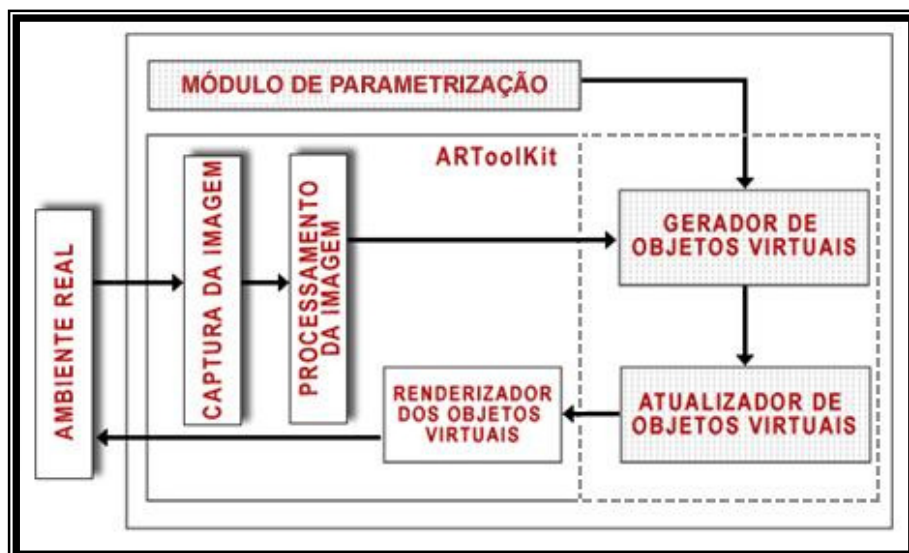


Figura 18- Sensores e Temporizador do SMMAR (DUARTE, 2006).

3.7 Service and Training through Augmented Reality - STAR

O STAR é um sistema de RA, desenvolvido por institutos de pesquisas europeus, como a Universidade de Genebra, e corporações americanas, como a Siemens. Segundo Badiqué e Raczyński (2002), o sistema foi projetado com finalidades industriais, permitindo que informações adicionais sejam observadas em tempo real. A informação varia de textos de ajuda simples à geometrias 3D complexas. Com a ajuda de técnicas de RA, é possível combinar estas informações de acordo com o movimento de câmeras. O resultado é uma extensão da realidade. O foco do sistema STAR é o treinamento, a documentação e o planejamento de projetos industriais. A figura 19 mostra uma imagem do funcionamento do sistema.

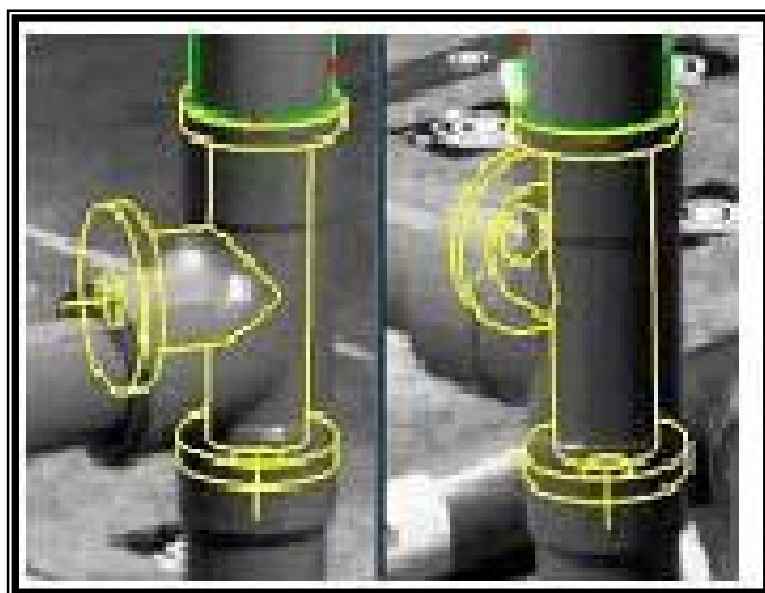


Figura 19- Imagem do funcionamento do sistema STAR (BADIQUÉ & RACZYNSKI, 2002)

A desvantagem deste sistema é a constante necessidade de participação de um perito que geralmente está em outro local diferente daquele onde o trabalho com o sistema está sendo efetuado. Isso ocorre geralmente para acréscimo de informações como imagens e textos, e essas informações são enviadas via rede ao laptop do trabalhador para que o mesmo decida que etapas executará em seguida, no trabalho que esteja realizando. Desta forma o processo se torna um pouco ocioso na sua conclusão.

3.8 O Sistema EIC-RA

O sistema EIC-RA (NUNES, 2005) é tipicamente um jogo quebra-cabeça comum, que após a escolha de um tema e da imagem a ser utilizada no jogo, a imagem é subdividida e

cada parte é texturizada sobre o modelo geométrico (cubo) em VRML, que é associado a um determinado marcador.

O objetivo desse sistema é estimular o raciocínio lógico-matemático e a inteligência espacial do usuário, aliado ao entretenimento, pois através da RA é possível estabelecer uma condição de interação que favoreça a motivação do usuário, a atenção e, principalmente, a retenção de informações, pois os mesmos podem estabelecer uma relação com os objetos disponíveis no ambiente virtual muito semelhante às situações reais.

A Figura 20 mostra o funcionamento deste sistema.



Figura 20: EIC: Quebra Cabeça (SISCOUTTO et. al., 2005).

Neste caso, as informações contidas em cada marcador são fixas, não havendo nenhum dinamismo na aplicação. As suas principais características são:

- **Vantagens** - Aumento da percepção do usuário;
- **Desvantagem** - Marcadores não são dinâmicos; Ambientes virtuais não se alteram.

3.9 ARAS - Augmented Reality Aided Surgery

Desenvolvido por Splechtna et al. (2002), ARAS é uma aplicação para ajudar o médico cirurgião em operações, indicando dados tomográficos e dados de ultra-som, como objetos 3D, desenhados na superfície (região de interesse) do paciente. O médico cirurgião tem a vantagem de uma visualização detalhada do órgão e de sugestões adicionais colocadas pelo radiologista, permitindo a localização exata da patologia. Não é citada nenhuma desvantagem quanto ao sistema, somente que o radiologista recebe as informações por um vídeo para analisar e retornar-las, o que não configura como fraqueza do sistema.

Este sistema apresenta aos profissionais de saúde uma forma de avaliar a situação do paciente, planejar ou definir a estratégia pré-operatória e possibilitar uma avaliação precisa dos resultados pós-operatórios conforme mostra a Figura 21.



Figura 21- Imagem do funcionamento do ARAS. (SPLECHTNA et al., 2002)

3.10 Considerações Finais

A Tabela 3.1 mostra algumas características dos sistemas estudados, destacando as características que interessam a pesquisa do sistema a ser proposto.

Tabela 3. 1 - Comparativa das características dos trabalhos relacionados.

Softwares	Uso de RV	Uso de RA	Comunicação Externa	Aplicado a Educação
SEFIRV	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Sistema de Bombeamento	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Sistema de monitoramento e controle utilizando-se um PIC	SIM	NÃO	SIM	SIM
Livro de Sólidos Geométricos	SIM	NÃO	NÃO	SIM
SMMAR	SIM	SIM	NÃO	SIM

STAR	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
EIC-RA	NÃO	SIM	NÃO	SIM
ARAS	NÃO	SIM	NÃO	SIM

Cada característica é melhor descrita abaixo.

- ✓ Uso de Rv – Utilização da Realidade Virtual no desenvolvimento e uso do software.
- ✓ Uso de Ra – Utilização da Realidade Aumentada para simulação do experimento.
- ✓ Apresentação dos resultados do Experimento- Demonstrar os resultados dos testes feitos com o experimento.
- ✓ Comunicação Externa– Integração entre o computador e o Engine físico, para simulação dos resultados.
- ✓ Aplicação a Educação – Uso do software para aplicações educacionais.

A análise dos trabalhos citados neste capítulo permite evidenciar algumas características relevantes à concepção de projetos de sistemas de simulação de movimentos. Analisando as características de cada sistema e considerando as características apontadas na Tabela 3.1 pode-se perceber que a maior parte deles não utiliza técnicas de Realidade Aumentada, ou faz uso da Pic. Entretanto, a maioria é voltado para educação, o que significa que a área de educação está em franca ascensão no uso dessas tecnologias. Com isso o Sistema proposto possui um diferencial em relação aos demais sistemas: permite a utilização tanto em Realidade Virtual quanto em Realidade Aumentada para a visualização do Campo magnético, e um mecanismo de comunicação externa para fazer a integração em tempo real entre o motor e o computador.

CAPÍTULO 4

4 - TECNOLOGIAS E A ARQUITETURA DO SISTEMA

4.1 Introdução

A partir do estudo realizado nos capítulos anteriores, elaborou-se uma arquitetura de sistema para o estudo da visualização do campo magnético em um motor de indução monofásico, voltado para o ensino e que permita ao usuário poder interagir com a formação deste campo em Realidade Virtual ou Aumentada. Neste contexto, a escolha fica por parte do usuário, pois este protótipo tem a finalidade de mostrar as principais formações do campo magnético em um motor real e também virtual criado especificamente para ser um parceiro no ensino-aprendizagem em relação aos métodos de estudo atuais. Bem como mostrar as tecnologias envolvidas no sistema.

O estudo também visa mostrar comunicação de um motor externo com o computador, e a partir da ativação das funções deste motor demonstrar a criação da RA no mesmo e também estender à utilização deste motor para a visualização da RV, utilizando o periférico de saída (Monitor de Vídeo), pretendendo assim, mostrar as potencialidades que a RV e a RA podem ter nas diversas áreas do conhecimento.

4.2 Tecnologias de Apoio

Neste trabalho, foram utilizadas tecnologias relacionadas com o desenvolvimento de soluções de RV não imersiva e RA de baixo custo, tais como:

- ✓ Opgl
- ✓ Biblioteca ARToolKit
- ✓ Visual C ++ 5.0
- ✓ Linguagem C PIC para configuração da PIC 18F2550.
- ✓ 3D S Max 5.0
- ✓ PIC

Essas tecnologias foram de fundamental importância para o desenvolvimento do sistema, pois permitia ao usuário através de uma interface externa, conhecida também como Engine

Físico, realizar a entrada de informações relacionados ao experimento, e transformá-lo em um resultado esperado na Realidade Aumentada, e também com a modelagem desse Engine Físico e a estruturação de suas funcionalidades, buscar comprovar esses resultados também na Realidade Virtual.

4.2.1 *OpenGL*

Atualmente, OpenGL é reconhecida e aceita como um padrão API(Application Programming Interface) para desenvolvimento de aplicações gráficas 3D em tempo real (RIBEIRO, 2006). Normalmente, se diz que um programa é baseado em OpenGL ou é uma aplicação OpenGL, o que significa que ele é escrito em alguma linguagem de programação que faz chamada a uma ou mais bibliotecas OpenGL (PINHO, 2004).

Por ser portátil, OpenGL não possui funções para gerenciamento de janelas, interação com o usuário ou arquivos de entrada/saída. Não existe um formato de arquivo OpenGL para modelos ou ambientes virtuais. A biblioteca GLUT (OpenGL Utility Library) é que fornece várias funções para modelagem, tais como superfícies quádricas, e curvas e superfícies NURBS (Non Uniform Rational BSplines)(WOO, 1999; WRIGHT, 2000). Essa biblioteca trabalha em conjunto com outra biblioteca chamada de GLUI (Graphic Library User Interface) que é uma biblioteca em linguagem C++ que provê ao usuário a criação de interfaces e também controles bem como, botões, caixa de textos e funções específicas que operam em conjunto para o desenvolvimento de aplicações em OpenGL.

4.2.2 *ArtoolKit*

O ARToolKit é uma biblioteca projetada em linguagem C que permite aos programadores desenvolver facilmente aplicações de RA. Uma das partes mais difíceis do desenvolvimento de uma aplicação em Realidade Aumentada é calcular precisamente o ponto de vista do usuário em tempo-real para que imagens virtuais estejam exatamente alinhadas com os objetos do mundo real.

Disponível gratuitamente no site do laboratório HITLAB da Universidade de Washington, o ARToolKit emprega métodos de visão computacional para detectar marcadores na imagem capturada por uma câmera. O rastreamento óptico do marcador permite o ajuste de posição e orientação para realizar a renderização do objeto virtual, de modo que esse objeto pareça estar “atrelado” ao marcador (KIRNER, 2008).

Desta forma, o ARToolKit trabalha com a biblioteca Gráfica OpenGL para a renderização dos objetos virtuais e para a criação da janela gráfica onde é mostrado os objetos virtuais da cena em Realidade Aumentada e, ainda, trabalha com as premissas do OpenGL quando se trata de criar interações, animações, transformações geométricas, iluminação e criação menus. A figura 22 mostra a análise da imagem pelo ARToolKit.



Figura 22: Análise da imagem pelo ARToolKit (KATO, BILLINGHURST ET AL., 2005).

4.2.3 Microsoft Visual Studio C++

O Microsoft Visual C++ é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) para as linguagens C, C++ e C++/CLI. Ele contém ferramentas para o desenvolvimento de software escritos especialmente para as APIs do ambiente Windows, para a API DirectX e para o .NET Framework. Foi neste ambiente que se desenvolveu a parte programável do sistema, onde a integração das ações a serem feitas pelo Engine Físico(Motor) em relação ao ambientes de RV e RA no computador foram criados. A figura 23 mostra a imagem do ambiente visual C++.

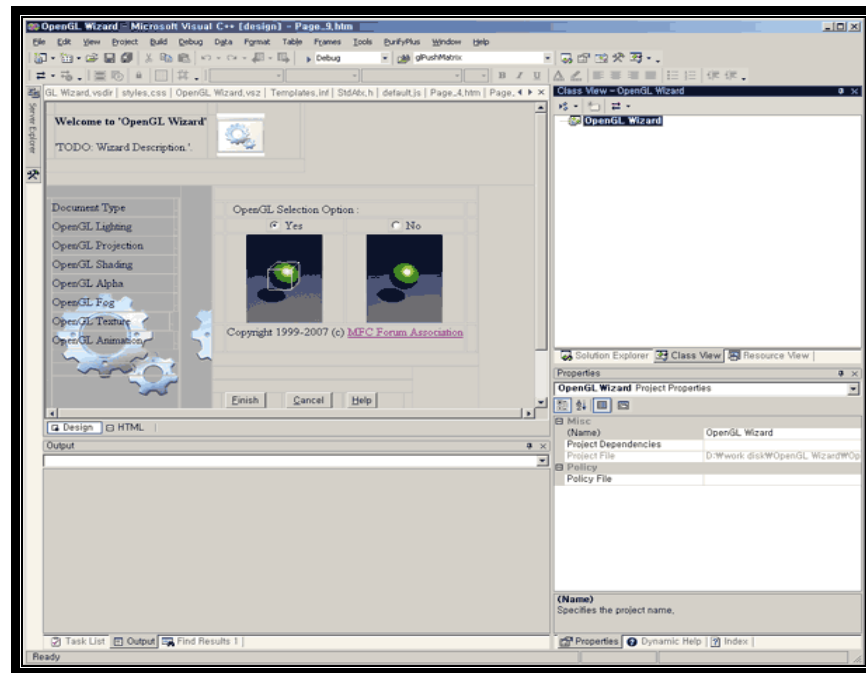


Figura 23: Imagem do ambiente visual C++.

4.2.4 Linguagem C

Foi utilizado o programa C para programação da PIC, que é microcontrolador responsável por ser o elo de ligação entre o Engine Físico(Motor), a placa de protoboard e seus dispositivos eletrônicos aonde se encontra a PIC , e o computador, onde este controle executado pela PIC, gera a comunicação entre o mundo real que está no Engine Físico e o Virtual que surgirá no ambiente do computador.

4.2.5 3Ds Max 5.0

Foi Utilizado o 3ds Max para a modelagem dos ambientes virtuais, e posterior exportação para biblioteca opengl, para finalização da modelagem com as interações.

4.2.6. PIC

O elemento central do projeto consiste de um PIC 18F2550 que atua como ponte entre o engine físico e os elementos sensores e atuadores. Dos elementos ligados diretamente ao protótipo, temos um potenciômetro para medir a velocidade imposta pelo motor nas suas variações. Tanto as informações lidas dos sensores como as enviadas ao motor são processadas pelo computador, ou seja, deve ser estabelecida uma comunicação através de uma porta USB, entre o PIC e o computador. A figura 24 mostra o modelo de PIC utilizado pelo sistema.



Figura 24 – Microcontrolador USB PIC 18F2550

4.3 Arquitetura Proposta do Sistema

A arquitetura do sistema proposto é feita de modo que o usuário não tenha problemas na interpretação dos passos a serem tomados para poder executar o protótipo em suas potencialidades. Na figura 25 é mostrado a visão geral da arquitetura do sistema:

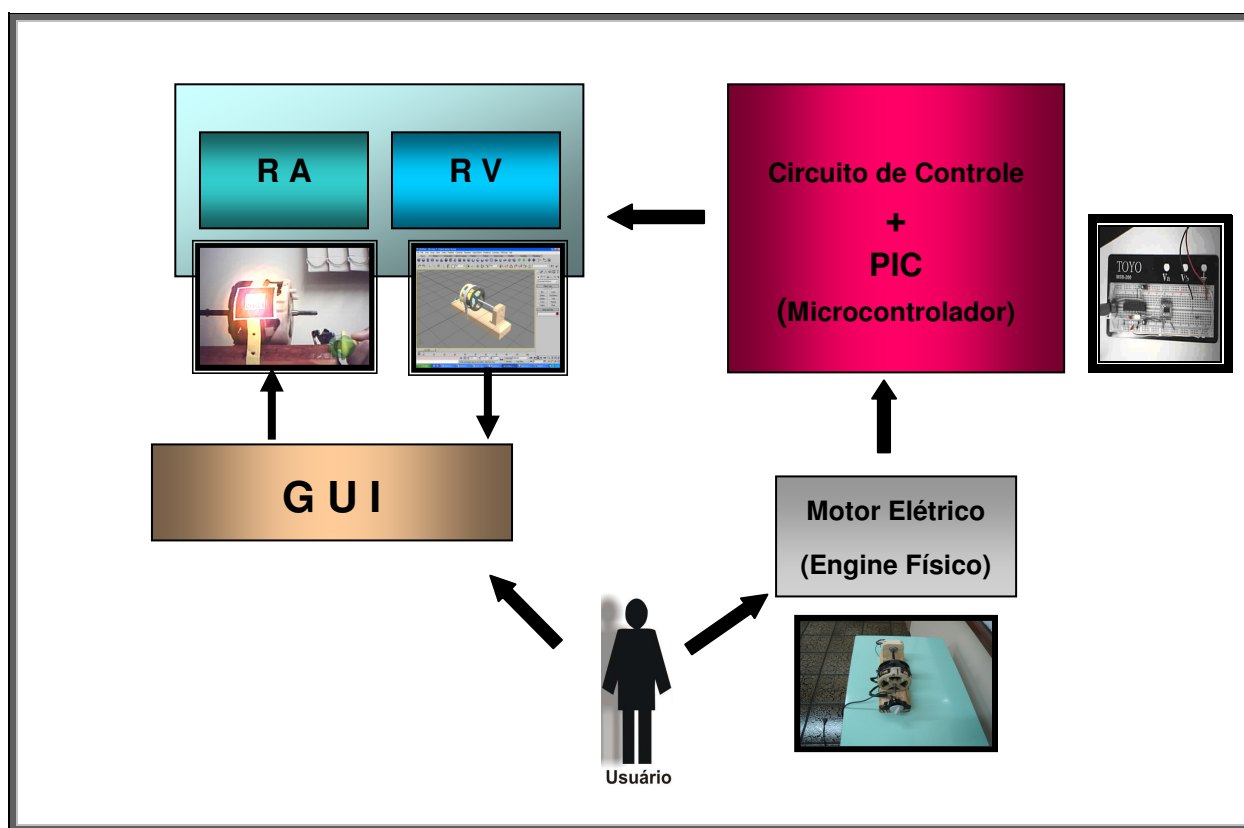


Figura 25: Arquitetura Proposta do Sistema.

- ✓ **Usuário** – Participante do processo de visualização do Campo Magnético, responsável por iniciar todo o uso do sistema, para obtenção de um resultado esperado, ou pelo menos satisfatório, no qual o mesmo tem a opção de escolha de visualização do Campo em Realidade Virtual ou Realidade Aumentada.
- ✓ **Engine Físico** - O Engine físico é o sistema responsável por processar as informações obtidas pela interação do usuário, adicionando-lhe os fenômenos físicos do mundo real. O motor CA que é a base real para o uso do experimento representa

esse sistema, pois envia dados para o sistema de controle (PIC) e para o sistema gráfico, fazendo com que o usuário possa perceber:

- A resposta dada pelo motor que acelera ou diminui a velocidade;
 - A representação do campo magnético no sistema gráfico;
 - As mudanças dos ângulos de Visualizações do Campo na RV;
 - O aparecimento do campo magnético, junto ao marcador no motor real.
 - Possibilidade de alteração on-line do motor RV para RA.
- ✓ **Circuito de Controle-** Placa controladora onde estão instalados os componentes eletrônicos necessários para a comunicação entre a placa, a PIC, o Engine Físico e o computador. São formados basicamente por transistores, diodos, capacitores, resistência entre outros.
- ✓ **PIC-** Microcontrolador responsável por servir como ponte entre o Engine físico e os elementos sensores e atuadores. Ele é considerado o elemento central do projeto pois a comunicação entre Engine e o computador, somado as interações que serão representadas no ambiente virtual, e ambiente real, terão que obrigatoriamente ter participação desse componente. PIC 18F2550.
- ✓ **GUI** - O módulo GUI - Interface Gráfica do Usuário foi uma nova camada desenvolvida no ambiente Borland C++ Builder e GLUT e que possibilita a comunicação do usuário com todos os outros módulos desenvolvidos. A utilização de componentes, tais como menus, botões, caixa de texto, permitem aos usuários a criação, inserção de marcadores e associação entre marcadores e objetos virtuais em VRML, possibilitando o desenvolvimento de aplicações em RA de forma mais rápida e intuitiva.
- ✓ **RV** - Realidade Virtual. É o ambiente de Realidade Virtual, onde será mostrado o motor virtual e as informações repassadas através da PIC pelo Circuito de controle que serão apresentadas no Ambiente Virtual, com as alterações feitas no motor real.
- ✓ **RA** – Realidade Aumentada. É o ambiente de Realidade Aumentada, onde será utilizado técnicas de RA para a visualização do campo magnético num marcador colocado em um motor real, e a comunicação entre o motor real e o computador, terá também a participação da PIC no gerenciamento desse processo.

4.4 Visão Geral do funcionamento do sistema com o diagrama de blocos

A figura 26 mostra uma visão geral do funcionamento do sistema através de um diagrama de blocos, onde são mostrados os passos principais para o funcionamento do protótipo, e o uso dos ambientes de RV e RA.

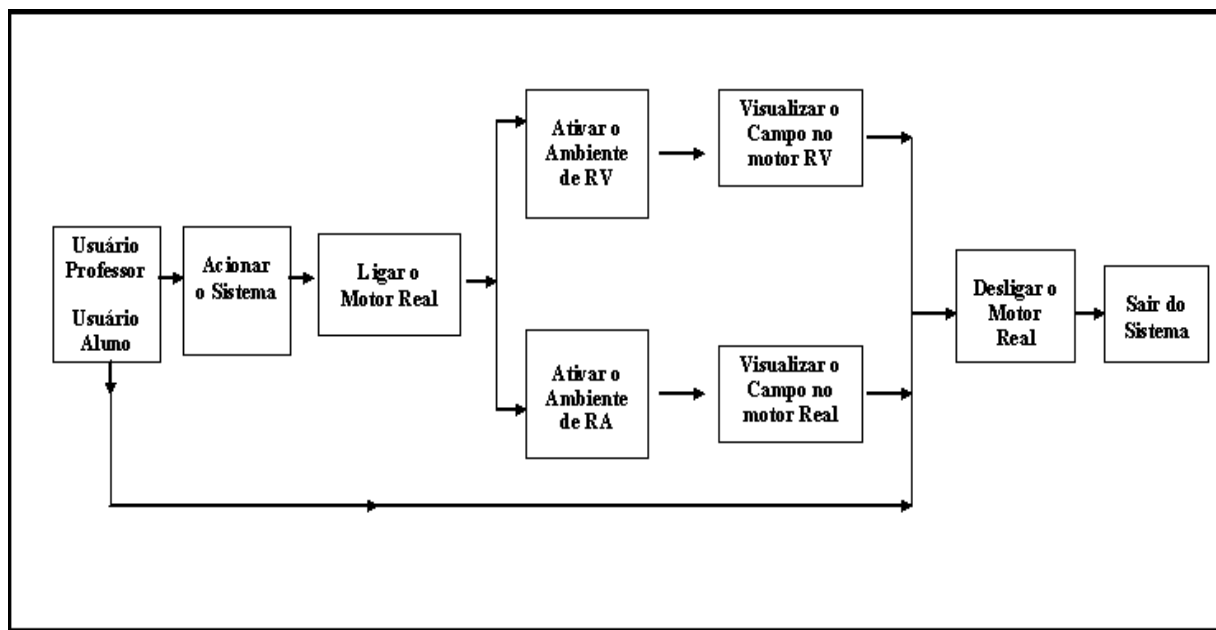


Figura 26- Diagrama em blocos do sistema

4.5 Considerações Finais

A arquitetura do sistema é formada pela comunicação da placa protoboard onde estão instalados e configurados os componentes eletrônicos com o microcontrolador PIC 18F2550 que é o elo entre o Engine Físico e o virtual, que será criado durante a execução do processo. Essa estrutura entra em funcionamento a partir do momento em que usuário através do computador entra no sistema e o deixa preparado, para a comunicação se iniciar através do contato entre a PIC /Engine/Computador através da interligação de uma interface USB para a troca de informações.

CAPÍTULO 5

5 - DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

5.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os detalhes de implementação do protótipo bem como as linguagens de programação, bibliotecas e modeladores geométricos de objetos gráficos, além dos casos de uso do sistema PVVAC (Protótipo de Visualização Virtual e Aumentada do Campo Magnético). Também será apresentado o funcionamento do sistema, juntamente com a descrição do estudo de caso usado.

5.1.1 Caso de Uso do Sistema PVVAC

A Figura 27 mostra o diagrama de Casos de Uso do sistema desenvolvido.

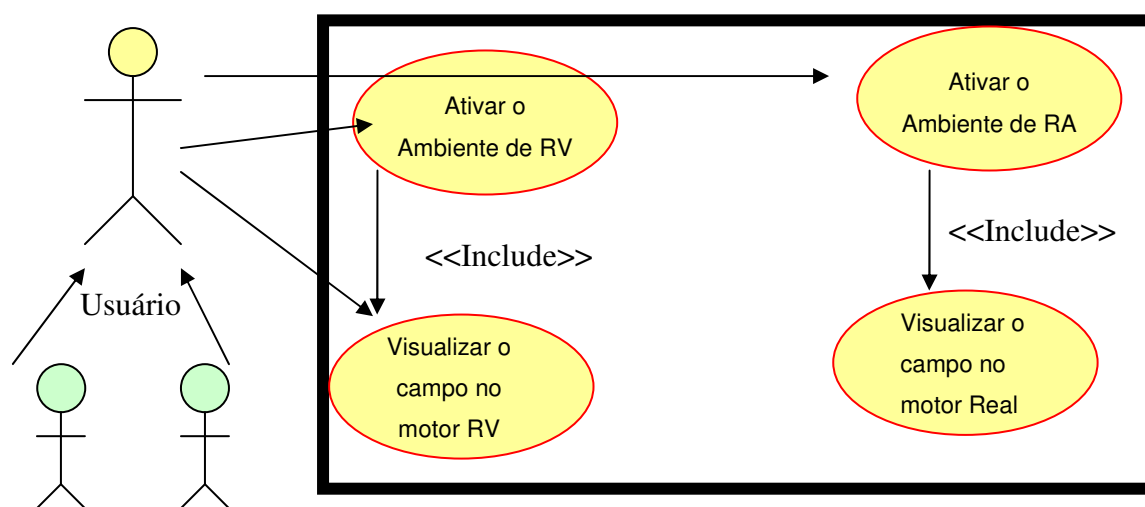


Figura 27: Diagrama de Use Case. (Visão Geral)

Tabela 5.1 - Relação dos Casos de Uso do Sistema PVVAC.

Func.	Nome da Funcionalidade	Relação dos Casos de Uso
1	Ativar o Ambiente de RV	Abertura do Ambiente de RV para a Interação
2	Visualizar o Campo no Motor RV	Visualização do Campo Magnético no

		Motor Virtual.
3	Ativar o Ambiente de RA	Abertura do Ambiente de RA para a Interação
4	Visualizar o Campo no Motor Real	Visualização do Campo Magnético no Motor Real.

A tabela nos mostra os passos a serem tomados pelos usuários quando os mesmos forem utilizar o sistema, nos quais são descritas os principais eventos que ocorrem durante o seu uso, destacando-se em primeiro lugar a ativação do ambiente de Rv que irá mostrar o ambiente virtual proposto do motor para a visualização e uso do ambiente por parte do usuário. A segunda funcionalidade da tabela e apresentar ao usuário a visualização do campo magnético virtual que irá aparecer a partir do acionamento do motor real no seu protótipo virtual. A terceira funcionalidade é para a ativação do ambiente de RA, que irá fazer com que o ambiente virtual ocupe espaço no ambiente real que é o motor real, onde a visualização do Campo Magnético em RA será visualizada a partir da quarta funcionalidade da tabela. Todas as relações dos casos de uso do sistema PVVAC serão demonstrados através de casos de usos de cada funcionalidade, descrevendo os atores envolvidos, pré-condição de uso do sistema, a descrição do caso, bem como a Pós-condição de uso do sistema.

5.1.2 Caso de Uso: Ativar o ambiente de RV.

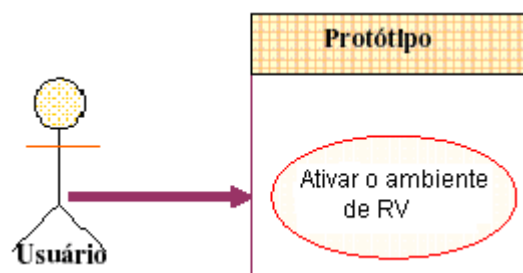


Figura 28: Use case: Ativar o Ambiente de RV.

Tabela 5.2 - Descrição do Caso de Uso ‘Ativar o ambiente de RV’.

Nome do Caso de Uso: Ativar o ambiente de RV	Funcionalidade: Abertura do Ambiente de RV para a Interação
Ator Envolvido: Usuário (Professor e alunos que irão trabalhar com o sistema).	

Pré-Condição: O motor real deverá estar interligado ao computador através da protoboard.
Descrição do Caso: Selecionar o ambiente de RV para ser trabalhado.
Pós-Condição: Comunicação estabelecida entre o protótipo e o computador.

5.1.3 Caso de Uso: Visualizar o campo no motor RV.

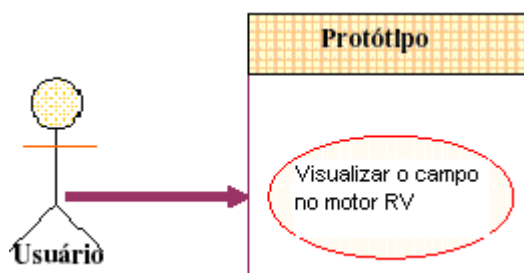


Figura 29: Use case: Visualizar o Campo no motor RV.

Tabela 5.3 - Descrição do Caso de Uso ‘Visualizar o campo no motor RV’.

Nome do Caso de Uso: Visualizar o campo no motor RV	Funcionalidade: Visualização do Campo Magnético no Motor Virtual.
Ator Envolvido: Usuário (Professor e alunos que irão trabalhar com o sistema).	
Pré-Condição: O sistema em RV deverá estar ativado no computador.	
Descrição do Caso: Ativar a visualização do campo no motor RV.	
Pós-Condição: Visualização do campo magnético virtual no motor em RV.	

5.1.4 Caso de Uso: Ativar o ambiente de RA.

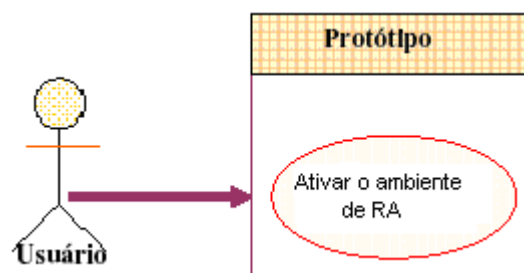


Figura 30: Use case: Ativar o ambiente de RA.

Tabela 5.4 - Descrição do Caso de Uso ‘Ativar o ambiente de RA’.

Nome do Caso de Uso: Ativar o ambiente de RA	Funcionalidade: Abertura do Ambiente de RA para a Interação
Ator Envolvido: Usuário (Professor e alunos que irão trabalhar com o sistema).	
Pré-Condição: O motor real deverá estar interligado ao computador através da protoboard.	
Descrição do Caso: Selecionar o ambiente de RA para ser trabalhado.	
Pós-Condição: Uso do ambiente de Realidade Aumentada pertencentes ao Protótipo.	

5.1.5 Caso de Uso: Visualizar o campo no motor Real.

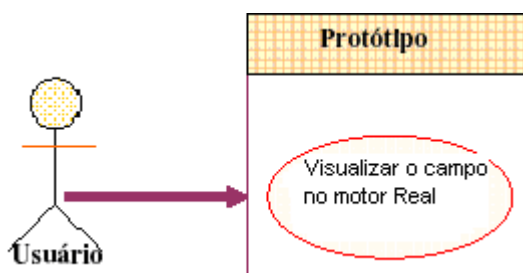


Figura 31: Use case: Visualizar o campo no motor Real.

Tabela 5.5 - Descrição do Caso de Uso ‘Visualizar o campo no motor real’.

Nome do Caso de Uso: Estabelecer o modo de interação	Funcionalidade: Escolha do Ambiente a ser trabalhado
Ator Envolvido: Usuário (Professor e alunos que irão trabalhar com o sistema).	
Pré-Condição: O Ambiente de Realidade Aumentada deverá estar ativada no computador.	
Descrição do Caso: Ativar a visualização do campo no motor Real.	
Pós-Condição: Visualização do campo magnético virtual no motor em Real.	

5.2 Ferramentas de Programação Utilizadas

Neste trabalho optou-se por utilizar como ferramenta de programação para o sistema, a linguagem Visual Studio C ++ 5.0, pelo seguinte motivo:

- ✓ Ter boa quantidade de recursos, com funcionalidades similares às já existentes em outras linguagens e novas funcionalidades, para que o usuário possa manipular, sem dificuldades objetos virtuais em OpenGL ou DirectX;

5.3 Composição do Motor Elétrico e Modelagem Utilizada

Os principais elementos que compõe o motor são:

- Estator- é a parte de um motor ou gerador elétrico que se mantém fixo a carcaça e tem por função conduzir energia elétrica às vezes para rotacionar, e outras vezes transformar a energia cinética do induzido em energia elétrica.

- Bobinas - Circulo formado de fios, ligados a uma corrente, que geram um campo eletromagnético.

- Rotor - é tudo que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimentos de rotação. Qualquer máquina rotativa, como turbinas, compressores, redutores, entre outros, possuem eixos rotativos apoiados em mancais de deslizamento, rolamento ou magnéticos.

- Pequeno-Motor – responsável por transferir para a placa de comunicação com o computador a velocidade do motor.

A figura 32 mostra o protótipo utilizado no trabalho em sua fase inicial.



Figura 32: Protótipo em sua fase inicial.

A partir da montagem do motor elétrico, foi modelado uma cópia usando o software 3D Studio Max atingindo um modelo muito próximo do real.

A figura 33 apresenta o motor elétrico na fase inicial de modelagem e mostra os primeiros momentos de criação do protótipo utilizando 3D Studio Max 5.0, aonde as estruturas do mesmo buscam ficar de acordo com o objeto real que é a base dessa modelagem.

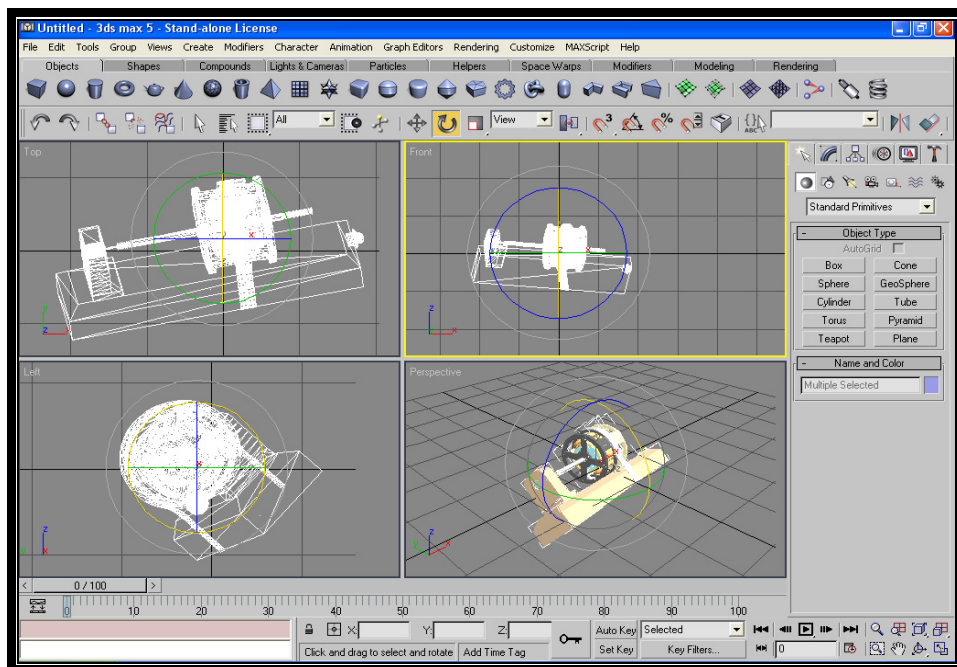


Figura 33: Motor Elétrico na fase inicial de modelagem.

A figura 34 apresenta o motor elétrico em seu resultado final de modelagem.

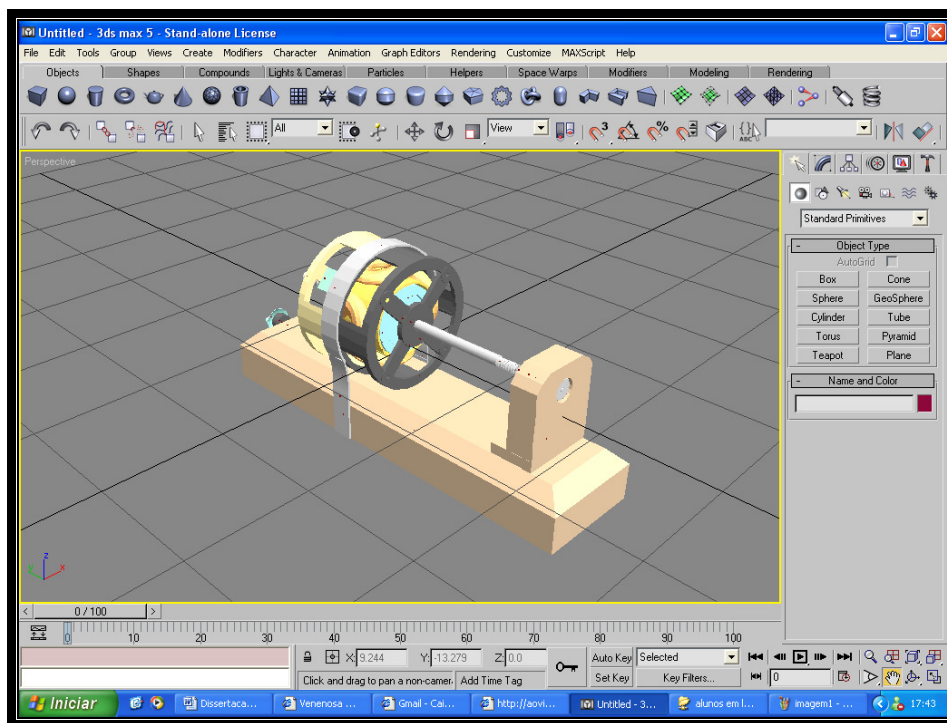


Figura 34: Motor Elétrico modelado no Software 3D Studio MAX.

O protótipo passou por várias fases de modelagem até atingir o formato ideal, pois este motor teria que possuir as mesmas características internas e externas do motor real.

Os objetos modelados no software 3D Studio Max foram exportados para a extensão 3ds e lidos pelo protótipo que utilizou para isso a biblioteca OpenGL.

5.4 Placa de Comunicação (Circuito de Controle)

A Placa de Comunicação é uma placa controladora responsável pela parte eletrônica de comunicação do protótipo, ela será instalada com os componentes eletrônicos necessários como transistores, diodos, capacitores, entre outros, para ser executado juntamente com o microcontrolador da PIC que está instalada na placa para a execução do evento. Nela será feita a comunicação com o motor real, para se trabalhar com a visualização do campo magnético tanto em RV quanto em RA. Como vantagem desta implementação, pode-se citar a sensação de imersão causada pelo estímulo visual de interação, em que o usuário sentirá durante o surgimento, comportamento e as características do campo magnético conforme as alterações da velocidade e formato do Campo Magnético. A figura 35 mostra a placa controladora do protótipo.

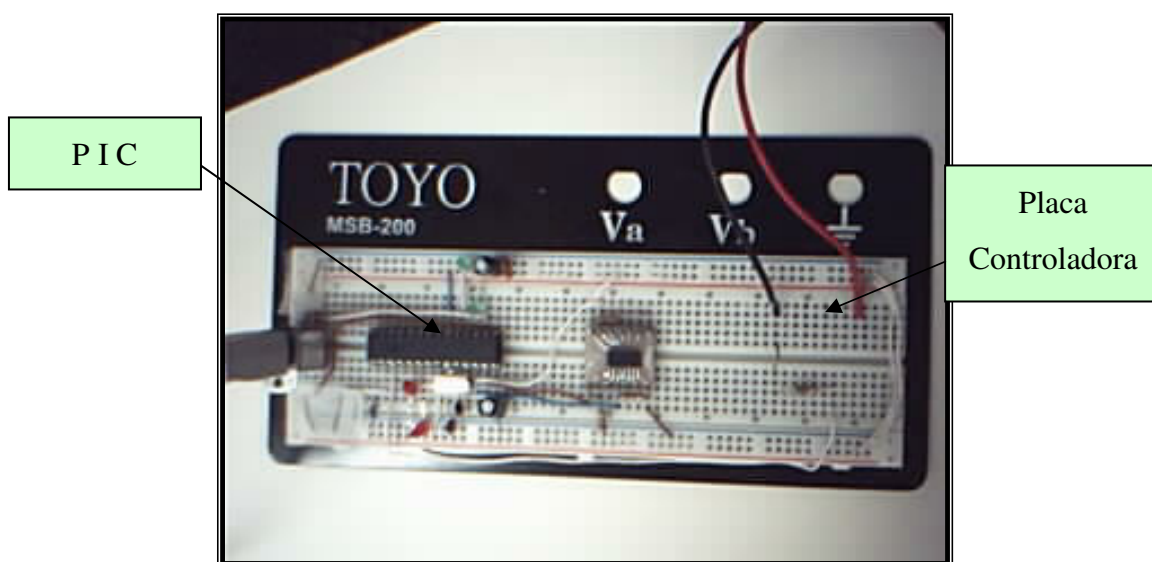


Figura 35 – Circuito de Controle do protótipo.

5.4.1 Objetivos da Placa

Circuito utilizado no projeto de controle do motor utilizou um esquema como mostrado na figura 36, onde basicamente temos 4 módulos bem definidos:

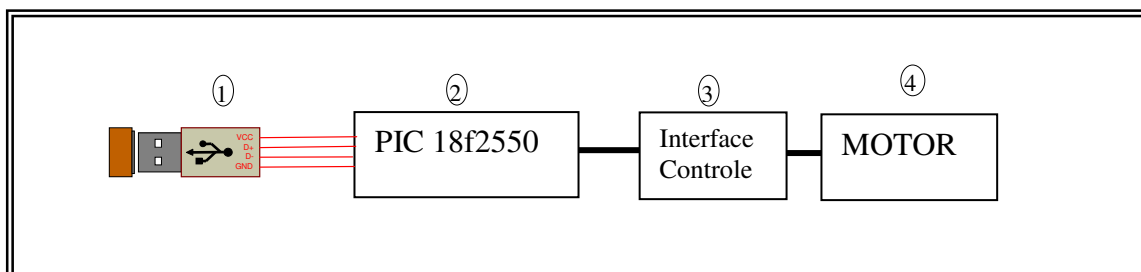


Figura 36 – Esquema do Circuito de Controle do protótipo.

1) Módulo 1

É o módulo de comunicação da placa com o computador, utiliza-se um conector USB que é ligado a um PIC que contém uma interface interna para comunicação através da entrada serial USB e também um chip que contém portas lógicas utilizadas para se controlar quando o sistema está em modo de gravação ou execução de programa.

2) Módulo 2

Neste segundo módulo temos o PIC 18f2550 que é o núcleo do sistema, controla a comunicação, a interface entre a placa e o motor, armazena o programa que controla tudo e a memória, este controla também a aquisição de informação necessária para se conhecer a velocidade do motor.

3) Módulo 3

Neste módulo estão alguns componentes discretos como resistências ajustadas para se fazer a aquisição de informações sobre a velocidade do motor através da verificação da tensão nos terminais de uma das resistências e de um gerador acoplado ao motor para se verificar a velocidade.

4) Módulo 4

O *Engine* físico (Motor) é o sistema responsável por processar as informações obtidas pela interação do usuário, adicionando-lhe os fenômenos físicos do mundo real.

A entrada desse sistema é:

- ✓ A velocidade imposta pelo motor ao ser acionado;

O *Engine* físico envia dados para o sistema de controle (PIC) e para o sistema gráfico, fazendo com que o usuário possa perceber:

- ✓ A resposta dada pelo motor que acelera ou encerra o processo;
- ✓ A representação do motor em RV e RA;

O diagrama de blocos da Figura 31 mostra a estrutura do dispositivo de interação em Realidade Virtual e Aumentada e suas interligações.

5.5 Implementação do Sistema de Realidade Virtual

Esse ambiente virtual, como já foi dito anteriormente, foi modelado com uso da biblioteca gráfica OpenGL, sendo necessário o uso da linguagem de programação Visual Studio C++ para compilação do código, implementação da interação do usuário com o sistema e das animações necessárias.

No ambiente virtual, encontra-se uma réplica do Motor Elétrico, modelado por meio de uma matriz de índices, vértices e normais gerados por um *loader*¹. Além do motor não existe nenhum outro objeto modelado, ficando portanto, o objeto suspenso no espaço.

A Figura 37 apresenta um trecho do código OpenGL, utilizado no desenvolvimento do objeto. Este código é responsável pela modelagem do motor virtual e o seu posterior uso dentro da realidade virtual.

```
// construção do objeto
objects2 : TObject_def2 = (
    (obj_name : 'MOTOR'; face_indicies : @face_indicies2_0; face_number : MAX_FACE_INDICES2_0;
    vertices : @vertices2_0; vertex_number : MAX_VERTICES2_0; normals : @normals2_0; normal_number :
    MAX_NORMAL2_0; textures : @textures2_0; texture_number : MAX_TEXTURE2_0; mat_ref :
    DEF_MAT_REF2_0)
    ...
```

¹ *Loader* – software que reconhece formatos de extensão de arquivos de modelagem 2D e 3D e os converte para outros formatos de texto. Este *loader* converte arquivos com extensão 3DS para formato texto compatíveis com o código OpenGL. Apesar de existir outros similares, este software foi desenvolvido especificamente para este trabalho. Este *loader* foi adaptado pelo autor do trabalho para produzir formato OpenGL preparados para a linguagem *Object Pascal*.

```

glNewList(MOTOR, GL_COMPILE); // início de lista de comandos denominada MOTOR
glBegin(GL_TRIANGLES); // modela o objeto com base em triângulos
for i:= 1 to MAX_OBJECTS2 do // quantidade de objetos
begin
  qtdvert := objects2(i).face_number - 1;
  for j:=0 to qtdvert do
  begin
    glNormal3f(normaux^(faciaux^(j,3),0), normaux^(faciaux^(j,3),1), normaux^(faciaux^(j,3),2));
    glVertex3f(vertaux^(faciaux^(j,0),0), vertaux^(faciaux^(j,0),1), vertaux^(faciaux^(j,0),2));
    glNormal3f(normaux^(faciaux^(j,4),0), normaux^(faciaux^(j,4),1), normaux^(faciaux^(j,4),2));
    glVertex3f(vertaux^(faciaux^(j,1),0), vertaux^(faciaux^(j,1),1), vertaux^(faciaux^(j,1),2));
    glNormal3f(normaux^(faciaux^(j,5),0), normaux^(faciaux^(j,5),1), normaux^(faciaux^(j,5),2));
    glVertex3f(vertaux^(faciaux^(j,2),0), vertaux^(faciaux^(j,2),1), vertaux^(faciaux^(j,2),2));
  end;
end;
glEnd(); // fim da modelagem
glEndList(); // fim da lista

```

Figura 37 - Visão parcial do arquivo da modelagem do ambiente.

A Figura 38 ilustra o ambiente em RV com a presença do motor virtual modelado no mesmo formato do motor real criado para ser o engine físico junto a placa controladora do protótipo, e onde as interações do campo a medida que forem feitas no ambiente real através do motor real serão repassadas para o ambiente virtual até ao motor virtual. Outras interações que podem ser feitas pelo teclado também são enviado ao motor virtual.



Figura 38 - Motor Elétrico virtual com o campo magnético.

A figura 38 mostra o aparecimento do campo magnético, sendo visualizado no motor virtual, após o acionamento do mesmo pelo protótipo junto a sua placa controladora criado para a interação com o ambiente real.

Para propiciar uma melhor interação do usuário com o objeto (motor elétrico), o mesmo foi construído em partes, sendo possível ao usuário visualizar o motor desmontado.

A Figura 39 apresenta o motor com suas partes periféricas afastadas do eixo principal, através do uso do teclado para fazer essa interação adicional, demonstrando a visualização do campo magnético no centro do motor junto ao rotor sem a presença das grades protetoras, mostrando uma melhor visualização do mesmo.

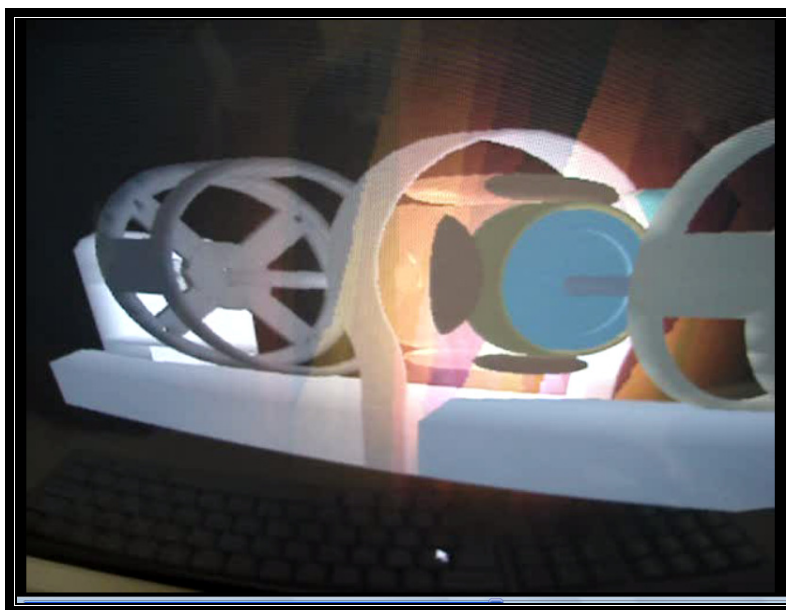


Figura 39. Motor Elétrico virtual desmontado.

A implementação do campo magnético que interage com o motor elétrico é descrito a seguir, no ambiente de Realidade Aumentada. O mesmo algoritmo foi usado na geração do campo magnético em ambos os ambientes.

5.6 Implementação do Sistema de Realidade Aumentada

Para a construção do sistema de RA, tendo como periféricos o motor elétrico e a placa de comunicação, foi cadastrado no ArtoolKit um marcador específico que foi acoplado ao motor para que na captura da imagem do motor o marcador fosse traçado por um objeto virtual que represente o Campo Magnético. A figura 40 mostra o marcador cadastrado para uso do protótipo.



Figura 40. Marcador cadastrado para uso do protótipo.

Para representar o Campo Magnético, a imagem utilizada foi obtida por cientistas alemães através da técnica de nêutrons polarizados por Spin no Hahn-Meitner-Institut Berlin, a mesma possui o seguinte funcionamento, quando sofrem a ação de um campo magnético externo, os nêutrons se comportam como pequenas agulhas de bússola, alinhando-se na mesma direção do campo. Os nêutrons também possuem spin ou momento angular interno, uma propriedade quântica que faz com que essa "agulha magnética" gire ao redor do seu eixo.

Quando todos os momentos magnéticos apontam no mesmo sentido, diz-se que os nêutrons estão polarizados pelo spin. Se uma amostra de material magnético for irradiada com esses nêutrons polarizados pelo spin, os momentos magnéticos dos nêutrons começarão a girar ao redor dos campos magnéticos que eles encontrarem na amostra, o que causará a alteração do seu spin. Ao se detectar os spins no outro lado da amostra, torna-se possível "ver" os campos magnéticos, reconstruindo sua estrutura tridimensional na forma de uma imagem 3-D, conforme mostra a figura 41.

A literatura foi a base para a sua criação e vinculação ao sistema. Essa imagem foi usada como textura aplicada em um conjunto de retângulos com a habilitação de transparência, tendo cada um destes retângulos um posicionamento e uma distância entre os mesmos Aleatórios e Dinâmicos, causando a sensação da existência de Campo Nebuloso tendo como base a imagem usada. A figura 41 representa o Campo magnético base do protótipo.

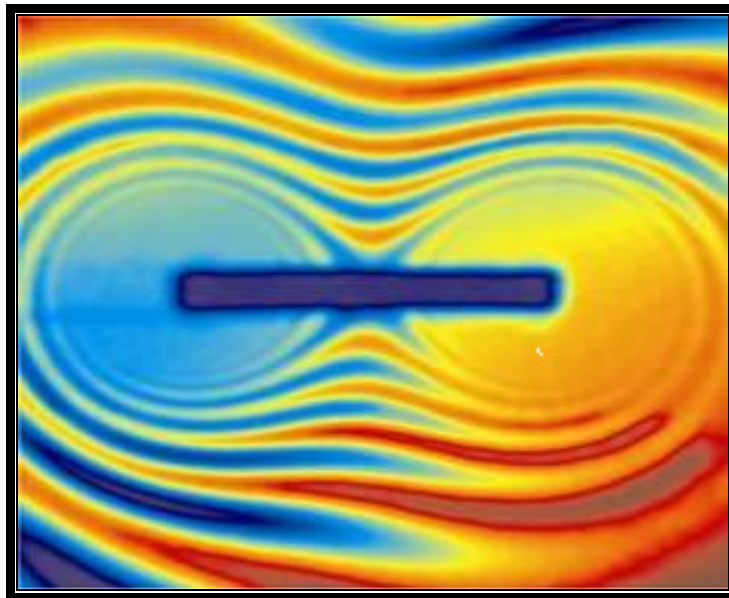


Figura 41- Campo Magnético de um imã permanente base do protótipo (HAHN-MEITNER-INSTITUT BERLIN, 2008)

5.7 Princípio de funcionamento do motor

Numa máquina de indução o fluxo tem uma distribuição espacial aproximadamente senoidal e é criado inicialmente pelo enrolamento do estator. Sempre que houver uma variação do fluxo sobre uma espira (ou um conjunto de espiras formando uma bobina) surge nesta uma tensão induzida, a qual é proporcional à taxa de variação do fluxo conforme a Lei de Lenz. O campo magnético criado pelas correntes do rotor cria, por sua vez, um outro campo magnético também senoidalmente distribuído que é atraído pelo campo do estator, à semelhança do que ocorre com os pólos de dois imãs (LOBOSCO,1988).

Como podemos constatar o princípio de funcionamento do motor de indução baseia-se em duas leis do Eletromagnetismo, a Lei de Lenz e a Lei de Faraday.

Faraday: "Sempre que através da superfície abraçada por um circuito tiver lugar uma variação de fluxo, gera-se nesse circuito uma força eletromotriz induzida. Se o circuito é fechado será percorrido por uma corrente induzida".

Lenz: "O sentido da corrente induzida é tal que esta pelas suas ações magnéticas tende sempre a opor-se à causa que lhe deu origem".

A figura 42 mostra uma vista frontal de um motor assíncrono, com os grupos de três bobinas de armadura montadas no estator e bobinas de campo montadas sobre as sapatas polares do rotor, e ao lado desta esta uma vista lateral deste motor, evidenciando o eixo do rotor e os anéis deslizantes.

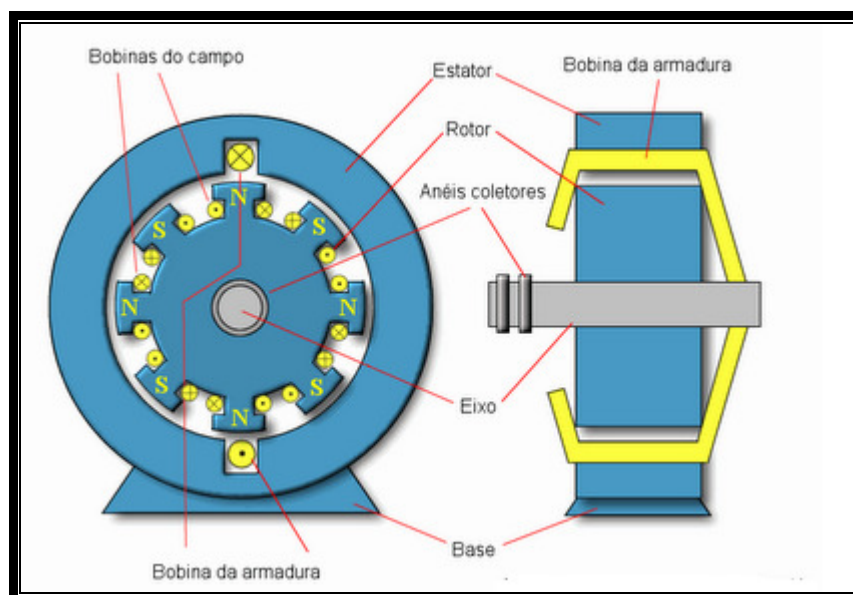


Figura 42: Imagem frontal e lateral de um motor assíncrono (ALMEIDA, 2005).

5.7.1 Descrição do motor monofásico utilizado

A criação do modelo virtual do motor tomou como base um protótipo de motor de Indução Assíncrono de Corrente Alternada. O motor de indução baseou-se na imagem real do protótipo, que foi utilizado durante as pesquisas realizadas no período de análises. A criação do Motor levou em conta a importância do uso da informática em especial RV e RA em outras áreas do conhecimento, além do aprofundamento de conceitos de Física, especialmente o Eletromagnetismo, demonstrando a importância da utilização de novas técnicas de ensino no âmbito educacional.

Com isso o protótipo do motor assíncrono é constituído basicamente pelos seguintes elementos:

- um circuito magnético estático, constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator;
- por bobinas localizadas em ranhuras abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada;
- por um rotor constituído por um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator.

O seu funcionamento ocorre da seguinte forma:

A partir do momento que os enrolamentos localizados nas cavas do estator são sujeitos a uma corrente alternada, gera-se um campo magnético no estator, conseqüentemente, no rotor surge uma força eletromotriz (f.e.m.) induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. Nas máquinas de indução, as correntes são induzidas nos enrolamentos do rotor por meio da combinação da variação, no tempo, de correntes no estator e do movimento do rotor em relação ao estator (FITZGERALD, 2006).

A figura 43 mostra o protótipo (Motor de indução monofásico) utilizado mais a placa controladora do sistema.

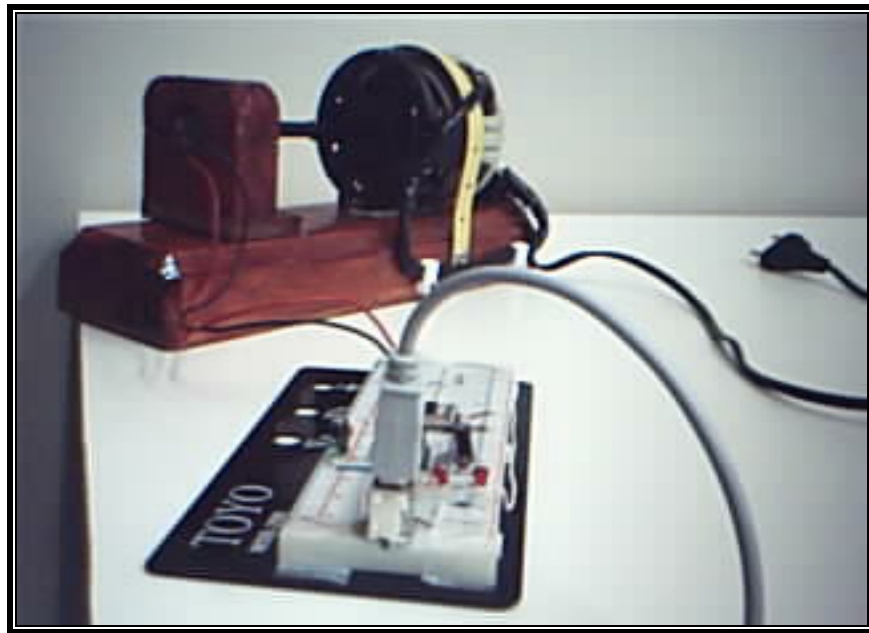


Figura 43: Imagem do protótipo utilizado mais a placa controladora do sistema.

5.8 Funcionamento do Sistema

Para iniciar o sistema é necessário que o usuário escolha no menu, o tipo de interação que deseja para a visualização do Campo Magnético, optando entre Realidade Virtual, ou Realidade Aumentada, pode-se interromper a qualquer momento o processo de visualização de imagens, caso seja necessário sair de um modo de visualização e migrar para o outro modo. A figura 44 representa o menu de abertura do protótipo.

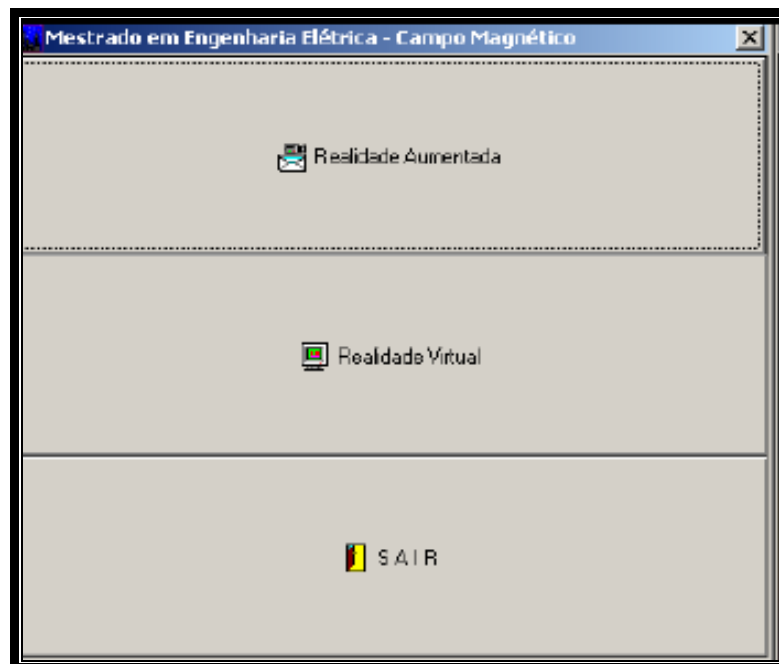


Figura 44: Menu de abertura do Protótipo

5.8.1 Realidade Virtual

Quando o usuário escolhe essa opção, surgirá um ambiente virtual contendo uma réplica do motor no formato virtual. Na figura 45, se apresenta a imagem do motor elétrico real, a placa de comunicação e o ambiente virtual em funcionamento.



Figura 45: Ambiente Virtual em uso acionado pelo motor real através da protoboard.

A partir daí, o usuário pode interagir com o protótipo em RV e prover alterações dinâmicas a serem visualizadas no campo magnético dentro do ambiente virtual. O processo inicia quando o motor real é ligado: a partir desse momento se estabelece uma comunicação entre o motor e o computador. A figura 46 apresenta o motor elétrico sendo desmontado em pleno uso para uma melhor visualização do campo.

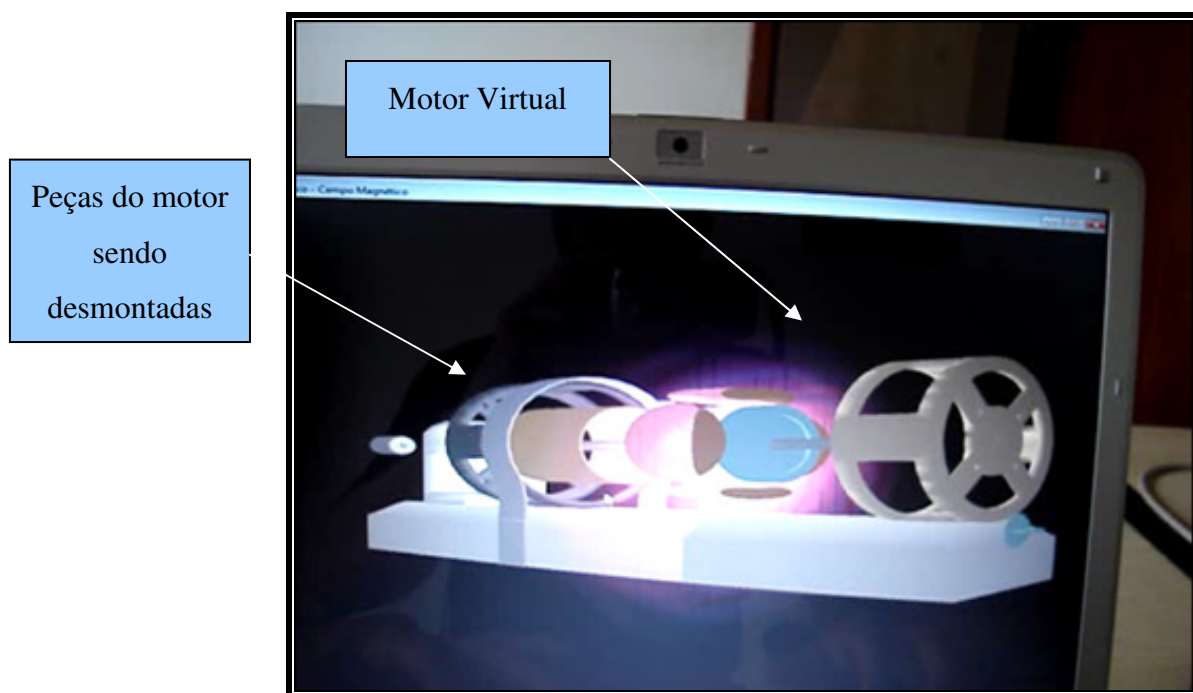


Figura 46: Motor Virtual sendo desmontado em pleno uso para uma melhor visualização do Campo Magnético.

O usuário poderá visualizar as mudanças ocorridas no surgimento do campo magnético do ambiente virtual, por meio das variações de velocidade que serão disparadas pelo motor real, ou seja, a comunicação e o controle do motor virtual estarão a cargo do motor real, com isso se estabelece uma comunicação direta entre o motor real e o ambiente virtual. Na figura 47 se mostra o campo magnético no ambiente virtual, sem a presença da peça central que é o rotor pertencente ao motor elétrico para a visualização do campo magnético, apenas no estator.

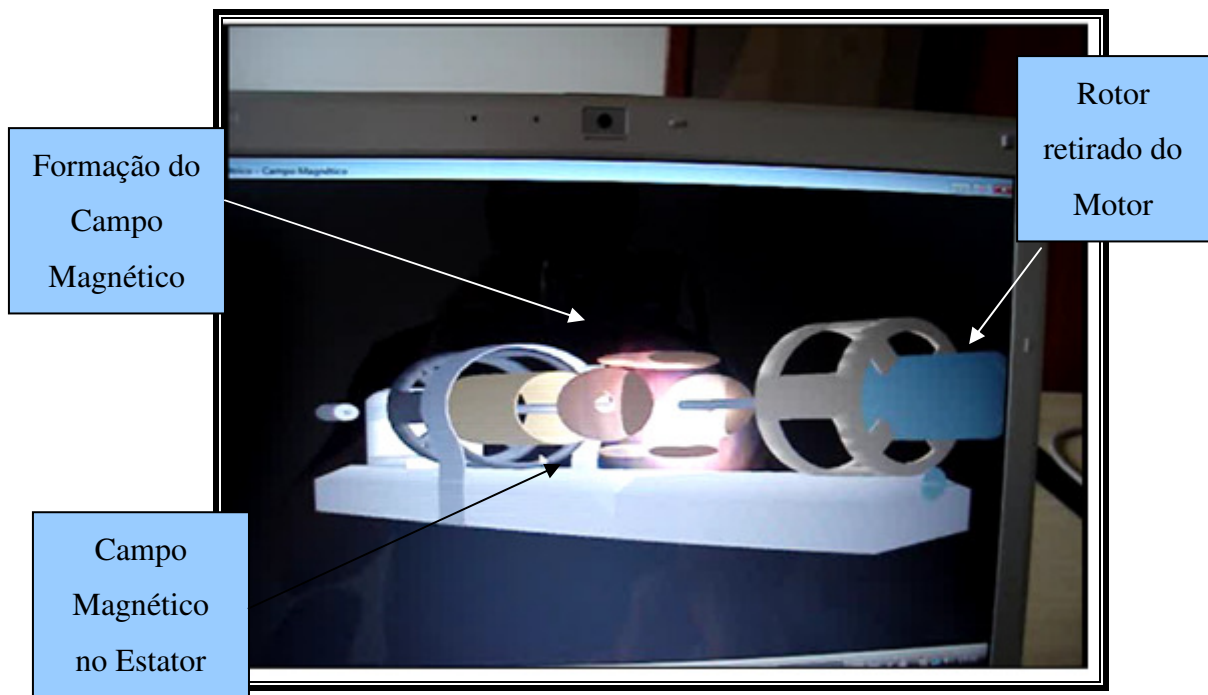


Figura 47: Visualização do Campo Magnético apenas no estator.

5.8.2 Realidade Aumentada

Quando o usuário escolhe essa opção aparecerá a imagem do motor real e uma imagem agregada de um marcador. A imagem é capturada por uma WebCam propiciada pela geração de um sistema construído pelo ArtoolKit. A figura 48 ilustra a imagem.

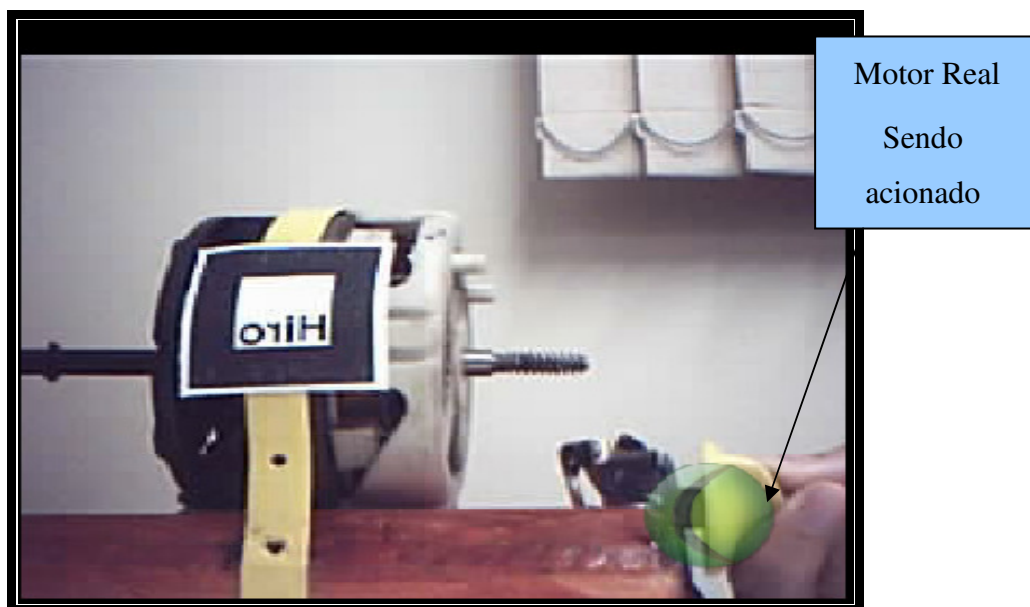


Figura 48: Motor Real sendo visualizado pela WebCam.

Quando a comunicação for feita, a câmera detectará o marcador que está junto ao motor, porém não fará a sobreposição do campo magnético no marcador. Isso acontecerá apenas se o usuário ligar o motor elétrico, assim o campo magnético começa a ser visualizado, onde inicialmente nesta primeira etapa o campo magnético é visualizado no centro do marcador, conforme mostra a figura 49.

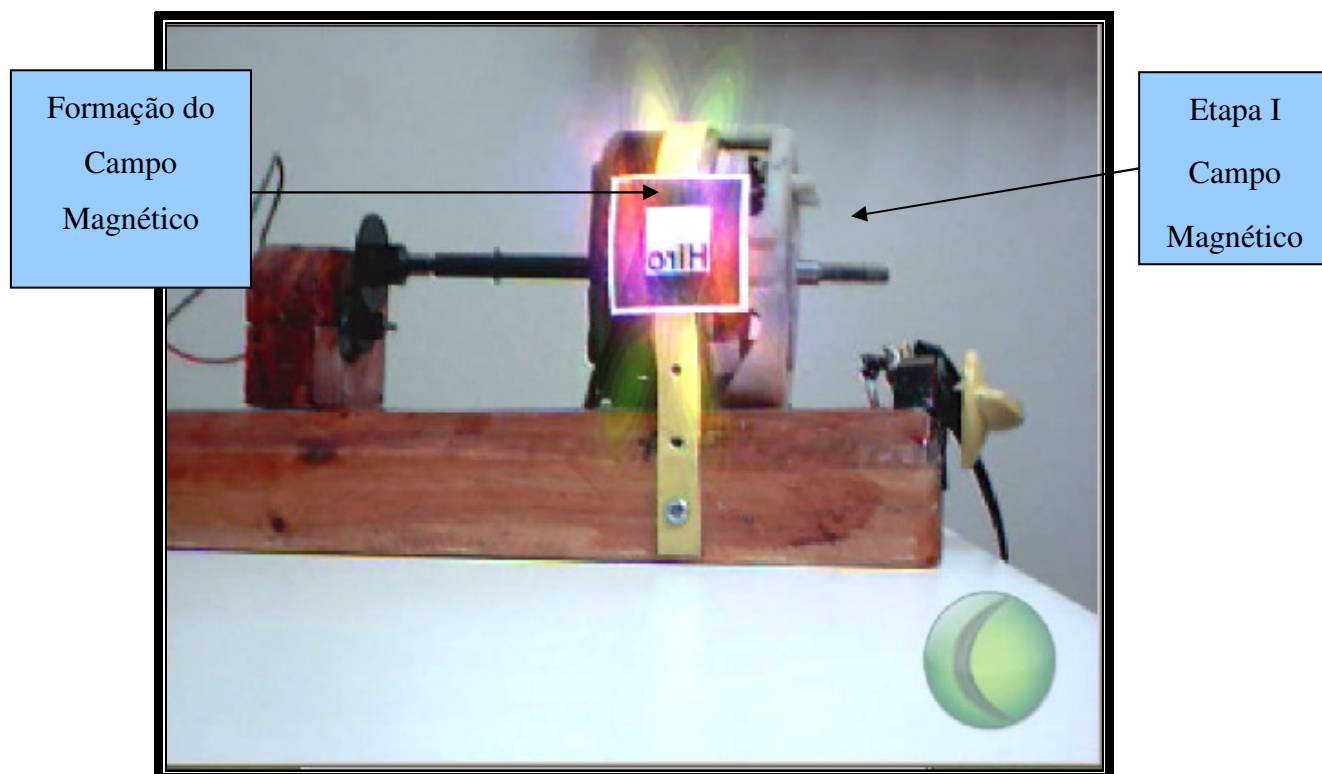


Figura 49: Inicialização do Campo Magnético em RA, acionando-se o motor real.

Após ser ligado, o motor conforme a variação da velocidade fará com que o campo magnético cadastrado aumente dinamicamente, e com isso o usuário poderá verificar a sua formação, onde nesta segunda etapa o campo magnético se expande e já sai dos limites do marcador, como mostra a figura 50.

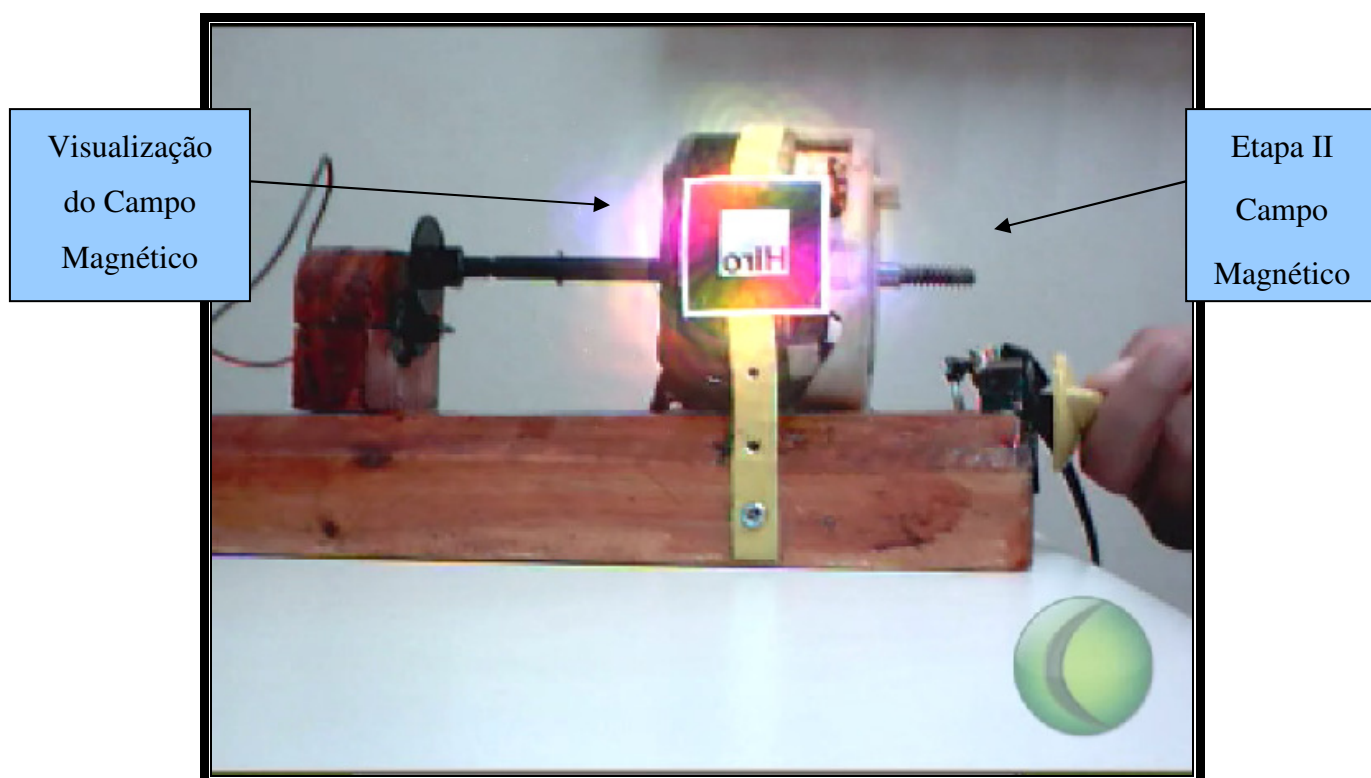


Figura 50: Visualização II do Campo Magnético em RA.

Na terceira etapa o protótipo atinge a sua variação 3 de velocidade e o formato de visualização do campo magnético atinge sua maior área. A figura 51 mostra a visualização III do campo magnético.

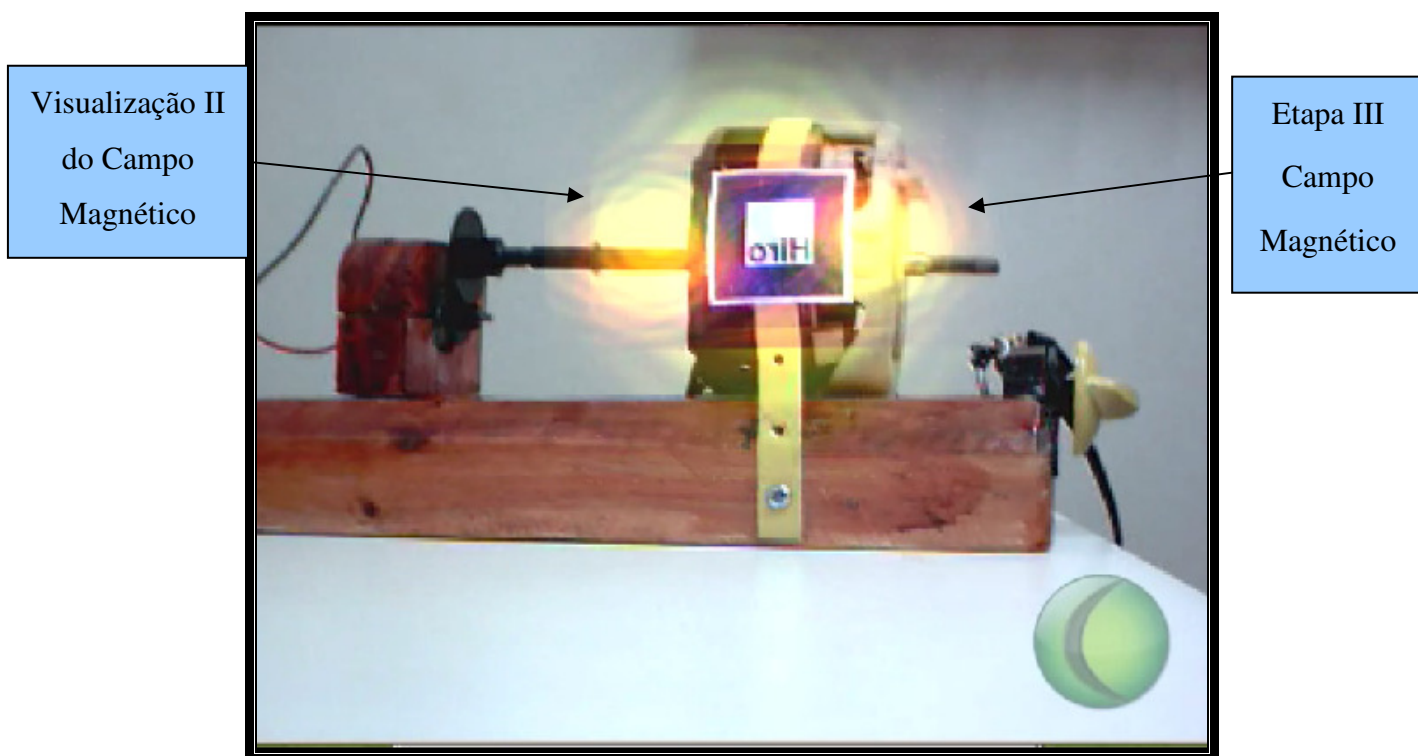


Figura 51: Visualização III do Campo Magnético.

Após a verificação de todo o processo por parte do usuário, para a finalização do sistema do protótipo, acessa-se o menu principal e aciona o botão sair, para o encerramento do do mesmo.

5.8.3 Considerações Finais

Pode-se perceber que um componente fundamental para a construção e funcionamento do dispositivo de interação é a placa de comunicação, que atua como uma interface entre o microcomputador e os periféricos. Com a sua utilização, obteve-se o desempenho esperado em termos de resposta em tempo real.

Assim busca-se com este modelo de sistema colocar o usuário com uma participação mais ativa e interativa no processo, durante o surgimento do campo magnético criado no motor, pois o uso dos ambientes de RV e RA mostra a visualização do Campo Magnético que se forma durante o acionamento de um motor. Sendo que no ambiente virtual o usuário terá a possibilidade de interagir com o motor virtual, verificando a formação do Campo Magnético com o motor fechado e até mesmo, abrir a parte periférica do motor e melhorar a visualização deste mesmo Campo. No Ambiente de RA o usuário se sentirá imergido no Campo Magnético, pois verá a sua formação no motor real através do uso de uma WebCam, monitor e a criação do Campo com toda a sua imagem no marcador colocado no Motor Real. Mostrando que a RA e a RV podem muito bem serem aproveitadas no aprendizado do campo magnético, como em outras áreas do conhecimento devido a suas potencialidades.

CAPÍTULO 6

6- AVALIAÇÃO E LIMITAÇÕES DO SISTEMA

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta a avaliação do protótipo, aplicados a usuários potenciais que vivenciam os estudos sobre campo magnético e funções eletromagnéticas. São abordados testes básicos sobre usabilidade referentes ao uso do sistema PVVAC (Protótipo de Visualização Virtual e Aumentada do Campo Magnético). Esta análise teve como objetivo demonstrar a viabilidade, a eficácia e eficiência do protótipo. Além disso, buscou também o incentivo ao uso da Realidade Virtual e Realidade Aumentada, como uma ferramenta auxiliar na educação em todos os níveis.

6.2 Avaliação do Sistema PVVAC

O sistema PVVAC foi apresentado a um grupo de 30 alunos e 2 professores pertencentes ao segundo período do curso técnico em manutenção e redes de computadores do Centro Federal de Educação Tecnológica de Urutaí-GO-Unidade de Ensino Descentralizada de Morrinhos em Goiás, na disciplina de eletroeletrônica. Onde inicialmente foi apresentado o protótipo, e posteriormente ocorrendo à explicação dos motivos dos testes do mesmo junto aquela turma, seguindo-se com a execução do uso do protótipo.

Com base em preceitos da ISONORM 9241-10 *Usability* (conjunto de normas que permite avaliar a capacidade de um sistema interativo oferecer a seu usuário a possibilidade de realizar tarefas de maneira eficaz e agradável (PRUGMPER 1999)) e de acordo com o *Checklist* do PROINFO (critérios para avaliação especificamente de softwares educacionais (PROINF, 2006)). De acordo com essas normas foi elaborado um questionário de avaliação do sistema disponível no Anexo I. Este questionário tem por objetivo verificar questões sobre o uso do sistema desenvolvido.

A partir de análises feitas referentes às respostas do questionário aplicado, houve uma avaliação dos itens estipulados nas perguntas e para cada item foi gerado um gráfico comparativo, que são representados a seguir:

6.2.1 - Quanto à clareza dos termos utilizados (Finalidade do Protótipo)

A figura 52 mostra que a maior parte dos usuários está satisfeita com o sistema, porque ele possui um grau de clareza suficiente para a sua execução. O outro percentual, onde consta usuários insatisfeitos, consideraram que o sistema atende parte do esperado, pois eles alegaram que seria necessário algum conhecimento mais consistente referente ao tema apresentado.

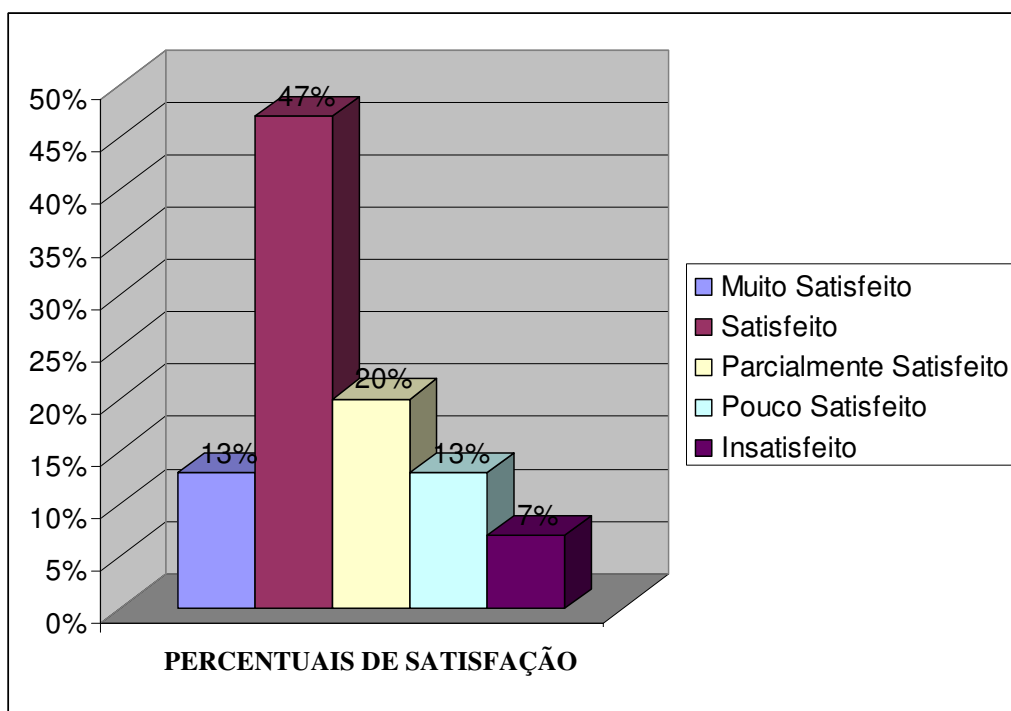


Figura 52 – Finalidade do protótipo.

6.2.2 - Quanto ao número de funções existentes no sistema (Usabilidade)

A figura 53 mostra que a grande maioria dos usuários considerou-se satisfeita com o sistema, apenas um pequeno grupo de usuários, considerou-se insatisfeitos com o sistema e justificaram as suas respostas, principalmente pela a inexperiência que alguns deles possuíam em relação a algumas áreas da informática, porém a maioria considerou a interface do sistema muito usual.

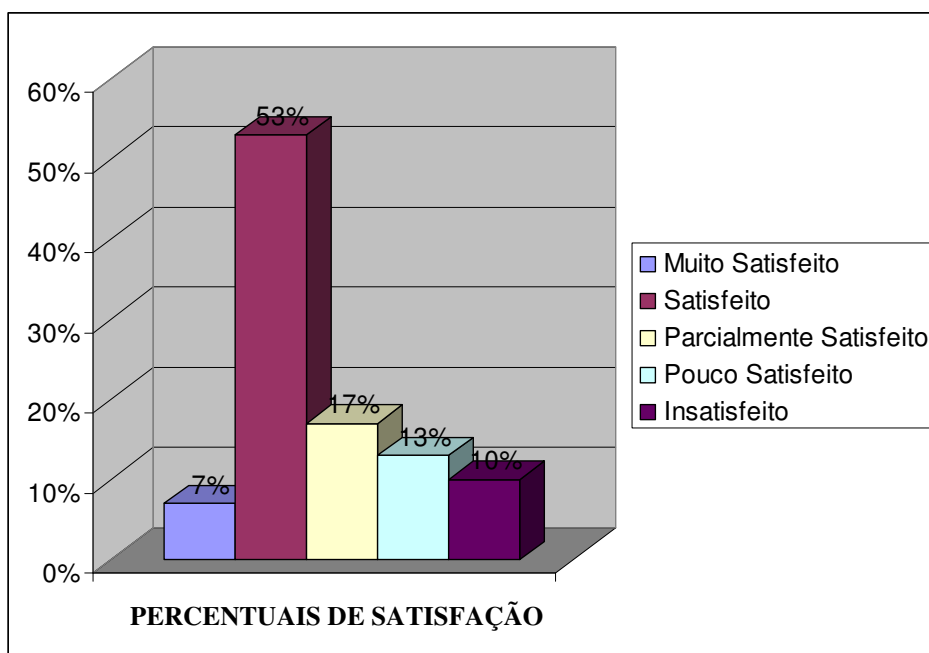


Figura 53 – Usabilidade do protótipo.

6.2.3- Facilidade de uso do sistema (Funcionalidade)

Na figura 54, nota-se que no geral sessenta por cento dos usuários consideraram-se satisfeitos e muito satisfeitos com o sistema, sendo que também vinte e três por cento dos usuários ficaram parcialmente satisfeitos, e justificaram a necessidade de prévio conhecimento de Informática, considerando que muitos usuários poderão ter dificuldades em executar os comandos, exigindo antes da execução a apresentação de algumas informações adicionais para operacionalização do sistema.

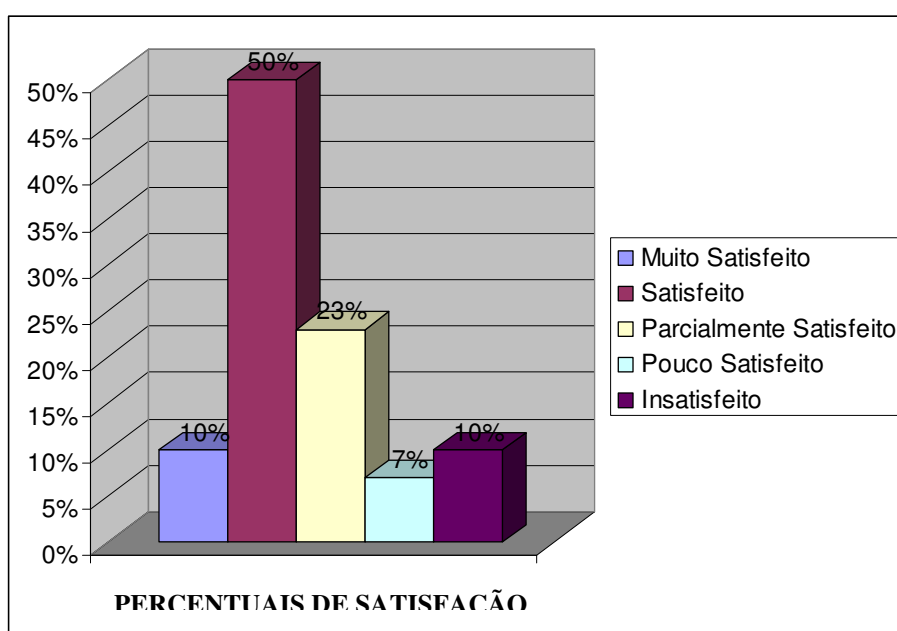


Figura 54 – Funcionalidade do protótipo.

6.2.4– Quanto à Interatividade do sistema com o usuário

Na figura 55, mostra-se que cinquenta e três por cento dos usuários interagiram de maneira satisfatória com o sistema, e dez por cento de maneira muito satisfatória, o grupo de usuários em cerca de quatorze por cento que ficaram insatisfeito ou pouco satisfeito, alegaram que um pouco de suas in experiências e desconhecimento da área de RV e RA levaram os mesmos a esta opinião, principalmente pela falta de algum help para auxiliá-los nos testes do protótipo.

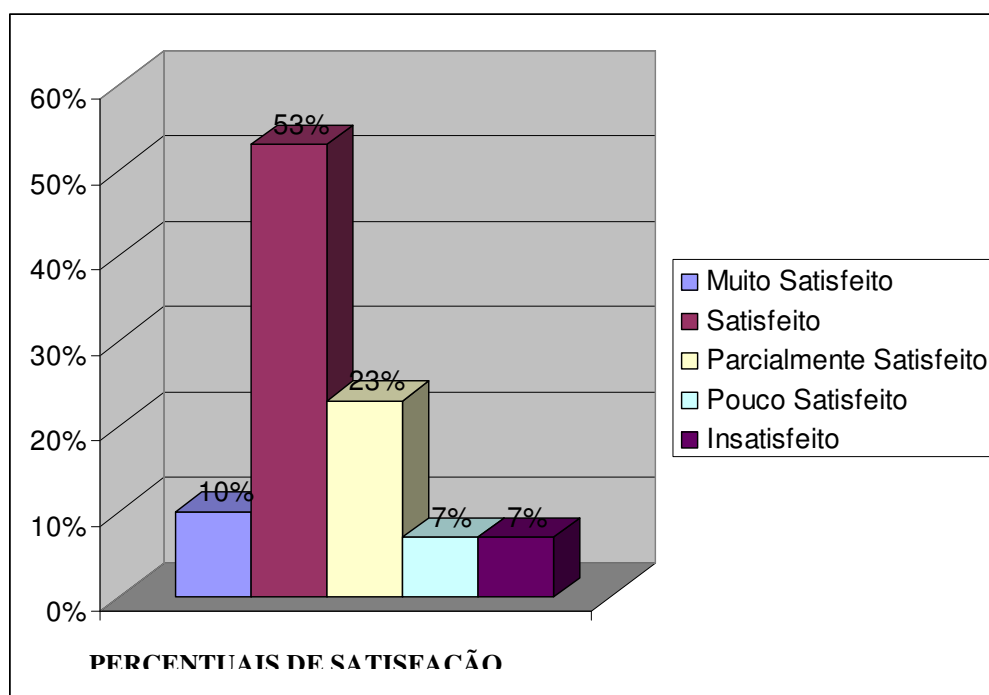


Figura 55 – Interatividade do protótipo.

6.2.5 - Quanto ao número de passos necessário para a realização de uma atividade no protótipo

Na figura 56, a maioria dos entrevistados sentiu-se satisfeitos com os passos necessários para a realização de uma atividade no sistema do protótipo. O principal comentário por parte dos sete por cento de usuários insatisfeitos, foi o desconhecimento do uso do software Cortona para interação com o sistema em RV, o que os deixou a princípio um pouco perdido, mas com o auxílio de um usuário mais experiente, eles conseguiram atingir os seus objetivos.

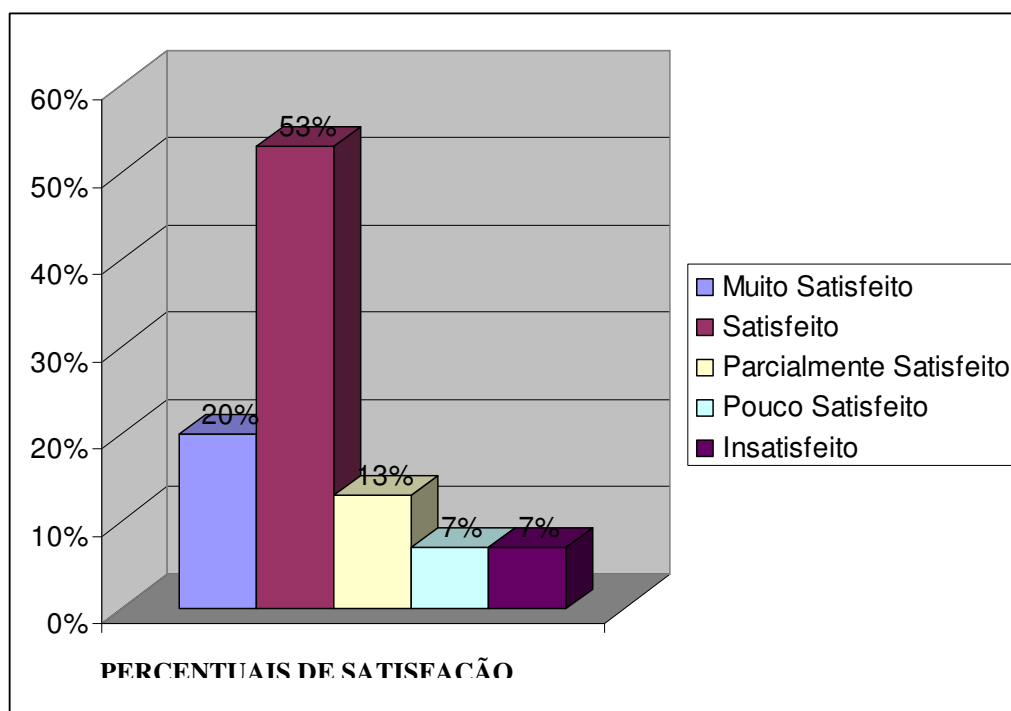


Figura 56 –Passos para a realização de uma atividade no protótipo.

6.2.6- Controle sobre a atividade do Motor (possibilidade de interromper, suspender, etc.)

Na figura 57, cerca de noventa por cento dos usuários ficaram satisfeitos e muito satisfeitos com o controle do motor, a maioria dos entrevistados acharam o controle do motor muito interativo no momento de parar ou suspender uma atividade, o que mostra o bom uso por parte destes usuários, apenas três por cento dos usuários ficaram pouco satisfeito, e justificou como uma falha pessoal por não estarem atentos as explicações sobre o projeto no momento inicial de demonstração do protótipo, tendo que buscar as informações posteriormente com outros colegas, ou com o apresentador do protótipo .

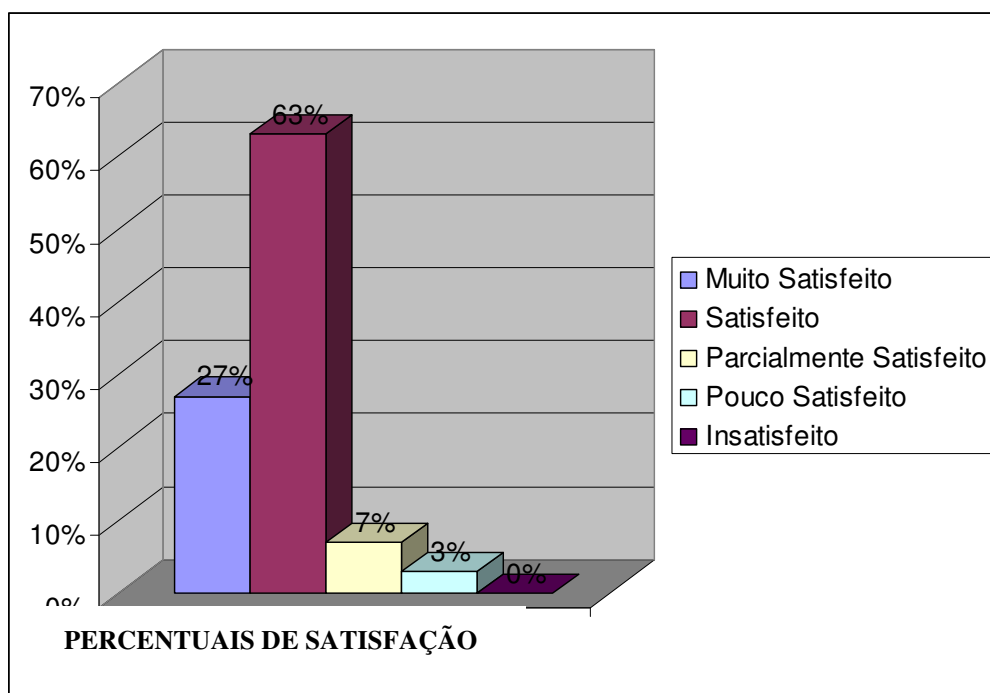


Figura 57 - Controle sobre a atividade do protótipo.

6.2.7 - Possibilidade de visualização clara do que está sendo executado

Na figura 58, a maior parte dos usuários ficou satisfeita ou muito satisfeita com a visualização clara do que ocorria tanto na RV quanto na RA. Porém, alguns usuários manifestaram-se menos satisfeitos, pois sentiram uma dificuldade maior no uso do sistema cobraram um detalhamento maior referente aos ambientes de RV e RA, pois acharam que a visualização no sistema poderia ser mais rápido. Mas explica-se a lentidão da visualização do campo, pois os equipamentos utilizados não possuíam a interface ideal para uma aparição com mais consistência e maior rapidez por parte do campo magnético.

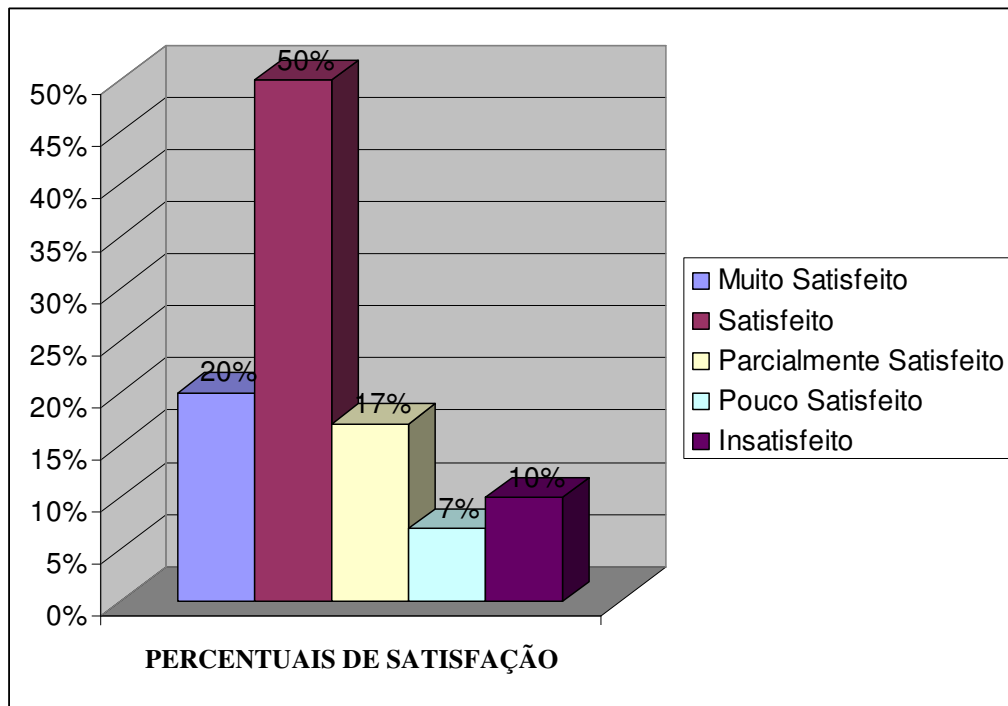


Figura 58 – Visualização clara de execução do sistema no protótipo

6.2.8 - Quanto ao aprendizado referente à visualização do campo magnético

Na figura 59 obteve-se cerca de oitenta por cento de satisfação e também de muita satisfação por parte dos usuários, mostra que o sistema conseguiu atingir a maioria absoluta de usuários, em relação ao nível de aprendizado, o que tornou o teste do sistema muito válido no aspecto educacional. Os vinte por cento restantes alegaram entre outras coisas a falta de conhecimento em alguns pontos da informática principalmente em RV e RA, as dificuldades naturais no aprendizado do campo magnético tanto na parte virtual como no aprendizado padrão, além da falta de compromisso com os testes feitos por uma minoria que apesar de tudo ainda existe.

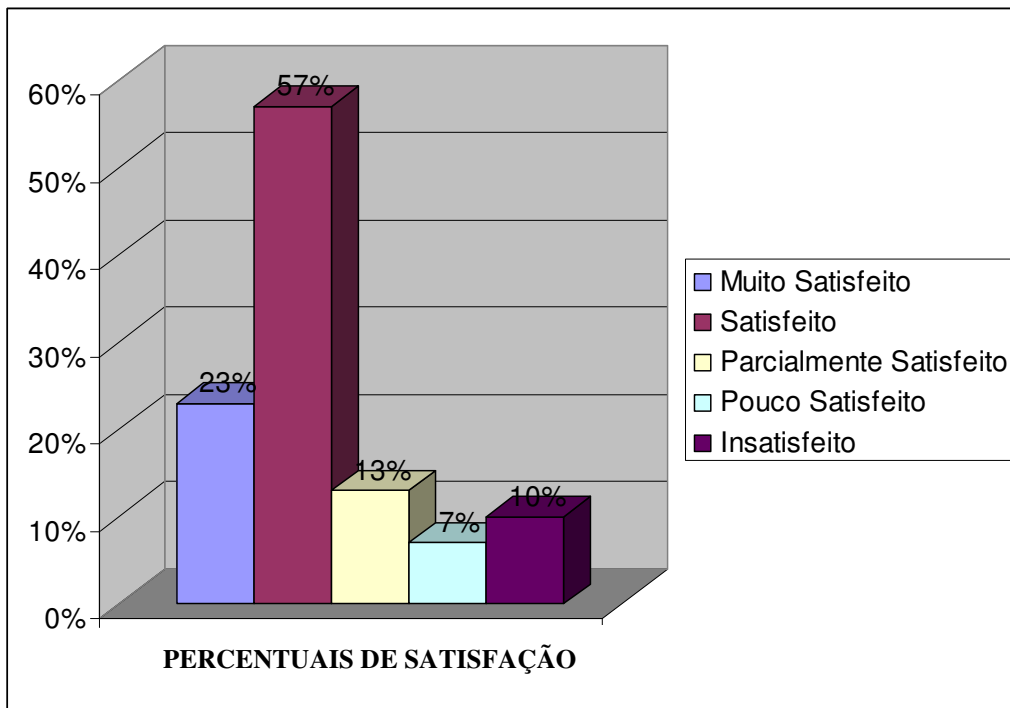


Figura 59 - Aprendizado a visualização do campo magnético

6.2.9 - Quanto ao controle do cenário de Realidade Virtual e Aumentada do motor

Na figura 60 mostra que o controle do cenário foi também satisfatório pela maior parte dos usuários por volta de sessenta e cinco por cento entre satisfeitos e muito satisfeitos, mas dezessete por cento dos usuários ficaram parcialmente satisfeitos principalmente por desconhecer algumas funções para uso do ambiente de RV e RA, porém com o ajuda do instrutor do teste eles conseguiram atingir os seus objetivos, e praticamente atender as sua necessidades.

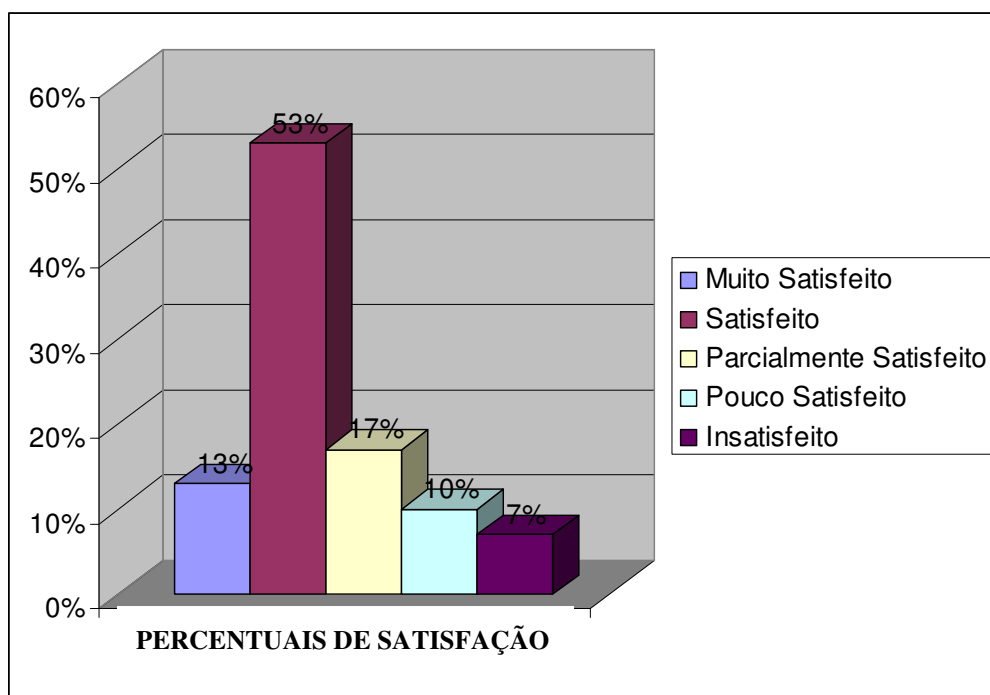


Figura 60 – Controle do cenário de RV e RA do motor

6.2.10 – Em relação ao uso da Realidade Aumentada como ajuda na compreensão do experimento (Ensino-Aprendizagem)

Na figura 61, o aprendizado da visualização do campo magnético através da RA, conseguiu atingir sessenta por cento de satisfação e vinte por cento de muita satisfação, o que demonstra que os objetivos estipulados dentro da RA foram atingidos, pois a formação do Campo Magnético num motor real foi absorvido por grande parte dos usuários de maneira positiva. Apenas três por cento dos usuários disseram estar insatisfeitos, no universo de usuários que opinaram sobre o experimento, acabou tornando essa percentagem nula, e o próprio usuário não quis opinar sobre a resposta apresentada.

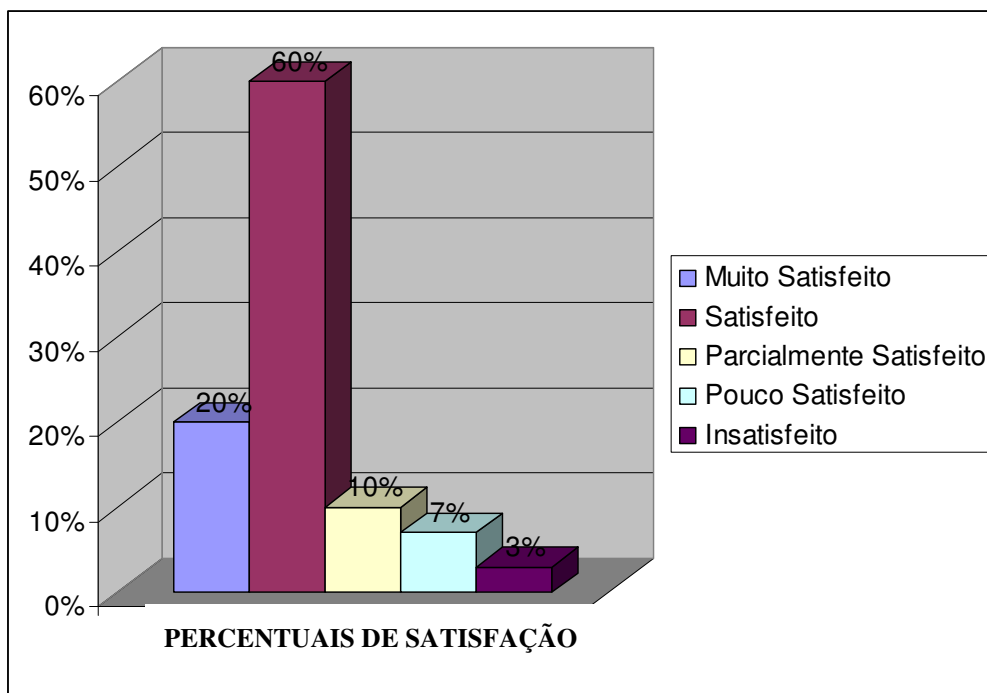


Figura 61 – Uso da RA como ajuda na compreensão do experimento.

6.2.11 - Em relação ao uso da Realidade Virtual como ajuda na compreensão do experimento (Ensino-Aprendizagem)

Na figura 62, o aprendizado da visualização do campo magnético através da RV atingiu uma aceitação um pouco menor que a RA, porém obteve um resultado bastante satisfatório, conseguindo atingir cinquenta e três por cento de satisfação, e vinte por cento de muita satisfação, o que demonstra que os objetivos estipulados para a RV também foram atingidos, com uma boa participação por parte dos usuários. Os mesmos três por cento dos usuários disseram estar insatisfeitos, e a justificativa foi a não adaptação do ambiente virtual do motor, por dificuldades no uso da informática.

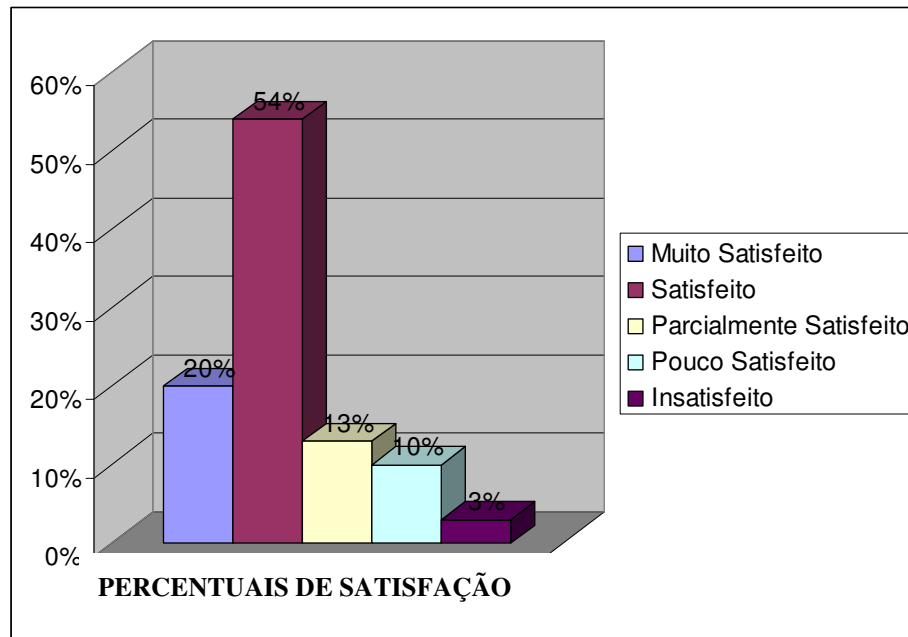


Figura 62 – Uso da RV como ajuda na compreensão do experimento.

6.2.12 - Opinião geral sobre o uso do sistema

Na figura 63, os usuários mostraram a sua opinião do sistema como um todo, fazendo uma avaliação geral do sistema, e o mesmo conseguiu da maioria absoluta de usuários um resultado excelente como um pensamento final por parte dos alunos em relação ao protótipo, os dez por cento de usuários pouco satisfeitos e os sete por cento insatisfeitos, justificaram a sua resposta, devido ao pedido de algumas melhorias na interface segundo a opinião dos mesmos.

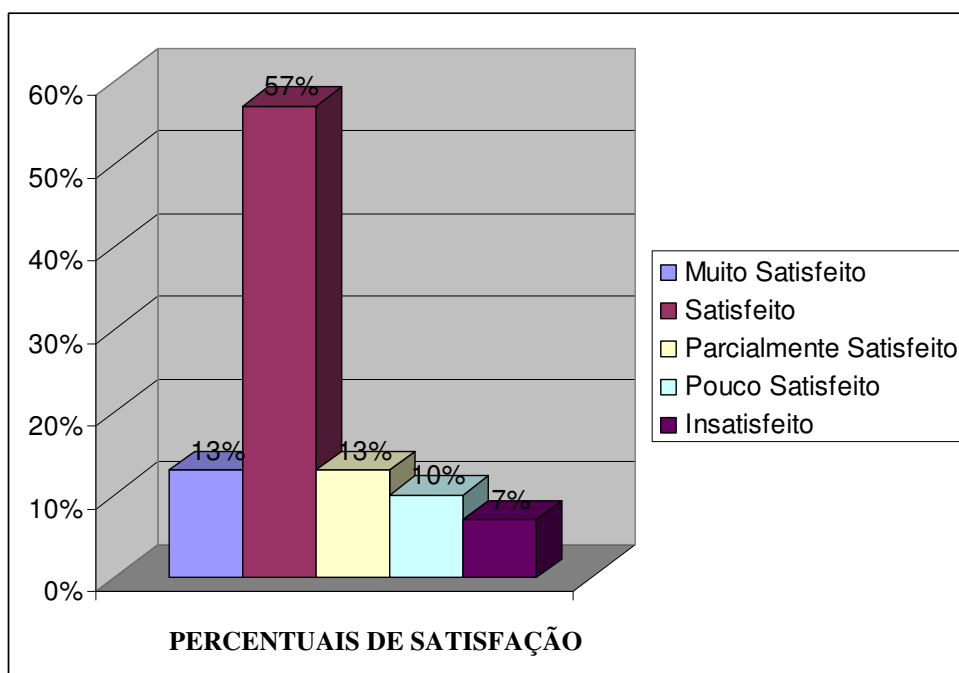


Figura 63 – Opinião geral sobre o uso do sistema.

Com o resultado dos questionários, o protótipo através da avaliação dos mesmos, conseguiu num geral, atingir os seus objetivos de participação dos usuários no uso do protótipo, e principalmente da parceria que os ambientes de RV e RA podem fazer com a educação, pois utilizando estas técnicas na demonstração do campo magnético, mostra a importância de se ter novas ferramentas nos estudos de temas até então pouco explorados com o uso de RV e RA, melhorando sensivelmente os métodos de aprendizado sobre este assunto. e também da divulgação da Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

6.3 Limitações do PVVAC

Essas limitações encontradas durante o desenvolvimento do protótipo, e após a aplicação do questionário, como sugestões para melhoria do sistema, pois algumas das limitações nesta primeira fase de pesquisa não foram o foco do trabalho, mas que poderão ser tratadas em trabalhos futuros, que serão apresentados no próximo capítulo.

Algumas das limitações do sistema são descritas abaixo:

- ✓ O sistema PVVAC não permite a atualização automática do formato do campo magnético dentro sistema em RA, pois deve-se sair do mesmo para a escolha de uma nova imagem, porém isso não acontece na RV cuja as imagens podem ser atualizadas instantaneamente com o uso de uma tecla pré-determinada para isso.
- ✓ O sistema não visualiza medidas da resistência, imposta pelo Motor, a partir da variação da velocidade.
- ✓ O sistema não demonstra uma visualização de oscilações que cargas sofrem no protótipo visando verificar a variação destas cargas por segundo no sistema.
- ✓ Criar um menu explicativo mais descritivo para um melhor entendimento do funcionamento do campo magnético.

Além disso, outras alterações poderão ser feitas a medida que o sistema possa ser aperfeiçoado pois novas idéias surgem a cada dia e com isso, o sistema pode se desenvolver de uma tal forma que pelo grande parte dos parâmetros não utilizados nesta primeira fase de pesquisa possam ser trabalhados posteriormente com o desenvolver do projeto seja pelo seu criador ou por outras pessoas que se interessem por esta área e venham a dar continuidade a estudos deste projeto.

Ao analisar a Tabela 7.2, com a presença dos dispositivos relacionados e suas características, constata-se a presença do protótipo PVVAC é o seu diferencial em relação aos demais dispositivos apresentados, como o uso sequencial de realidade virtual e realidade aumentada e a utilização do PIC para comunicação externa ao computador e apesar de apresentar certas limitações, se mostrou adequado e atendeu aos objetivos propostos.

Tabela 7-2 - Comparativa das características dos trabalhos relacionados em relação ao protótipo.

Softwares	Uso de RV	Uso de RA	Comunicação Externa	Aplicado a Educação
SEFIRV	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Sistema de Bombeamento	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Sistema de monitoramento e controle utilizando-se um PIC	SIM	NÃO	SIM	SIM
Livro de Sólidos Geométricos	SIM	NÃO	NÃO	SIM
SMMAR	SIM	SIM	NÃO	SIM
STAR	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
ARAS	NÃO	SIM	NÃO	SIM
EIC-RA	NÃO	SIM	NÃO	SIM
PVVAC	SIM	SIM	SIM	SIM

Assim, acredita-se que esse trabalho seja importante para novas pesquisas, principalmente na área de engenharia e educação, estimulando o uso das técnicas de RV e RA para um melhor aproveitamento do aprendizado de temas diversos.

6.4 Considerações Finais

Os testes e as avaliações realizadas com o protótipo demonstraram que o mesmo conseguiu atingir os seus objetivos, pois a sua utilização no formato educacional demonstrou a importância da Interação e Imersão do usuário com o sistema, no ambiente virtual, vislumbrando as principais características de formação de um campo magnético num motor de indução tanto no formato RV, como no formato em RA.

A partir disso outro objetivo também foi alcançado, que era o de fazer com que os participantes do processo se interessassem não apenas pelos estudos físicos, mas também de poder conhecer um mundo novo que vem ganhando espaço a cada dia na vida das pessoas, seja no formato educacional, quanto no formato comercial que são os mundos da realidade virtual e aumentada. Pois os mesmos fizeram questão de conhecer detalhes sobre a criação do protótipo, e as possíveis áreas que poderiam utilizar as técnicas de RV e RA, e após a aplicação do questionário, várias sugestões apareceram com o intuito de melhora do programa, algumas sugestões ultrapassaram o limite de possibilidades do protótipo.

CAPÍTULO 7

7 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais pontos estudados nesta dissertação, relacionar os possíveis trabalhos futuros advindos desta pesquisa e avaliar a principal contribuição deste trabalho para a área científica.

7.2 Conclusões

A construção do modelo do campo magnético do motor de indução monofásico ocorreu de maneira criteriosa e fundamentada em estudos feitos pelo Instituto Hahn Meitner de Berlin na visualização 3D de um campo magnético através da técnica de nêutrons polarizados por spin durante o ano de 2008.

Tanto a Realidade Virtual quanto a Realidade Aumentada se mostraram de grande eficácia para a visualização do campo magnético, pois nas simulações feitas com as duas técnicas, demonstrou-se uma grande participação por parte dos usuários durante os testes do protótipo, mostrando uma interatividade muito proveitosa no aprendizado do campo magnético, devido a boa formação das imagens 3D do campo magnético tanto no motor virtual, quanto no motor real.

Com isso se procurou mostrar ao usuário uma visualização fiel do campo magnético, pois até então não se tinha notícia da formação 3D da imagem desse fenômeno, o que tornou mais atrativo o conhecimento desse fenômeno por parte dos usuários, pois o mesmo era desconhecido por muitos ou apenas visto em forma estática em livros e revistas, o que ocasionou uma boa imersão e interação por parte dos estudantes e conseqüente melhoria no aprendizado comprovado com as opiniões dos próprios usuários.

A maior contribuição deste trabalho foi à exploração da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada como ferramentas de apoio ao aprendizado. Através da criação de uma arquitetura que uniu um Motor Real através de uma placa controladora com o computador. Tal estratégia permitiu demonstrar a comunicação entre um objeto do mundo real e um ambiente virtual (relacionado com este objeto) e suas interações, além de apresentar uma visualização fiel do formato mais atual de campo magnético relacionado ao objeto de estudo.

O uso da RA neste trabalho também demonstrou a importância da utilização de novos recursos como forma de auxílio a educação, principalmente com conteúdos demonstrados na maioria das vezes apenas de forma abstrata, como é o caso da visualização do campo magnético, o que torna a Realidade Aumentada uma ferramenta de grande importância a ser utilizada na interação computacional em relação ao aprendizado tradicional, como forma de melhoria ao ensino.

Na avaliação do protótipo, constatou-se que o sistema desenvolvido como estudo de caso foi aprovado por estudantes e professores através de testes do mesmo, com pequenas ressalvas propostas para a sua melhoria, e a sugestão da possibilidade de uso do protótipo como ferramenta fixa para o estudo e visualização do campo magnético, por outros usuários.

7.3 Trabalhos Futuros

Mesmo atingindo as propostas estipuladas, toda pesquisa precisa de melhorias, e torna-se necessário uma continuidade nos estudos da mesma, para a partir disto se poder melhorar os seus pontos falhos. Abaixo são sugeridos outros trabalhos para a continuação do estudo existente, bem como novas pesquisas, tendo como base o trabalho atual.

Como trabalhos futuros propõe-se:

- ✓ Verificar os cálculos matemáticos dos itens Físicos como tensão, velocidade e resistência, que participam na formação do campo magnético nos entreferros dos motores CA;
- ✓ Criar um novo protótipo com outro *Engine* físico, porém com demonstração em corrente contínua, para a demonstração em RV e RA;
- ✓ Aplicação de estudos de visualização do campo magnético em motores CA de porte industrial para transformar a pesquisa do foco industrial para o foco comercial;
- ✓ Fazer a comparação entre os campos magnéticos gerados por dois *Engine* físicos, sendo um em CA e outro CC, para a visualização das principais diferenças existentes na estrutura do campo, e nas variáveis utilizadas por cada um deles, através de técnicas de RV e RA em conjunto com uma linguagem de programação;
- ✓ Utilização de marcadores móveis para a focalização não só do campo magnético, como também criar uma opção para a verificar a forma da corrente elétrica, num motor de indução através do uso de RV e RA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAGUI, D.; KIRNER C. **Lira - livro interativo com realidade aumentada**. VII Symposium on Virtual Reality, Piracicaba, São Paulo (2004). V.1.p. 394-394.

ALMEIDA, Álvaro Augusto. **Blog da disciplina de Conversão Eletromecânica 2, Curso de Engenharia Industrial Elétrica**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2005. Disponível em: < http://maquinas-utfpr.blogspot.com/2007_08_01_archive.html>. Acesso em: 19 de março de 2008.

ALVES, Nuno J. V.; CERQUEIRA, Acácio J. G. **Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - Departamento de Engenharia Electrotécnica- Motores de Indução**. 1998. Disponível em: <http://www.cefetsc.edu.br/~vnoll/Motores%20de%20Inducao.htm#Introd>. Acesso em: 13 de maio de 2008.

ARToolKit. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>>. Acesso em: 08 mar. 2008.

AZUMA, R. T., **A survey of augmented reality**, Presence: Teleoperators and virtual environments, vol. 6, p. 355- 385. 1997.

BILLINGHURST, M. **Augmented Reality in Education**. New Horizons for Learning. fevereiro de 2005. Disponível em: <<http://www.newhorizons.org>> .Acesso em: 28 de fevereiro de 2008.

BADIQUÉ, Eric; RACZYNSKI, Artur. **STAR - Service and Training through Augmented Reality**. Ago, 2002. Disponível em: <http://review.realviz.com/Documents/STAR_summary_01_08_02.pdf>. Acesso em: 29 de dezembro 2007.

BONJORNIO, José R.; RAMOS, C. M. **Física Fundamental, Volume Único**. Editora FTD. São Paulo. 2001

CALVERT, J B. **Engenharia da Universidade de Denver**, USA, Julho 2001 Disponível em: < <http://mysite.du.edu/~jcalvert/tech/elmotors.htm>> . Acesso em: 28 julho de 2008

CARDOSO, Alexandre - **Uma arquitetura para elaboração de Experimentos Virtuais Interativos suportados por Realidade Virtual Não Imersiva**, São Paulo, Universidade de São Paulo – USP, 2002, Tese.

CARDOSO, A; KIRNER, C; LAMOUNIER JR, E; KELNER, J - **Tecnologias para Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Conceitos de Realidade Virtual e Aumentada, Maio 2007, pp. 1-15. In: Tecnologias para o desenvolvimento de sistemas de Realidade Virtual e Aumentada. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007.

CARDOSO, Alexandre; PAIVA, José Gustavo; SOARES, Luciano Pereira. VRML e X3D. In: **Tecnologias para o desenvolvimento de sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007.

CHAGAS, K. F; CARDOSO, A.; **Educação No Trânsito Usando ARToolkit** In: WRA 2006 III Workshop de Realidade Aumentada, 2006, Rio de Janeiro - RJ - LAMCE – COPPE, 2006. V. 01. P. 47-50.

DELAIBA, Victor ; LAMOUNIER JÚNIOR, E. A. ; CARDOSO, Alexandre ; DELAIBA, Antônio. **Conservação da energia elétrica em sistemas industriais: sob a óptica da realidade virtual**. In: SVR 2007, 2007, Petrópolis. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Porto Alegre-RS : Sociedade Brasileira de Computação, 2007. v. 1. p. 388-390.

DUARTE, M. A. **O Uso de Realidade Aumentada para Medição de Movimento**, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, 2006. Dissertação.

FÍSICA-UFSM – **Universidade Federal de Santa Maria - RS** – Grupo de Ensino de Física, Departamento de Física, 2001. Disponível em:< <http://www.ufsm.br/gef/Eleto01.htm>>. Acesso em 21 de julho de 2008.

FITZGERALD, A. E.; JR, Charles K.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas com Introdução à eletrônica de potência**. Bookman 6ª Edição Porto Alegre Brasil, 2006.pp 174-343.

ISO, 9241-11:1998 “**Guidance on usability**”, <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=16883&ICS1=13&ICS2=180&ICS3=> Acesso em 17 janeiro 2008.

JING, Zhang; et al. **Researches on Model of Navigation in CVE**. GIS Development - Technology Laboratory, May 2005. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net>> . Acesso em: 28 de janeiro 2008

KATO, H., M. Billinghurst, et al. ARToolKit version 2.33: **A software Library for Augmented Reality Applications**. 2005. Disponível em: <http://www.hitl.washington.edu/Artoolkit/>. Acesso em 28 de março 2008.

KARDJILOV N.; MANKE I., STROBL M., HILGER A., TREIMER W., MEISSNER M., KRIST T., BANHART John. **Three-dimensional Imaging of Magnetic Fields with Polarized Neutrons**. Nature Physics. 30 March 2008. Vol.: Advance online publication DOI: 10.1038/nphys912.

KIRNER, Cláudio. **ARToolKit versão 2.52**. Realidade Virtual e Aumentada, Abril de 2008. Disponível em: < <http://www.realidadevirtual.com.br> >. Acesso em: 29 de julho de 2008.

KIRNER, Cláudio. **Realidade virtual: dispositivos e aplicações**. Disponível em:<http://www.realidadevirtual.com.br/publicacoes/apostila_rv_disp_aplicacoes/apostila_rv.html>. Acesso em: 18 julho de 2008.

KIRNER, Cláudio. 1999. **Sistemas de Realidade Virtual**. Disponível em: <<http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2008.

KIRNER, Cláudio. 2005. **Sistemas de Realidade Virtual. Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual**, UFSCar. Disponível em: <<http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>>. Acesso em 06/09/2007.

KOSOW, Irving L. 1979. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 3º edição, Editora Globo, Porto Alegre, 1979.

MARQUES, Gil. **Máquinas de Indução Monofásicas** disponível em <<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/>> Acesso em 06/10/2008

MILGRAM, P. et. al. **Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum**. Telemanipulator and Telepresence Technologies, SPIE, V.2351, 1994.

NOLL, V. **Motores Elétricos** disponível em <<http://www.cefetsc.edu.br/~vnoll/Motores.PDF>> Acesso em 20/10/2008

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality - through the new looking glass**. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.

PINHO, M. S. **Interação em Ambientes Tridimensionais**. In: III Workshop de Realidade Virtual, 2000, Gramado, RS. Porto Alegre : Sociedade Brasileira de Computação, 2000.

PINHO, Márcio Serolli. **Biblioteca Gráfica OpenGL**. Disponível em: <http://www.inf.pucrs.br/~pinho/CG/Aulas/OpenGL/OpenGL.html>. Acesso em: 18 março 2007.

PROINF- **Programa Nacional de tecnologia Educacional**, 2006. Disponível em: <<http://www.uel.br/seed/nte/analisedesoftwares.html>>. Acesso em 13/03/2008.

PRUGMPER, P. 1999. Test it: **ISONORM 9241/10**. In: **H.-J. BULLINGER & J. ZIEGLER** Eds. Proceedings of HCI International, Munich, 22-27 August 1999. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

RIBEIRO, Marcos Wagner de Souza. **Arquitetura para Distribuição de Ambientes Virtuais Multidisciplinares**, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, 2006, 176p.

SCALCO, Roberto ; PEDROSO, F. M. ; RUA, J. T. ; ROIO R. D. ; FRANCISCO W. . **Desenvolvimento de um dispositivo de interação para mundos virtuais utilizando uma bicicleta como interface homem-máquina**. In: ICECE 2007 International Conference on Engineering and Computer Education, 2007. The always noble mission of the education: to work to the future. Santos : Claudio da Rocha Brito, 2007. v. 1. p. 64-64.

SILVA, Djalma N. **Física Volume Único**. Editora Ática 5º edição, 2002.

SILVA, J. C. **Aprendizagem Mediada por Computador: Uma Proposta para Desenho Técnico Mecânico**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2001

SILVA, Luciano F. **Associando Realidade Virtual Não-Imersiva e Ferramentas Cognitivas para o Ensino de Física**. Dissertação (Mestrado) Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica -UFU, 2006.

SILVA, Luiz C. M. - **Sala de Física** 2008. Disponível em: <<http://br.geocities.com/saladefisica9/biografias/maxwell.htm>>. Acesso em 13/03/2008.

SISCOUTTO, R. A.; NUNES, Eunice P. dos Santos ; FARIA, Luciana C. L. Gonçalves de ; NUNES, Clodoaldo . **EIC-RA - Desenvolvimento de Ambiente Virtual com ARToolkit para Inclusão Digital de Crianças Hospitalizadas**. In: WRA - Workshop de Realidade Aumentada, 2005, Piracicaba - SP. II Workshop sobre Realidade Aumentada, 2005. v. 1.

SOUZA, Patrícia C. (2001) **S Ferramenta de Autoria para a Criação de Ambientes Construtivistas em Realidade Virtual**. In: VIII Simposio Brasileiro de Informatica na Educacao - SBIE'97, 1997, São José dos Campos, SP. Anais do VIII Simposio Brasileiro de Informatica na Educacao, 1997, pp. 331-349.

SPLECHTNA, Rainer. et al. **ARAS - Augmented Reality Aided Surgery System Description**. 2002. Disponível em: <http://www.vrvis.at/TR/2002/TR_VRVis_2002_040_Full.pdf>. Acesso em 22 de Fevereiro de 2008.

TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOUTTO, Robson. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006.

UNESP - **Universidade do Estado de São Paulo, Engenharia Elétrica**, 2005. Disponível em <http://www.bauru.unesp.br>. Acesso em 22 de maio 2008.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA- Portugal - **Departamento de engenharia eletrotécnica**, 2000. Disponível em: <[http:// www.fct.uc.pt](http://www.fct.uc.pt)> Acesso em 24 de maio 2008

USP- **Universidade de São Paulo - SP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Metodologia e Aplicações de Radioisótopos** 2004. Disponível em :<<http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/LinkAula/My-Files/MarthaPag13.htm>> Acesso em 21 de julho 2008

Avaliação do Sistema Protótipo do Motor CA Gerando um Campo Magnético em RV e RA

Avaliador: _____ Data: ----/----/2008

Escolaridade: Curso Técnico de Informática

Disciplina: Eletroeletrônica

1) Quanto à clareza dos termos utilizados (Finalidade do Protótipo)

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

2) Quanto ao número de funções existentes no sistema (Usabilidade)

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

3) Facilidade de uso do sistema.(Funcionalidade)

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

4) Quanto a Interatividade do sistema com o usuário.

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

5) Quanto ao número de passos necessário para a realização de uma atividade no protótipo.

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

6) Controle sobre a atividade do Motor (possibilidade de interromper, suspender, etc.)

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

7) Possibilidade de visualização clara do que está sendo executado.

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

8) Quanto ao aprendizado referente a visualização do campo magnético.

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

9) Quanto ao controle do cenário de Realidade Virtual e Aumentada do motor.

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

10) Em relação ao uso da Realidade Aumentada como ajuda na compreensão do experimento?

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

11) Em relação ao uso da Realidade Virtual como ajuda na compreensão do experimento?

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito

12) Opinião geral sobre o sistema

Pouco satisfeito ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muito satisfeito