



*Pós-Graduação em Ciência da Computação*



Universidade Federal de Pernambuco

[posgraduacao@cin.ufpe.br](mailto:posgraduacao@cin.ufpe.br)

[www.cin.ufpe.br/~posgraduacao](http://www.cin.ufpe.br/~posgraduacao)

*“Sistema Programável para  
Aulas práticas de Física – SPAF”*

*Por*

*Vanildo Silva Meira*

*Dissertação de Mestrado*

RECIFE - PE

FEVEREIRO/2003

**Vanildo Silva Meira**

*Sistema Programável para Aulas práticas de Física – SPAF.*

*Dissertação apresentada à Coordenação da Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.*

*Orientador: Prof. Dr. Manoel Eusébio de Lima*

*Co-Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Gomes*

RECIFE - PE  
FEVEREIRO, 2003

**Vanildo Silva Meira**

*Sistema Programável para Aulas práticas de Física – SPAF*

*Dissertação apresentada à Coordenação da Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.*

Banca Examinadora:

---

Profa. Dra. Edna Natividade da Silva Barros – CIn – UFPE

---

Prof. Dr. Eivaldo Montarroyos Rodrigues Lima – Depto Física UFPE

---

Prof. Dr. Manoel Eusébio de Lima – CIn – UFPE

RECIFE, PE, 21 de Fevereiro de 2003

## DEDICATÓRIA

*Em especial, a meu pai que, mesmo não estando presente fisicamente, sei que mais uma vez estaria se realizando nesta conquista e minha mãe, que muito me ensinou, principalmente aquilo que não se aprende na escola, responsabilidade, honradez, honestidade e respeito,*

*Messias Gomes Meira (in memorian) e Jovelina Silva Meira*

*À minha esposa, amiga e companheira, que dentre as suas inúmeras virtudes, desde que nos conhecemos tem me incentivado a sempre querer coisas boas e a perseverar nos momentos de dificuldade, sem ela, teria sido difícil concluir este trabalho,*

*Sara Silva Lima Meira*

*Aos meus filhos, bênçãos de Deus em minha vida, que também se privaram da minha companhia e tiveram papéis importantes no cuidado dos idosos que convivem conosco,*

*Ramon e Gabriel Lima e Meira*

*Aos meus familiares que, por muitas vezes, tiveram que abrir mão da minha presença, e me deram o apoio necessário para a realização deste trabalho, em especial, Aristides, Judith, Zezito, Djalma (in memorian), Delmira, Chica (in memorian), e especialmente, a Carlos e Rose, que tão carinhosamente me acolheram nestas terras pernambucanas.*

*E, por fim, mas não finalmente, não poderia deixar de dedicar, a esta pessoa muito especial em minha vida, carinhosamente chamada de mãe Dora, a companheira, conselheira e amiga,*

*Doralize Marques Vidal*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, fonte da vida, pois sem ele nada do que foi feito se faria.*

*Ao professor Manoel Eusébio de Lima, meu orientador, pelo grande apoio dado e pela orientação precisa e constante no desenvolvimento deste trabalho.*

*Ao professor Alex Sandro Gomes, meu co-orientador, que mesmo tendo conhecido a pouco, parece uma amizade de longos anos, obrigado, pela sua grande contribuição neste trabalho.*

*Aos professores Teresa Bernarda Ludermir e Benedito de Melo Acioly, que sempre acreditaram na nossa capacidade de realizar esta tarefa.*

*Aos demais professores do Centro de Informática da UFPE, em especial, Fernando, Edna, Sérgio, Jaelson, Djamel, Judith e Flávia, com os quais tive a oportunidade de trabalhar e ao Prof. Erivaldo Montarroyos, do Departamento de Física da UFPE, que gentilmente concordou em participar da banca da nossa defesa de dissertação.*

*Aos colegas da UFPE, em especial, Abel e Abner e Paulinho, e outros com quem tive a oportunidade de trabalhar, Edson, Cristiano, Cláudio, Remy, Raimundo, Júlio e Pablo.*

*Aos colegas da UESB, indistintamente, pelo apoio recebido, fica aquele agradecimento especial.*

*À comunidade acadêmica da UESB, não poderia citar nomes, para não cometer a injustiça de deixar alguém de fora, meu muito obrigado.*

*Enfim, sou grato a todos os amigos, em especial a Eduardo e Simone, e aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Enumerá-los seria difícil. Que Deus abençoe a todos.*

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de um Sistema Programável para Aulas práticas de Física, denominado SPAF. Esta plataforma, baseada em componentes programáveis e reconfiguráveis, propõe uma metodologia para aquisição, tratamento e apresentação de dados experimentais em aulas práticas de Física. Pesquisas têm demonstrado que o uso de Sistemas Computacionais como ferramenta, através da reprodução e/ou simulação de fenômenos, tem facilitado enormemente o aprendizado dos alunos e, assim, contribuído para o ensino de Física. No entanto, tais sistemas, na sua maioria, podem representar um alto custo de implementação, além de limitações quanto à conexão de novas interfaces. Este projeto propõe o uso de uma plataforma reconfigurável de baixo custo e o desenvolvimento de uma metodologia para execução de experimentos da Física. A arquitetura proposta é baseada na plataforma de prototipação rápida Chameleon, desenvolvida no Centro de Informática – UFPE. Esta plataforma, dedicada ao desenvolvimento de projetos integrados de hardware e software, é composta de um microcontrolador, um dispositivo reconfigurável FPGA (Field Programmable Gate Array), memórias, interfaces e *cores* (biblioteca de componentes de software e hardware) customizados de acordo com os diferentes experimentos do usuário. Este sistema utiliza recursos de um sistema reconfigurável, baseado em componentes de hardware reconfiguráveis (FPGAs) que preenchem o espaço existente entre componentes de hardware e software, permitindo que aplicações de baixa velocidade e interfaces de alta velocidade possam ser facilmente implementadas em diferentes padrões em uma mesma plataforma. Arquiteturas reconfiguráveis têm sido desenvolvidas e aplicadas em uma série de áreas de ensino e pesquisa, além de produtos e processamento de imagens, biotecnologia e controle, entre outros. Estes dispositivos têm a capacidade de implementar novas funções de hardware, executar novas operações de forma mais eficiente que os processadores de uso geral, alterar sua arquitetura interna e de I/O (input/output), de acordo com novas necessidades

sem alteração dos componentes de hardware, inclusive em tempo de execução. Assim, levando-se em conta o baixo custo de microcontroladores e da flexibilidade dos dispositivos FPGAs, torna-se possível, a partir de uma única plataforma a geração rápida de protótipos de sistemas digitais em tempo reduzido e um fácil interfaceamento com diferentes tipos de dispositivos, barramentos, etc. de acordo com o novo experimento do usuário.

Palavras Chave: Ensino de Física, sistema reconfigurável, FPGA e cores.

## ABSTRACT

This work presents a proposal for developing of a Programmable System for practical of Physics Lessons, called SPAF. This platform, based on programmable and reconfigurable components, considers a methodology for acquisition, treatment and presentation of experimental data in Physics lessons. Research has demonstrated that the use of Computational Systems as tool, through the reproduction and/or simulation of phenomena, has facilitated enormously the learning of the pupils and, thus, contributing for the education in Physics. However, such systems, in their majority, can represent high cost of implementation, as well as limitations to the connection with new interfaces. This project considers the usage of a low cost reconfigurable platform and the development of a methodology for execution of experiments in Physics. The architecture proposal is based on the Chameleon platform of fast prototyping, developed in the Center of Informatics - UFPE. This platform is dedicated to the development of integrated projects of the hardware and software, and it is composed of a micro controller, a reconfigurable FPGA device (Field Programmable Gate Array), memories, interfaces and *cores* (library of software components and the hardware) customized in accordance with user's different experiments. This system uses resources of a reconfigurable system, based in reconfigured hardware components (FPGAs) that they fill the existing space between components of the hardware and software, allowing both low speed applications and interfaces easily implemented using different standards in same platform. Reconfigured architectures have been developed and applied in several areas of education and research, as well as image processing, products and biotechnology and control, among others. These devices have the capacity to implement new hardware functions to execute new operations more efficiently than the general purpose processors, to modify their internal I/O (input/output) architecture according with new necessities without alteration of the hardware components, even during execution time. Thus, micro controllers low cost and FPGAs devices flexibility make it possible to fast prototype digital systems in reduced time from just one platforms

well as easy interfacing with different types of devices, slide bars in accordance with user's new experiment.

Key Words: Physics Education, reconfigurable system, FPGA and cores

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO DOS ACERTOS DOS GRUPOS DE CONTROLE E EXPERIMENTAL .....	32
FIGURA 2 - KIT EXPERT PARA AULAS PRÁTICAS DE FÍSICA .....	35
FIGURA 3 - KIT SUPER ROBBY .....	37
FIGURA 4 - EQUIPAMENTOS DA NATIONAL INSTRUMENTS .....	37
FIGURA 5 - INTERFACE DO ROBO LAB .....	39
FIGURA 6 - KIT LABPRO – VERNIER .....	39
FIGURA 7 - TRILHO DE AR – DAEDALON .....	40
FIGURA 8 - MOVIMENTO OSCILATÓRIO - PASCO .....	41
FIGURA 9 - TEMPO DE VIDA DO PRODUTO (SISTEMA DIGITAL) X LUCRO DO FABRICANTE .....	46
FIGURA 10 - PRINCIPAIS ARQUITETURAS DOS FPGA COMERCIAIS .....	51
FIGURA 11 - ESQUEMA DOS BLOCOS DE CÉLULAS LÓGICAS .....	52
FIGURA 12 - PLATAFORMA CHAMELEON .....	59
FIGURA 13 - GERAÇÃO DOS CÓDIGOS DOS COMPONENTES .....	62
FIGURA 14 - CANAIS DE COMUNICAÇÃO .....	63
FIGURA 15 - ESBOÇO DO SISTEMA SPAF .....	67
FIGURA 16 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA SPAF .....	68
FIGURA 17 - CORES EM BANCOS DE DADOS .....	68
FIGURA 18 – ESBOÇO DA REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS .....	69
FIGURA 19 - ARMAZENAMENTO EM EPROM .....	70
FIGURA 20 - INTERFACE INICIAL DO SISTEMA SPAF .....	72
FIGURA 21 - INTERFACE DE UMA EXPERIÊNCIA .....	73
FIGURA 22- RESULTADO DE UMA EXPERIÊNCIA .....	73
FIGURA 23 - BASE DE DADOS (HOST) COM OS ARQUIVOS DE CONFIGURAÇÃO DO FPGA .....	79
FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO DE UMA EXPERIÊNCIA NO SPAF .....	80
FIGURA 25 - FUNCIONAMENTO DE UM TERMOPAR .....	82
FIGURA 26 - EXPERIMENTO COM VARIAÇÃO DE TEMPERATURA .....	83
FIGURA 27 - EXECUÇÃO DE UMA EXPERIÊNCIA .....	84
FIGURA 28 - SEQÜÊNCIA DE ATIVAÇÃO DO CONVERSOR AD (LEITURA DE DADO) .....	85
FIGURA 29 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO HOST .....	85
FIGURA 30 – GRÁFICO DA CURVA DE AQUECIMENTO DE UM CORPO .....	86
FIGURA 31 – GRÁFICO DA CURVA DO RESFRIAMENTO DE UM CORPO .....	86
FIGURA 32 - POSIÇÃO INICIAL DA ESFERA .....	88
FIGURA 33 - QUEDA DA ESFERA .....	88
FIGURA 34 - ESFERA ATRAVESSA O SENSOR ÓTICO .....	89
FIGURA 35 - CIRCUITO DO RELÉ ELETROMAGNÉTICO .....	89

FIGURA 36 - CIRCUITO DO SENSOR ÓTICO .....	90
FIGURA 37 – ESQUEMA DO PROGRAMA DA INTERFACE PRINCIPAL COM O USUÁRIO .....	106
FIGURA 38 - ESQUEMA DO PROGRAMA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DA TEMPERATURA .....	107
FIGURA 39 - ESQUEMA DO PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DA TEMPERATURA .....	108
FIGURA 40 - ESQUEMA DO CORE PARA CONTROLE DO CONVERSOR AD .....	109
FIGURA 41 - ESQUEMA DO PROGRAMA PARA AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DE QUEDA LIVRE.....	110
FIGURA 42 - ESQUEMA DO PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR PARA QUEDA LIVRE .....	111
FIGURA 43 - ESQUEMA DO CORE DE CONTROLE DO EXPERIMENTO DE QUEDA LIVRE .....	112

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>16</b>
2.1 EPISTEMOLOGIA DA FÍSICA.....	17
2.1.1 <i>Principais dificuldades dos estudantes em compreender conceitos da Física.....</i>	<i>19</i>
2.1.2 <i>Comprovação que os Sistemas Computacionais favorecem a Aprendizagem da Física.....</i>	<i>26</i>
2.2 <b>KITS E INTERFACES APLICADOS AO ENSINO.....</b>	<b>34</b>
2.2.1 <i>Kit Expert.....</i>	<i>34</i>
2.2.2 <i>Kit Super Robby (ARS Consult).....</i>	<i>36</i>
2.2.3 <i>Kits da National Instruments.....</i>	<i>37</i>
2.2.4 <i>Kit LabPro da Vernier.....</i>	<i>39</i>
2.2.5 <i>Kit Trilho de Ar da Daedalon.....</i>	<i>40</i>
2.2.6 <i>Kit Movimento Oscilatório da Pasco.....</i>	<i>41</i>
2.3 DISCUSSÃO.....	42
<b>3 HARDWARE RECONFIGURÁVEL E A PLATAFORMA CHAMELEON.....</b>	<b>43</b>
3.1 HARDWARE / SOFTWARE CO-DESIGN.....	44
3.2 SISTEMAS RECONFIGURÁVEIS.....	47
3.2.1 <i>FPGA (Field Programmable Gate Arrays).....</i>	<i>48</i>
3.2.2 <i>DPGA (Dynamically Programmable Gate Arrays).....</i>	<i>53</i>
3.2.3 <i>Cores (Módulos de Bibliotecas).....</i>	<i>54</i>
3.3 A PLATAFORMA DE PROTOTIPAÇÃO CHAMELEON.....	57
3.3.1 <i>Uma visão geral da Plataforma Chameleon.....</i>	<i>58</i>
3.3.2 <i>Componentes de Hardware.....</i>	<i>59</i>
3.3.3 <i>Componentes de Software.....</i>	<i>60</i>
3.3.4 <i>Ferramentas de desenvolvimento do Chameleon.....</i>	<i>61</i>
3.3.5 <i>A interface de comunicação.....</i>	<i>62</i>
3.3.6 <i>Configuração da placa de Prototipação.....</i>	<i>63</i>
3.4 CONCLUSÃO.....	64
<b>4 SISTEMA PROGRAMÁVEL PARA AULAS PRÁTICAS DE FÍSICA – SPAF.....</b>	<b>65</b>
4.1 A PLATAFORMA SPAF.....	66
4.2 METODOLOGIA DE PROJETO PARA EXECUÇÃO DE EXPERIÊNCIAS.....	67
4.3 GERAÇÃO DE INTERFACES.....	71
4.4 INTERFACE COM O USUÁRIO.....	71
4.5 CARACTERÍSTICAS PEDAGÓGICAS.....	74
4.6 OBJETIVOS EDUCACIONAIS.....	75
4.7 CONCLUSÃO.....	77

<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>78</b>
5.1. EXPERIÊNCIA EM TERMODINÂMICA (VARIAÇÃO DE TEMPERATURA) .....	81
5.1.1 <i>Introdução</i> .....	81
5.1.2 <i>Resultados esperados</i> .....	82
5.1.3 <i>Procedimento</i> .....	83
5.1.4 <i>Conclusões</i> .....	87
5.2. EXPERIÊNCIA EM CINEMÁTICA (QUEDA LIVRE) .....	87
5.2.1 <i>Introdução</i> .....	87
5.2.2 <i>Resultados esperados</i> .....	87
5.2.3 <i>Procedimento</i> .....	88
5.2.4 <i>Conclusões</i> .....	93
<b>6 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS.....</b>	<b>94</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>105</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar esta dissertação, indicando a motivação, o escopo e a estrutura deste trabalho.

A Física Moderna grande afinidade com a ciência da computação, seja quando nos referimos a circuitos, num nível de abstração próximo aos transistores e circuitos elétricos ou em um nível mais alto, quando falamos de programas de computador para simulação, emulação e interface com o usuário. Desde o advento dos primeiros computadores eletrônicos na década de 40, sua principal utilização sempre foi baseado no processamento de cálculos matemáticos, isto fez com que a Física fosse uma das primeiras áreas do campo das Ciências onde foram introduzidos os sistemas computacionais.

A utilização do computador no laboratório de Física, nos dias atuais, vai desde a coleta, processamento e exibição de dados de experiências, até a administração de laboratórios, digitação e confecção de apostilas, provas e relatórios técnicos.. Mais recentemente, com o surgimento da Internet outros serviços importantes foram oferecidos aos pesquisadores, como listas de discussão, onde projetos e teorias podem ser debatidas entre cientistas do mundo inteiro. Entretanto, durante as últimas décadas do século passado, não havia grande preocupação com a aplicação de um modelo pedagógico e nem tão pouco a avaliação dos resultados obtidos com a utilização destes sistemas computacionais no ensino da Física (ROSA, 1995).

Somente a partir da década de 90 pesquisadores começaram a observar o potencial do computador como ferramenta de trabalho e ensino e como otimizar o uso de tal recurso no aprendizado dos alunos. Percebeu-se que os sistemas computacionais favoreciam tanto a aprendizagem bem como a retenção dos conhecimentos e ajudavam os estudantes a superar seus limites cognitivos atuando em áreas pouco afetadas pela instrução tradicional (sem a utilização de recursos computacionais) (McDERMOT, 1993).

Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidos muitos programas de computador, componentes e sistemas voltados para o ensino. De um lado temos Softwares Educativos (PHYSLINK), de outros, componentes baseados em hardware, como sensores (VERNIER; PASCO) que são usados para captar sinais provenientes de experiências que são processados em microcomputadores de uso geral.

A Física, por ser uma ciência exata, parece representar uma das áreas mais temidas pelos estudantes (HARRES, 1993; FARIAS, 1993). Em nossa pesquisa bibliográfica pudemos constatar que existem muitas dificuldades dos alunos em

compreender os conceitos da Física e que a introdução dos sistemas computacionais tem realmente favorecido a aprendizagem.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma para auxiliar o ensino de Física que foi chamado de Sistema Programável para Aulas práticas de Física (SPAF). Este sistema que é baseado em uma plataforma reconfigurável será descrito em detalhes nos capítulos seguintes.

Esta dissertação está estruturada em capítulos como descrito seguir:

No Capítulo 2, é feita uma revisão do ensino de Física, observando as principais dificuldades encontradas por estudantes nesta área, os benefícios da utilização de sistemas computacionais, e algumas interfaces e plataformas existentes no mercado com fins educacionais.

O Capítulo 3, é dedicado a apresentação de metodologias de projeto e apresentação da estrutura da plataforma que serve de base para o Sistema SPAF.

No Capítulo 4, uma descrição detalhada do sistema SPAF é apresentada.

Um estudo de caso detalhando experiências de Física e resultados de um experimento realizado com a aplicação da plataforma são apresentados no capítulo 5.

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros são abordados no capítulo 6.

## 2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são abordados temas relacionados ao ensino da Física e como sistemas computacionais vem sendo utilizados como ferramentas de apoio à aprendizagem dos alunos.

## 2.1 EPISTEMOLOGIA DA FÍSICA

Uma grande idéia nasce no momento em que é concebida, toma forma e é exposta à comunidade. Por exemplo, quão revolucionário foi a roda, que até hoje está presente em boa parte das invenções modernas. No entanto, ela não surgiu do nada. Tendo se materializado e passado a existir num determinado momento da evolução do conhecimento humano. A roda é apenas um fruto da criatividade humana que evoluiu ao longo do tempo.

Desde os primórdios da sua existência na terra, o homem se esforça para compreender e explicar a realidade à sua volta. No estudo da Física, em particular, podemos verificar que concepções evoluíram e/ou "involuíram" ao longo do tempo. Por exemplo: a noção de calor. Notamos que, sem um instrumental eficiente, os estudiosos tentavam descrevê-la de acordo com a sua intuição e dotes filosóficos. A história nos mostra uma evolução de duas correntes diferentes, a substancialista e a mecanicista. Embora a descrição mantida atualmente tenda para uma delas, as contribuições da outra foram fundamentais, ou seja, a progressão da primeira só pode ser feita tomando empréstimos da segunda e vice-versa. (ASTOLPHI e DEVELAY, 1991). Estas são as correntes de idéias que procuraram descrever o conceito de calor:

- A corrente **substancialista** considerava o calor como sendo uma substância contida nos corpos. A primeira tentativa de descrição remonta à Antigüidade, e às quatro qualidades da matéria de Aristóteles: o calor, o frio, a umidade e a aridez, correspondendo aos quatro estados desta mesma matéria: o fogo, a água, a terra e o ar. Mais tarde supõe-se que o calor era proveniente do sol e o frio da água. Esta idéia perdurará até a idade média, passando por Boyle e Galileu. Somente no século XVIII, devido ao "avanço" nas pesquisas da química, com Stahl e Becher, nascerá a idéia do "flogístico", uma substância que seria contida em todos os corpos e que se manifestaria através da sua separação da matéria quando se dá a combustão. Em paralelo à idéia do "flogístico" surge a do

"calórico", enunciada por Wolff, que estaria impregnando toda a matéria e que se manifestaria por causa de um desequilíbrio. Tentava-se explicar a mudança de temperatura dos corpos que não estão em combustão. A temperatura aparece aqui como uma "gradação" de calor. Mesmo com os sucessos aparentes dessa teoria, nunca foi possível mostrar a sua existência.

- A corrente ***mecanicista***, que caminhando paralelamente à substancialista, considera o calor como uma troca de movimento entre as partículas. Platão foi o primeiro a formular a hipótese de que o fogo punha em movimento as partículas da matéria comprimidas pelo ar. Para ele, o aquecimento de um corpo conduziria a um aumento do seu volume, ou seja, a sua dilatação. Na idade média, Kepler, Bacon, Descartes e outros descrevem os estados térmicos de um corpo em termos de movimentos ou vibrações de partículas de matéria. A distinção entre calor e temperatura não aparece. Esta abordagem é principalmente uma teoria da temperatura.

Mais tarde, Laplace e Lavoisier, realizaram uma síntese das teorias *substancialista* e *mecanicista*, introduzindo a noção de quantidade de calor contida num corpo, como uma força viva das vibrações, distinta dessas vibrações, distinta da temperatura que é uma medida da agitação das partículas. A criação do termômetro desanimou os defensores da teoria do calor-substância. No entanto, a assimilação do calor como uma substância, continua eficaz ainda hoje para os problemas de isolamento. Mas, em contrapartida, esta visão impede que se compreenda a equivalência entre calor e trabalho mecânico.

Em muitos outros campos de estudo da Física (em eletricidade, por exemplo), a *substancialização* do fenômeno cria um obstáculo, que em geral, só é ultrapassado pela ruptura criada pela passagem do qualitativo ao quantitativo, através da introdução de medidas feitas por instrumentos convenientes.

### 2.1.1 PRINCIPAIS DIFICULDADES DOS ESTUDANTES EM COMPREENDER CONCEITOS DA FÍSICA

Da mesma forma que ao longo dos anos, os estudiosos tiveram dificuldades para descrever e explicar os fenômenos da natureza, observamos até hoje a dificuldade de alunos de Física em compreender e descrever tais fenômenos (ASTOLPHI e DEVELAY, 1991). Principalmente aqueles que estão à sua volta como: a queda dos corpos, movimento de objetos, luz, eletricidade e os estados da matéria. Para um observador a "olhos nus" é muito mais fácil supor que o sol gira em torno da terra do que o contrário. É muito mais fácil achar que a terra é plana e não esférica.

O trabalho de Laburu e Arruda (1998) discute situações de controvérsia e conflito cognitivo na aprendizagem da Física. Certas situações de sala de aula foram gravadas em vídeo e mostram algumas dificuldades dos alunos em compreender certas noções básicas de termodinâmica. Alguns dos diálogos são reproduzidos a seguir:

#### **Cena 1:**

Professor: "... Eu queria saber se vocês tem alguma idéia da diferença entre calor e temperatura?"

Aluno: "... A temperatura seria a quantidade de calor... quanta caloria tem nos objetos quentes... Calor é o quanto se põe de quentura na água... A temperatura mede o quanto está quente".

#### **Cena 2:**

Professor: "... Durante a fervura a temperatura da água fica constante como alguns de vocês falaram também. Ela não sobe mais enquanto está fervendo... Se a temperatura da água não está mudando, mas o fogo continua fornecendo calor, como é que a temperatura pode ser a mesma?"

Aluno1 "... Pode ser que o termômetro não tava [sic] muito bom..." – *Hipótese rejeitada pelo professor* - "Se você aquece tem que aumentar a temperatura cada vez mais. Como a temperatura fica constante se tá [sic] havendo

caloria?... pode ser que a caloria se perde [sic] pelo vidro (*recipiente*), por isso fica constante.”

Aluno2 "... Não será porque o dia tá [sic] muito frio e tá [sic] perdendo muito calor para fora?"

Aluno3: "... Depende da capacidade do fogo. Porque a temperatura se restringe à capacidade do fogo..."

Observa-se na primeira cena a dificuldade do aluno em diferenciar calor e temperatura. Já na segunda, os alunos se prendem a algumas pré-concepções, como por exemplo, a questão do aumento da temperatura. Para eles a temperatura deveria continuar a subir indefinidamente, mesmo quando o instrumento de medição (termômetro) acusava uma temperatura constante (ponto de ebulição). Como se pode observar são várias tentativas para justificar o fenômeno: de um possível defeito no termômetro até uma suposta “capacidade do fogo”.

Desde as últimas décadas do século passado, surge uma preocupação com relação às concepções pré-existentes dos alunos sobre determinados conceitos da Física, concepções estas que atrapalham ou impedem a compreensão dos conceitos verdadeiros (ZYLBERSZTAJN, 1985).

Durante muitos anos as idéias (ou "pré-conceitos") dos alunos ficaram conhecidas como "misconceptions" ou "misunderstandings", ou seja, concepções errôneas ou desconhecimento do assunto. Hoje, nota-se uma tendência entre os pesquisadores em usar expressões com uma conotação negativa menos acentuada: "*alternative frameworks*", "*alternative conceptions*", "*children's science*" e "*concepções espontâneas*".

O dialogo reproduzido abaixo é imaginário, mas poderia ser visto em qualquer sala de aula de Física:

*Professor: "... uma pedra foi lançada verticalmente para cima por uma pessoa.*

*Quais as forças que agem sobre ela durante o movimento?"*

*Aluno: "... tem uma força para cima."*

*Professor: "... eu estava pensando quando a pedra já abandonou a mão da pessoa."*

*Aluno: "Sim... é para cima, pois a pedra está subindo... quando ela cai a gravidade puxa ela para baixo."*

Muitos estudantes tendem a associar uma força com a velocidade de um objeto e não a sua aceleração. Não faltam aqueles que pensam que a gravidade terrestre só atua em objetos em queda.

Situações como aquela descrita no diálogo imaginário evidenciam o fato de que crianças e adolescentes desenvolvem espontaneamente e trazem para as salas de aula concepções a respeito dos fenômenos físicos. Estas noções originam-se tanto através da experiência direta com o mundo físico, como também através de experiências indiretas com o mesmo, isto é, mediada pela interação social e lingüística com o círculo familiar, comunidade e meios de comunicação. Pesquisas têm demonstrado que estas concepções, na forma de expectativas, crenças, princípios intuitivos e significados atribuídos a palavras cobrem uma vasta gama dos conceitos que fazem parte dos currículos de disciplinas científicas. É igualmente verdadeiro que, para muitos, algumas destas noções são fortemente incorporadas à sua estrutura cognitiva, tornando-se resistente à instrução (ZYLBERSZTAJN, 1985).

Tradicionalmente professores e pesquisadores devotaram pouca atenção à existência de tais noções, considerando-as simplesmente erros que seriam facilmente corrigidos. Por isso, problemas relativos ao ensino de Física tem sido mais comumente ligados ao uso de técnicas matemáticas e menos às dificuldades de nível conceitual. Apenas mais recentemente pesquisadores em Ensino de Ciências parecem ter se dado conta das implicações educacionais decorrentes do fato de que alunos constroem concepções a respeito da realidade que os cercam. Concepções estas que lhes proporcionam uma compreensão pessoal desta realidade, influenciando na maneira pela qual estes alunos aprendem (ou deixam de aprender) os conceitos que lhes são ensinados.

A crescente quantidade de estudos demonstrando a ocorrência de concepções espontâneas relativas a vários tópicos permitem aos pesquisadores na área afirmar que:

Na realidade há um confronto entre a Física ensinada (oficial) e a espontânea e sem dúvida o objetivo do ensino é a aprendizagem da oficial; este confronto muitas vezes se realiza de forma pouco harmoniosa e seu resultado não é uma visão conceitual coerente e rica, mas a superposição e justaposição de conceitos de diferentes origens e alcance, que prejudicam qualquer pretensão de aprofundamento teórico do aluno. (VILANI e outros, 1982)

Aceitando-se este ponto de vista, coloca-se então a questão prática sobre que implicações para o ensino poderiam daí se derivar. Uma conclusão a que poder-se-ia chegar é que:

Não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções espontâneas que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não se cuidar adequadamente da Física espontânea dos alunos sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais os alunos escolherão uma dependendo do contexto; em geral quando o problema envolver muitos elementos formais usarão a aprendizagem formal; quando o problema envolver elementos do dia-a-dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esquema espontâneo. (VILANI e outros, 1982)

O trabalho de Harres (1993) mostra as principais dificuldades dos estudantes no campo da ótica e algumas características marcantes das suas concepções alternativas. Participaram deste estudo 57 (cinquenta e sete) alunos do 2º grau de uma escola técnica de Novo Hamburgo e 95 (noventa e cinco) alunos do 3º grau da PUC de Porto Alegre. Foi aplicado um teste constituído por 15 (quinze) itens, cada item contendo de 3 a 5 alternativas. Ao final da análise das respostas dos alunos o desempenho foi considerado medíocre (média de 50% de acertos) visto que todos os alunos já tinham estudado os tópicos básicos de ótica propostos no teste. Nas questões que envolvem o processo de visão, 30% dos alunos demonstraram concebê-lo erroneamente. Em questões envolvendo a imagem de um objeto num espelho, 40% dos alunos não responderam corretamente. No item que envolve vários conceitos básicos simultaneamente, apenas 12% dos alunos responderam

corretamente. Sendo que no último item, apenas 2 dos 154 (cento e cinquenta e quatro) alunos envolvidos na pesquisa responderam corretamente (1,3 %).

Neste estudo são discutidas as principais concepções alternativas dos estudantes no campo da ótica. A mais importante delas é o não reconhecimento da propagação da luz. Em geral, a luz é definida como "estando" localizada na fonte emissora ou no objeto iluminado. Mesmo quando a propagação da luz é reconhecida, muitas vezes são identificadas "*propriedades*" diferentes daquelas propostas pela ciência como: "*o alcance de uma fonte depende da sua intensidade luminosa*" ou "*sua propagação envolve um movimento curvilíneo*". É comum aos estudantes considerar que para enxergar um objeto não é necessário que venha luz do objeto aos nossos olhos. Alguns se apegam ao modelo de "raios visuais" proposto por Aristóteles, para explicar o processo da visão. Outras vezes, a qualidade da visão está associada à clareza que a tudo envolve. Eles chegam ao extremo de afirmar que conseguem "*enxergar*" a propagação da luz no espaço. Muitas outras concepções alternativas foram detectadas como: "*objetos opacos não refletem luz*". Com relação a uma imagem num espelho, em primeiro lugar já acarreta dificuldade o reconhecimento de que a imagem se forma "dentro" do espelho, mesmo que este dentro seja virtual. Uma concepção muito comum é que se um objeto não estiver diante de um espelho este não produzirá imagem.

Com relação às características marcantes das concepções alternativas dos estudantes, a primeira delas, e provavelmente a mais importante, é que, em geral, não correspondem às explicações e descrições que a ciência faz hoje. Outro fato importante é a sua transculturalidade, ou seja, são identificadas de modo semelhante nas mais diversas culturas. A resistência à instrução parece também ser uma característica marcante, independente da faixa etária e o tempo de envolvimento com a instrução tradicional de ciência. Isto se dá pela visão egocêntrica do mundo que é detectado na infância. Porém este comportamento é observado muitas vezes na adolescência e na idade adulta. Por um outro lado, considerar o aluno, no início da instrução, uma "tábula rasa", ou seja, na estaca "zero" do conhecimento, é certamente um grande equívoco e prenúncio de uma aprendizagem difícil.

Conclui-se que os estudantes, em geral, apresentam consideráveis dificuldades nos tópicos introdutórios da ótica geométrica. Sugerindo uma atenção especial na abordagem destes tópicos pelos autores de livros didáticos e aos professores uma postura que propicie a reformulação conceitual, desenvolvendo atividades que possibilitem ao estudante percorrer o caminho desde as suas concepções alternativas até as concepções científicas.

Em seu estudo Farias (1999) avalia as dificuldades na compreensão de conceitos elementares de Eletricidade e Magnetismo de um grupo de 34 (trinta e quatro) alunos de Engenharia Civil e Química da Universidade Federal de Alagoas, após terem cursado a disciplina Física III (Eletricidade e Magnetismo) e estarem cursando Física-Laboratório II. O procedimento utilizado foi realizar uma experiência envolvendo esferas metálicas e em seguida solicitado aos alunos que efetuassem o mapeamento do campo elétrico gerado. Depois de concluído o trabalho verificou-se que apenas 2 alunos responderam corretamente, outros 10 (dez) responderam de forma aproximada e outros 3 conseguiram dizer pouca coisa sobre o assunto.

Porém, nenhum aluno respondeu amplamente a questão. Deste grupo, 14 (catorze) alunos tentaram responder, mas com justificativas inconsistentes, outros 5 alunos responderam incorretamente demonstrando pouca ou nenhuma fundamentação teórica. Baseado nestes dados concluiu-se que realmente existem muitas dificuldades na aprendizagem dos conceitos elementares de Eletricidade e Magnetismo.

Uma pesquisa feita nos Estados Unidos (ROSENQUIST e MCDERMOT, 1997) revela que o ensino dos conceitos básicos da cinemática, em muitos ambientes educacionais, tem sido resumido ao estudo das equações do movimento. As práticas de laboratório não tem atendido às necessidades dos estudantes. Conceitos como o de velocidade instantânea, tem sido trabalhados muito superficialmente. As dificuldades encontradas pelos alunos na compreensão dos conceitos básico da cinemática muitas vezes é confundido com uma falta de base em Matemática. É lógico que há uma necessidade de que o aluno compreenda

os conceitos básicos da Matemática, mas, em estudos anteriores os pesquisadores notaram que uma das principais dificuldades dos alunos era interpretar gráficos de movimento. Para superar tais limites Rosenquist e McDermot sugerem exercícios específicos, baseados na observação direta de movimentos e, a partir daí, eles passam a reconhecer características-chaves em cada movimento e a entender os conceitos relevantes, em outras palavras, uma reformulação curricular onde os enfoques diretos passam a ser, de início, a identificação dos principais limites cognitivos dos estudantes, como por exemplo, a distinção entre posição e velocidade, a confusão entre velocidade e aceleração, etc., e, posteriormente, do trabalho específico nestas dificuldades. Uma das principais maneiras da compreensão da cinemática é o entendimento da conexão que existe entre os respectivos gráficos do movimento e conceitos elementares. Para tanto os alunos devem aprender a construir estes gráficos e a analisá-los.

Diante do exposto, observa-se que as maiores dificuldades encontram-se no campo dos fenômenos da natureza, ou seja, aqueles que acontecem no dia a dia das pessoas. Dentre estes fenômenos destacamos o movimento dos corpos no campo gravitacional da terra. Os estudantes freqüentemente associam velocidade com a posição de objetos móveis (TROWBRIDGE e MDERMOTT, 1980; HEWSON, 1985), confundem a velocidade com a aceleração ou criam analogias entre elas (TROWBRIDGE e MDERMOTT, 1981; WHITAKER, 1983) e, finalmente, demonstram muitas dificuldades na interpretação de gráficos e quando usam representações estroboscópicas dos movimentos, ou seja, movimentos em câmara lenta (MCDERMOTT e outros, 1987; BEICHNER, 1994).

As pesquisas sugerem também que a instrução convencional é ineficaz em tratar com as concepções errôneas. As concepções alternativas dos estudantes sobre velocidade e aceleração, por exemplo, são consideradas não serem facilmente afetadas pelos tradicionais métodos instrutivos. Transformar idéias e corrigir defeitos do conhecimento dos estudantes na Física está além do alcance dos métodos tradicionais de ensino porque tendem a ignorar a possibilidade de que a percepção dos estudantes é possivelmente diferente daquela do professor (MCDERMOTT, 1993).

Portanto, diante das dificuldades vistas nesta seção, o alvo principal de uma metodologia alternativa de ensino deve então ser o desenvolvimento de circunstâncias tais que facilitam o engajamento ativo dos estudantes na compreensão e no aprendizado da Física. Além disso, tal metodologia deve permitir aos estudantes aplicar eficazmente conceitos e princípios físicos em novas situações. Ferramentas de ensino que utilizam sistemas computacionais como suporte didático podem ser utilizados eficientemente como mecanismos de auxílio na modelagem de problemas associados a fenômenos físicos.

### 2.1.2 COMPROVAÇÃO QUE OS SISTEMAS COMPUTACIONAIS FAVORECEM A APRENDIZAGEM DA FÍSICA

Desde o início da década passada, estudos mostram que ferramentas de laboratório baseados em microcomputadores em tempo real (*Microcomputer-Based Laboratory* ou *MBL*) são fundamentais para a solidificação dos conceitos básicos da cinemática (THORNTON e SOKOLOFF, 1990). Uma das ferramentas discutidas neste trabalho é chamada de *MOTION DETECTOR* (Detector de Movimento) que é composta por um conjunto de módulos de hardware e software específicos e é usada para a medição, exibição e gravação da posição, velocidade e aceleração de um objeto. Através das ferramentas de laboratório, os estudantes são ativamente envolvidos na sua aprendizagem, estimulados a fazer prognósticos (esboços) do movimento dos objetos, discutir com os demais alunos em grupo e a estabelecer suas próprias conclusões.

Durante três anos os pesquisadores estudaram as ferramentas computacionais e o quanto efetivamente estas ferramentas podem auxiliar o ensino da cinemática. A avaliação dos alunos consistiu na aplicação de um teste antes da aplicação das ferramentas no ensino e num teste posterior às mesmas. Estes testes eram compostos de uma parte envolvendo questões de múltipla escolha e por outra parte onde os alunos deveriam escrever as suas respostas e desenhar gráficos. Após o trabalho, concluiu-se a existência de fortes evidências de que o aprendizado

assistido pelas ferramentas de computador facilitam a compressão e a retenção dos conceitos da cinemática. Dentre os pontos positivos desta pesquisa destacam-se:

- **Foco nos fenômenos reais** – Os estudantes aprendem os conceitos pela investigação dos fenômenos reais em comparação à simbologia e abstrações do ensino tradicional.
- **Realimentação (Feedback) imediatamente disponível** – A repetição dos experimentos são fundamentais para o entendimento dos conceitos básicos e ajudam na compreensão de conceitos mais abstratos. É uma característica importante das simulações em computador.
- **Engajamento dos estudantes** – Eles são estimulados a se engajarem efetivamente nas experiências e a expressar suas opiniões e discutir suas expectativas de resultados. Este recurso é considerado como um poderoso auxílio no processo aprendizagem.
- **Ferramentas poderosas reduzem trabalhos desnecessários (ou inacessíveis)** – Experiências que consomem muito tempo ou que acontecem muito rápido, experiências caras ou de difícil execução bem como aquelas que oferecem riscos à saúde (materiais radioativos ou tóxicos) podem ser facilmente reproduzidas (ou simuladas) em computador. Os estudantes concentram-se apenas nos dados essenciais.
- **Compreensão dos estudantes de assuntos específicos e familiares antes de passar ao geral e abstrato** – O meio ambiente educacional guiado pelo computador leva os estudantes a entender do mais simples ao mais complexo. O nível de dificuldade pode ser controlado facilitando a abstração das leis da Física de fenômenos complexos e processos reais.

Em seu trabalho Rosa (1995) discute as possibilidades da utilização do computador no ensino de Física e faz um estudo do modo como ele vem sendo utilizado. Existem muitas possibilidades de aplicação em praticamente todo o tipo de ensino. As que estão mais direcionadas ao ensino de Física são:

1. **Coleta e análise de dados em tempo real** – A grande vantagem desta utilização é a rapidez no registro (entrada), processamento (cálculos -

desde os mais simples aos mais complexos) e exibição (tabelas, gráficos, etc.) dos dados oriundos de experiências, favorecendo ao aluno permitindo-o dedicar mais tempo à análise dos mesmos.

2. **Simulação de fenômenos físicos** – Neste tópico podemos destacar dois tipos de simulação: Estática e Dinâmica. No primeiro caso o fenômeno já se encontra pronto, cabendo ao aluno apenas a manipulação de parâmetros e a observação dos resultados. No segundo, o aluno deve elaborar um modelo explicativo do fenômeno e sua implementação, quer seja através de programação ou de escolha dentre situações já programadas.
3. **Instrução assistida por computador** – Nela, o computador funciona como um tutor, que pode variar, de um modelo simples ao mais complexo, também chamado de tutor inteligente, baseado nas mais novas técnicas de inteligência artificial. Os tutores funcionam como guias num programa de aprendizagem.

Com relação à real aplicação dos computadores, Rosa analisa 182 (cento e oitenta e dois) artigos publicados nas revistas nacionais, **Tecnologia Educacional**, **Revista Brasileira de Ensino de Física** e **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física** e nas revistas internacionais, **American Journal of Physics**, **Physics Education**, **European Journal of Science Education**, **International Journal of Science Education**, **Physics Teacher**, **Science Education**, **Journal of Research in Science Teaching** e **Physics Today**, no período de 1979 a 1992. A ênfase do estudo foram os artigos cujos temas tratassem direta ou indiretamente o ensino de Física. A partir da análise dos artigos foram levantadas oito categorias de acordo a utilização do computador:

1. Ferramenta de laboratório para controle em tempo real de experimentos.
2. Usado como administrador.
3. Como avaliador de aprendizagem.
4. Introdução à Informática.
5. Análise de dados proveniente de laboratório.
6. Simulações de situações Físicas.

7. Instrução individualizada.

8. Outras.

Das aplicações possíveis a mais utilizada foi como simulação (59 artigos), seguida pelo uso do computador como ferramenta para coleta de dados em tempo real (40 artigos), ferramentas de análise de dados (27 artigos) e instrução assistida (22 artigos).

As conclusões do trabalho, entretanto, revelam que até o início da década de 90 os computadores eram utilizados indiscriminadamente sem que houvesse uma preocupação com a avaliação dos resultados obtidos e sem que existisse um projeto educacional embasado em alguma teoria de aprendizagem que justifique a introdução desses equipamentos na escola.

A partir dos anos 90, nota-se a preocupação com a avaliação dos resultados obtidos e a procura de se estabelecer projetos educacionais visando um melhor aproveitamento do computador no laboratório de Física. Tal utilização foi discutida na V Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física realizada em Porto Alegre, RS, em 1992, e trás em suas conclusões um documento que diz o seguinte:

Recomenda-se a incorporação, quando seja possível, do computador ao trabalho experimental. Isto pode ser feito, até o momento, principalmente de três maneiras:

1. Como ferramenta de cálculo usando-o como calculadora tradicional poderosa, mediante o uso de programas especialmente projetados ou incorporando utilitários como as planilhas de calculo.
2. Como instrumento para a tomada e análise de dados mediante o uso de sensores e interfaces adequados.
3. Como simulador de experiências, o que deverá limitar-se àqueles casos em que o trabalho experimental proposto seja muito custoso e se careça do equipamento ou em razão do alto risco da realização de um experimento (V RELAEF, 1992).

Do ponto de vista computacional, os modelos de sistemas utilizados no ensino de Física pertencem a duas categorias (BLISS, 1996):

- I. EXPLORATÓRIOS, que são construídos por peritos para representar o conhecimento do domínio. Geralmente são os micromundos que simulam processos e leis Físicas. Tais modelos incentivam estudantes, exploram e interagem com eles. É possível fixar parâmetros e observam seus resultados; e
- II. EXPRESSIVOS, que permitem estudantes expressar suas próprias idéias em um domínio. Fornecem aprendizagem com as ferramentas para definir relacionamentos entre conceitos, exploram as conseqüências daqueles relacionamentos das definições dos estudantes e aprendizagem como um processo ativo de representar seus próprios modelos.

A pesquisa de Jimoyiannis e Komis (2001), feita na Grécia, investiga os efeitos de simulações de computador na compreensão dos estudantes dos conceitos cinemáticos básicos. As questões básicas da pesquisa são: *Quais as principais dificuldades enfrentadas por estudantes ao aplicar os conceitos de velocidade e de aceleração em movimentos simples no campo gravitacional? Quais são os efeitos do uso das simulações nas concepções alternativos dos estudantes? O uso das simulações pelos estudantes ajuda desenvolver modelos científicos?*

Participaram da pesquisa 90 (noventa) estudantes do 1º ano do curso secundário da escola Lyceum (idade entre 15-16 anos). A maioria destes estudantes (66,6%) tinha experiência com o computador. Eles foram divididos em dois grupos, controle e experimental, o primeiro com 60 (sessenta) estudantes e o segundo com 30 (trinta). A pesquisa ocorreu aproximadamente cinco meses depois que os estudantes tinham recebido o ensino dos conceitos básicos de cinemática (velocidade e aceleração, movimento linear, movimentos simples da trajetória como a queda livre e o lançamento vertical e horizontal no campo gravitacional da terra). Aos estudantes do grupo experimental foram oferecidas duas aulas de uma hora usando o microcomputador.

O estudo ficou restrito a queda livre. Pediu-se a todos os estudantes para responder questões (cujos temas são relacionados a seguir) e justificá-las sem usar expressões matemáticas.

- **Tarefa T1a** - comparação da velocidade de duas esferas em queda livre partindo simultaneamente da mesma altura;
- **Tarefa T1b** - comparação da aceleração de duas esferas em queda livre que começam simultaneamente da mesma altura;
- **Tarefa T2a** - comparação das velocidades de duas esferas que caem livremente começando de alturas diferentes;
- **Tarefa T2b** - comparação da aceleração de duas esferas em queda livre que começam simultaneamente de alturas diferentes;
- **Tarefa T3a** – comparação da velocidade de uma esfera em queda livre e de uma esfera lançada horizontalmente a partir da mesma altura; e
- **Tarefa T3b** - comparação da aceleração de uma esfera em queda livre e de uma esfera lançada horizontalmente da mesma altura.

As respostas dos estudantes foram catalogadas e após a sua análise produziu-se um conjunto de modelos mentais (raciocínio dos alunos) que foram classificados nas categorias:

- **Respostas Corretas** - Quando baseadas em modelos científicos relevantes.
- **Ineficientes** - Incompletas, porém contendo elementos relevantes ao assunto.
- **Dificuldades** - Respostas parcialmente corretas, incompletas ou sem justificativa.
- **Concepções Errôneas** - Respostas irrelevantes ao assunto da tarefa.

Uma análise mais profunda indica que há diferenças significativas nas concepções dos estudantes a respeito dos conceitos de velocidade e de aceleração, dependendo se estiveram engajados nas tarefas que exigem o uso de representações estroboscópicas (movimentos em "câmara lenta") ou não. De um ponto de vista qualitativa, a escala dos tipos de respostas dos estudantes é similar para ambos os grupos indicando concepções alternativas do mesmo tipo (entre as mais frequentes está a confusão entre velocidade e aceleração) mas é diferente quanto às suas frequências. A Figura 1, mostra a comparação das respostas corretas dos estudantes em ambos os grupos.

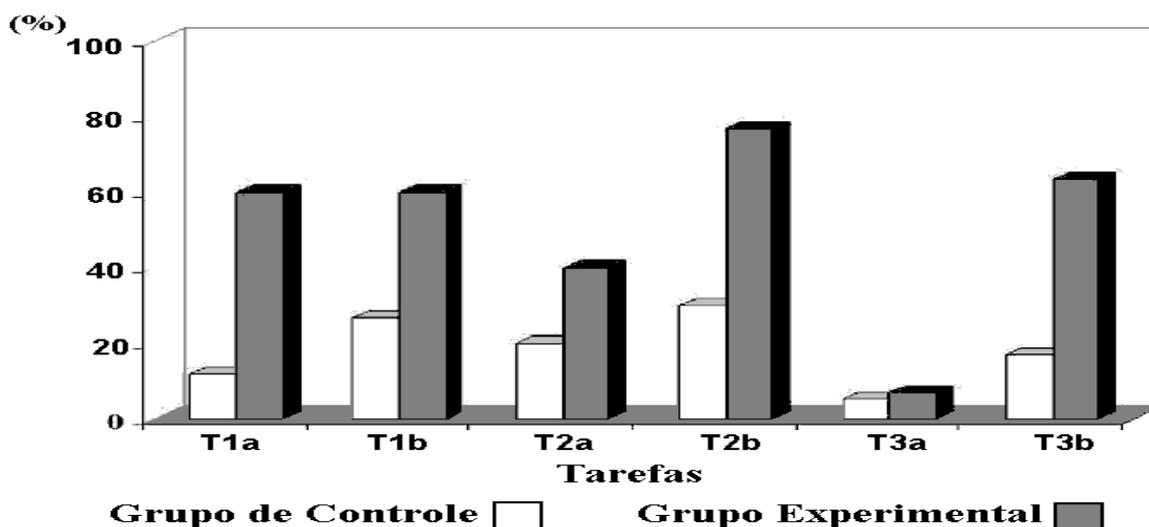


Figura 1 - Comparação dos acertos dos Grupos de Controle e Experimental

A análise das estatísticas das respostas dos estudantes às questões propostas indicam que há diferenças significativas de aprendizagem entre os dois grupos.

Os estudantes no grupo experimental (que tiveram acesso às ferramentas de computador) exibiram taxas significativamente altas de acertos. Isto sugere que os ambientes educacionais baseados em simulações ajudam os estudantes a superar seus limites cognitivos e as concepções errôneas sobre a queda livre. Observou-se neste experimento que em todas as perguntas um índice maior de acertos ocorreu no grupo experimental. Em apenas uma das questões houve um certo equilíbrio no número de acertos.

A hipótese sobre o papel de simulações de computador no ensino da Física é confirmada fortemente com a análise da correlação múltipla entre os grupos e indica que os ambientes educacionais baseados em simulações ajudam os estudantes a superar seus limites cognitivos e refinar suas concepções alternativas sobre os conceitos básicos da Física.

Hoje, numerosas aplicações com o uso de recursos computacionais estão disponíveis, estimulando o engajamento ativo dos estudantes e oferecendo a oportunidade de se trabalhar sob circunstâncias adversas, caras ou de longa

duração, difíceis de serem reproduzidas na sala de aula ou mesmo no laboratório da Física. O uso de tais aplicações abriu um novo campo de pesquisa no ensino da Física mudando radicalmente a estrutura sob a qual o ensino está sendo compreendido e executado. Estas aplicações dizem respeito a:

- Controle de laboratórios por computador (THORNTON e SOKOLOFF, 1990).
- Aplicações multimídia (CROSBY e IDING, 1997; WILSON e REDISH, 1992);
- Simulações – da Mecânica Newtoniana (ANDALORO e outros, 1997) até as simulação gráfica do comportamento uma cadeia atômica linear (PEIXOTO e GOMES, 1998) e experiências com átomos (TERINI e CAVALCANTE, 1994)
- Ambientes Exploratórios (TEODORO, 1993);
- Tutores Inteligentes (SCHULZE e outros, 2000).

Entre as várias aplicações, citadas anteriormente, as simulações de computador são de importância especial no ensino e na aprendizagem da Física. As simulações oferecem novos ambientes educacionais, que permitem realçar as potencialidades instrutivas dos professores e facilitar o engajamento ativo dos estudantes, oferecendo uma grande variedade de oportunidades para modelar conceitos e processos.

As simulações fornecem o estabelecimento de uma ponte entre o conhecimento prévio dos estudantes e a aprendizagem de novos conceitos físicos, ajudando os alunos a desenvolver a compreensão científica com uma reformulação ativa de suas concepções errôneas. Especificamente, são os ambientes abertos da aprendizagem que fornecem ao estudante a oportunidade de:

- I. Desenvolver sua compreensão sobre fenômenos e leis Físicas como um processo de formular hipóteses e testar as suas idéias;
- II. Isolar e manipular parâmetros e com a ajuda deles desenvolver uma compreensão do relacionamento entre conceitos, variáveis e fenômenos físicos;
- III. Manipular uma variedade de representações (figuras, animações, gráficos, tabelas, etc.) que são úteis para compreender os conceitos, as relações e os processos subjacentes;
- IV. Expressar suas representações mentais sobre o mundo físico; e,

- V. Investigar um fenômeno que é difícil de experimentar em uma sala de aula ou em um laboratório justamente porque é extremamente complexo, técnico, difícil ou perigoso, consome muito dinheiro, ou tempo ou acontece demasiadamente rápido.

Em conclusão, a Física é uma das áreas onde os computadores puderam e ainda podem oferecer o emprego de novos métodos, técnicas e sistemas voltados para educação. Diante do que pudemos observar, é altamente favorável a utilização dos sistemas computacionais nesta área, pois além de facilitar a aprendizagem, ajudam os alunos a refinar seus conceitos.

Difundir e democratizar o acesso às tecnologias de ensino e aprendizagem da Física é um tremendo desafio para os educadores nos dias atuais.

## 2.2 KITS E INTERFACES APLICADOS AO ENSINO

Nosso objetivo é propor uma plataforma voltada para o ensino de Física. Durante nossa pesquisa bibliográfica pudemos observar que existem muitos dispositivos que podem ser utilizados nas aulas de Física e entidades especializadas no desenvolvimento de programas educacionais. A seguir, apresentaremos alguns:

### 2.2.1 KIT EXPERT

A revista PIERRON SCIENCES (PIERRON), publicada na França, trás uma série de equipamentos que podem ser utilizados em aulas práticas de Física. Escolhemos um dos mais interessantes para descrever

Este kit, que pode ser visto na Figura 2, é chamado de Expert e pode ser usado em um grande número de experiências.

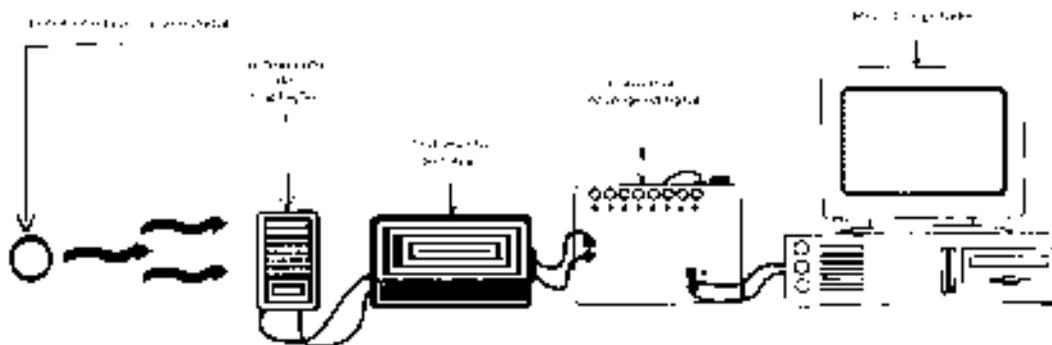


Figura 2 - Kit Expert para aulas práticas de Física

O Kit depende de um microcomputador para ser utilizado e é composto basicamente por duas unidades básicas. As quais descreveremos a seguir:

- a) **Instrumentos para Captação de Dados** – Estes dispositivos atuam como interface direta entre o fenômeno a ser estudado e a unidade de processamento de dados. Para cada tipo de experiência existe um instrumento com características diferentes, que podem ser, entre outros, leitura ótica e sinais elétricos (variação de voltagem). É importante chamarmos à atenção para o fato de que também é necessário um software diferente em cada experiência.
- b) **Interface Expert** – Esta interface, cujo custo está em torno de US\$ 1.000,00, recebe os dados captados pelos receptores, faz o tratamento do sinal (conversor analógico/digital) e transmite os dados para microcomputador que completa o processamento dos dados e exibe-os em forma de relatórios, gráficos tabelas.

A Tabela 1, a seguir, mostra um comparativo de algumas experiências e os respectivos preços dos instrumentos de captação (sensores) e dos programas (softwares) :

<b>Tipo de Experiência</b>	<b>Instrumentos para Captação (US\$)</b>	<b>Software (US\$)</b>	<b>Total (US\$)</b>
Temperatura	80,00	230,00	310,00
Luminosidade	146,00	230,00	376,00
Som	127,00	230,00	357,00
Pressão atmosférica	165,00	230,00	395,00
Mecânica (Queda livre)	270,00 (kit básico)	230,00	500,00

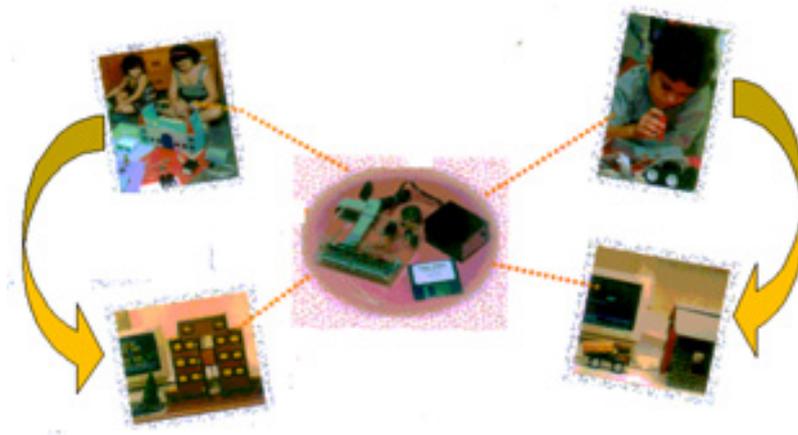
**Tabela 1 – Alguns dispositivos que fazem parte do kit Expert e os respectivos preços**

Podemos Observar que um kit completo para as experiências citadas acima ficaria em torno de US\$ 3.000,00 (sem a inclusão do micro computador). Um valor bastante elevado que nem todas as escolas podem disponibilizar.

### 2.2.2 KIT SUPER ROBBY (ARS CONSULT)

Este é um Kit composto por uma interface de conexão com o microcomputador e por motores simples, conexões e um motor de passo. Seus objetivos são desenvolver o raciocínio e a criatividade através de experiências na área de mecânica pela construção de máquinas simples. Seu custo é de aproximadamente US\$ 140,00, comparado com o anterior é muito baixo, entretanto sua aplicação é restrita à construção de máquinas simples e maquetes animadas. Uma interface por software permite ao usuário o acionamento dos motores das máquinas.

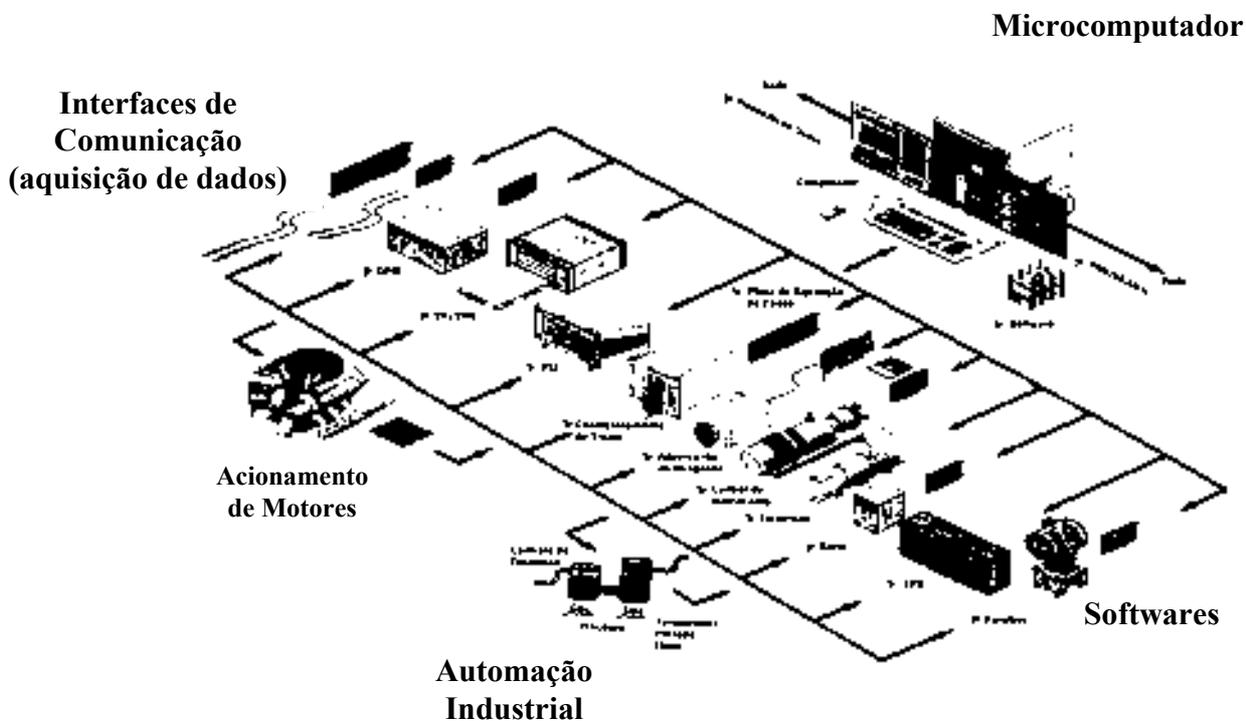
A Figura 3, a seguir, mostra detalhes do kit.



**Figura 3 - KIT Super Robby**

### 2.2.3 KITS DA NATIONAL INSTRUMENTS

A NATIONAL INSTRUMENTS (NATINST) possui catálogos com diversos produtos que podem ser utilizados em aulas de Física. Existe uma variedade muito grande de sensores e interfaces. A Figura 4 mostra alguns deste componentes.



**Figura 4 - Equipamentos da National Instruments**

São equipamentos sofisticados que vão desde sensores a interfaces de controle de diversos processos, inclusive industriais, dos quais destacamos:

- a) **LabVIEW** – É um sistema (programação gráfica) para instrumentação e aquisição de dados. Esta plataforma possui interface com o usuário e programação por diagramas de blocos, compilador incorporado para aumentar a velocidade de execução, bibliotecas variadas. O LabVIEW pode ser usado para processamento de sinais, estatística, ajuste de curvas e análise complexa, possui conectividade com outros processos inclusive através de conexão à internet (TCP/IP). O sistema está disponível nas versões Windows (3.11 / 95 / NT), Mac OS, HP-UX, Sun e Concurrent PowerMax.
- b) **LabWindows/CVI** – É um ambiente interativo de desenvolvimento de aplicações de instrumentos utilizando a linguagem C (compilador C de 32 bits, linker, depurador, etc). Esta ferramenta de desenvolvimento visual permite a geração automática de código e chamada de funções minimizando os erros e acelerando o desenvolvimento do programa através de bibliotecas. Este ambiente de projeto pode ser usado para processamento de sinais, estatística, ajuste de curvas e análise complexa além de possuir conectividade com outros processos inclusive através de conexão à internet (TCP/IP). Disponível nas versões Windows (3.11 / 95 / NT), Sun SPARCStations com Solaris. Pode também executar programas desenvolvidos em LabWindows para DOS.
- c) **ComponentWorks** – Este módulo de controles Activex (OLE) 32-bits para aquisição e apresentação de dados funciona com Visual Basic, Visual C++, Borland Delphi e Microsoft Internet Explorer. Interface gráfica com o usuário (botões, janelas, etc.) e pode ser utilizado para ajuste de curvas, estatística e probabilidade.
- d) **ROBOLAB** – Este é um sistema que simula experiências de Física, inclusive com o traçado de gráficos, geração de relatórios, etc. A Figura 5 mostra a tela principal do software e, à direita, uma outra tela demonstrando a construção de gráficos.



Figura 5 - Interface do RoboLab

## 2.2.4 KIT LABPRO DA VERNIER

O Kit LabPro da Vernier (VERNIER) é utilizado para várias experiências. É composto por uma interface de comunicação ao custo de US\$ 220,00 e de um conjunto de sensores. No exemplo mostrado na Figura 6, o sensor é utilizado em experiências de medição de temperatura e custa US\$ 28,00.

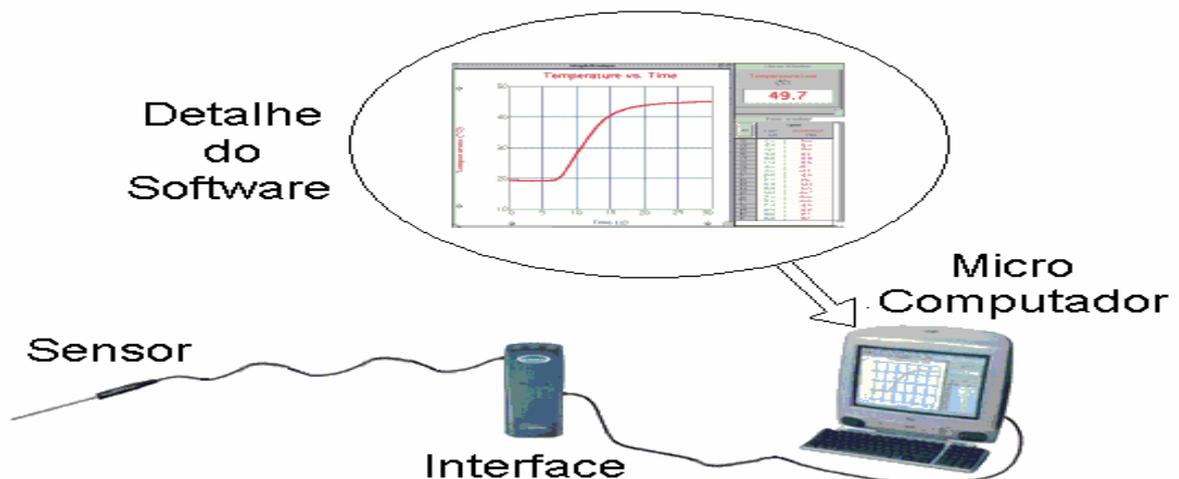


Figura 6 - Kit LabPro – Vernier

Existem programas específicos para cada sistema operacional e tipo de porta usada (serial ou USB) A interface pode ser usada em outras experiências com a substituição do sensor. Exemplos: sensor para a detecção de movimento (US\$ 65,00), medição de aceleração (US\$ 88,00), medida de PH em líquidos (US\$ 72,00), pressão de gases (US\$ 72,00) e medida de radiação (US\$ 205,00).

As principais características do sistema são:

- Compatível com os Sistemas Operacionais Windows e Macintosh e pode ser conectado a um microcomputador na porta serial ou USB.
- Dispõe de seis canais para entrada de dados (quatro analógicos e dois digitais) e três canais para saída de dados (um analógico e dois digitais). Várias ferramentas disponíveis para cálculos como: integração, interpolação, análises estatísticas, traçado de curvas, etc.
- Visor de dados em várias janelas (com opções de gráficos, tabelas, etc.).
- Suporte para captação de dados analógicos e digitais simultaneamente.

### 2.2.5 KIT TRILHO DE AR DA DAEDALON

A Daedalon (DAEDALON) é outra empresa do ramo que coloca a disposição dos usuários uma série de kits que podem ser usados em experiências na área da mecânica, ótica, ondas, radioatividade. A Figura 7 mostra um trilho de ar que faz parte do kit para experiências com velocidade e aceleração (simulação da ausência de atrito). O Kit básico composto pelo trilho, um compressor e a interface de comunicação.

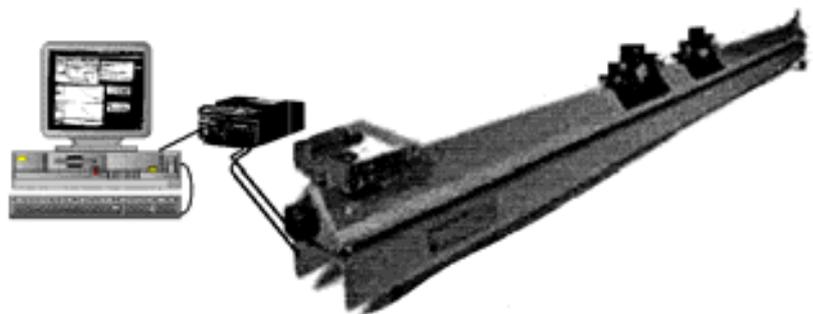
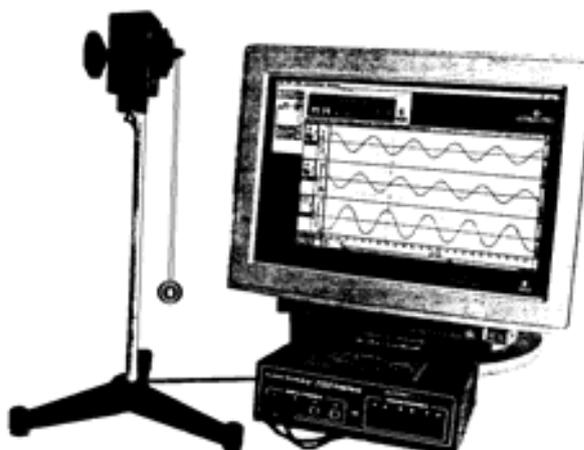


Figura 7 - Trilho de Ar – Daedalon

O kit trilho de ar é compatível com os sistemas operacionais Windows e Macintosh, e seu custo é de aproximadamente US\$ 600,00.

### 2.2.6 KIT MOVIMENTO OSCILATÓRIO DA PASCO

A Pasco (PASCO) desenvolveu, entre outros kits, um modelo para experiências do movimento oscilatório (Pêndulo). A Figura 8 mostra o kit, composto por um detector de movimento (baseado em um potenciômetro) e uma interface de comunicação com o micro computador, seu custo é de US\$ 175,00.



**Figura 8 - Movimento oscilatório - Pasco**

Existem ainda outras empresas que trabalham no desenvolvimento de interfaces e dispositivos para captação de dados e que são usados em laboratórios de Física. Dentre as quais destacamos a Tel-Atomic (TELATOMIC) que possui dispositivos semelhantes aos já citados.

Outras empresas disponibilizam softwares que simulam experiências da Física como: Knowledge Revolution (KNOWLEDGEREVOLUTION), Physics

Academic Software da North Carolina State University (AIP) e MSC Software (INTERACTIVEPHYSICS).

## 2.3 DISCUSSÃO

Podemos observar que existe uma variedade muito grande de kits e interfaces voltadas para o ensino de Física. No entanto, como já citamos anteriormente, a maioria delas possui um custo alto que nem todas as instituições de ensino podem adquirir. A proposta descrita neste trabalho é o desenvolvimento de um Kit baseado em uma plataforma reconfigurável, onde, as principais vantagens residem no baixo custo do equipamento algo em torno de US\$ 150,00 e na sua capacidade de reconfiguração. Em outras palavras, a mudança da funcionalidade do sistema é feita sem a necessidade de substituição do hardware. O kit básico para experiências de Física deixa de ser composto por vários dispositivos específicos para ser constituído por poucos elementos reconfiguráveis, adaptáveis a cada tipo de experimento através de *cores*, que são bibliotecas de interfaces apropriadas, as quais detalharemos posteriormente.

### 3 HARDWARE RECONFIGURÁVEL E A PLATAFORMA CHAMELEON

Este capítulo apresenta uma das tecnologias de Hardware Reconfigurável e mostra detalhes da Plataforma Reconfigurável Chameleon que é a base do Sistema Programável para Aulas práticas de Física (SPAF).

Desde a invenção do computador no século passado, pouco mais de 50 anos foi o bastante para que ele se infiltrasse em praticamente todos os setores da vida humana. Nas últimas três décadas percebemos a incorporação de sistemas computacionais em processos industriais, indústria automobilística, aparelhos domésticos, saúde e comunicações. Com isso, passamos a ter produtos mais eficientes, compactos e, muitas vezes, com preços inferiores.

Dentre os componentes eletrônicos mais tradicionais utilizados nesta evolução tecnológica estão os microprocessadores e microcontroladores que permitem, entre outras, programação em equipamentos como videocassete, telefones celulares, freios *ABS (Anti-Block Sistem)* para automóveis. Outros dispositivo de aplicação específica são chamados de *ASICs (Application Specific Integrated Circuits)*. No entanto, a introdução cada vez mais freqüente destes componentes em sistemas modernos, e a carência de mais processamento e performance, como por exemplo no controle de processos industriais, fez com que o desenvolvimento de projetos envolvendo tais componentes se tornasse cada vez, mais complexo, principalmente por envolver uma série de componentes distintos e heterogêneos (eletrônicos e mecânicos). O desenvolvimento destes sistemas complexos exige assim, cada vez mais o desenvolvimento de novas ferramentas de *CAD (Computer Aided System - Projeto Assistido por Computador)* e novas metodologias de projetos, que auxiliem o projetista.

Diferentes ferramentas e metodologias de projetos podem ser utilizadas em várias etapas do projeto de um sistema digital. A seguir uma breve revisão destas metodologias e ferramentas de CAD são apresentadas, dando como ênfase modelos relacionados à geração rápida de protótipos e relação hardware/software.

### 3.1 HARDWARE / SOFTWARE CO-DESIGN

Existem três categorias básicas de sistemas digitais (DeMICHELI, 1996):

- 1) **Emulação e sistemas de prototipação:** em geral são desenvolvidos a partir de tecnologias de hardware reconfigurável, onde a sua configuração (e reconfiguração) é realizada através de ferramentas de síntese; nesta

categoria exige-se usuários especialistas em sua customização. Estes tipos de ambiente são usados com frequência na validação de sistemas digitais.

- 2) **Sistemas de computação de propósito geral:** são desenvolvidos a partir de processadores de uso geral, incluem os computadores tradicionais desde os *handheld* e *laptops* aos supercomputadores. Sua principal característica é o fato de suportarem uma grande variedade de aplicações devido à grande quantidade de programas que podem ser armazenados em sua memória.
- 3) **Sistemas de controle e computação dedicados:** representam uma aplicação específica, na qual, o usuário, em geral, tem acesso limitado à programação do sistema. Como exemplo, podemos citar, os freios ABS para automóveis, sistemas de controle de aviões ("*fly by wire*"), telefones celulares, etc. Tais sistemas também são chamados de Sistemas Embarcados. Devido à grande diversidade de aplicações esta é uma categoria em ascensão, porém seus pontos críticos são: custo e tempo de desenvolvimento, bem como o desempenho do produto final. Seu projeto abrange a utilização de Hardware (componentes de aplicação específica) e Software (componentes programáveis de propósito geral). A qualidade destes sistemas geralmente são medidas por critérios específicos à aplicação incluindo desempenho, custo de desenvolvimento e de produção, flexibilidade, tolerância a falhas, etc. Sua metodologia de projeto é conhecida como Hardware/Software (Hw/Sw) co-design que representa um paradigma de projeto, cujo principal objetivo é desenvolver sistemas digitais, obedecendo as restrições de projeto através da utilização de componentes de prateleira (*off-the-shelf*) e componentes de aplicação específica de forma integrada e eficiente.

Para atender as necessidades do mercado atual, as empresas que desenvolvem sistemas encontram grandes dificuldades principalmente no que diz respeito às fases de projeto e implementação, as quais refletem em maior tempo e custo de desenvolvimento.

A produção de sistemas com a utilização dos chips dedicados à aplicação (ASICs), por exemplo, torna muito elevado o custo inicial de produção devido à necessidade de criação de máscaras e todo o processo de fabricação dos mesmos, bem como sua validação antes do processo de fundição. Também devido à sua especialidade, qualquer alteração do funcionamento do dispositivo, após a confecção do chip, exige um novo projeto e perda de grande parte do investimento inicial.

A geração de sistemas baseados em componentes como microprocessadores, embora permitam uma reprogramação rápida, representam, em geral, uma solução de baixa velocidade que não atendem a performance de aplicações críticas.

Por outro lado, abordagens mais flexíveis como a metodologia Hardware/Software (Hw/Sw) co-design, têm sido largamente utilizadas, envolvendo componentes como processadores de uso geral e componentes reconfiguráveis FPGAs, os quais proporcionam uma plataforma adequada para prototipação rápida de sistemas digitais a um baixo custo

Atualmente, a rapidez da entrega do produto ao mercado (*time-to-market*) é também um fator importante, pois implica em um maior lucro e ganho de mercado pelo fabricante. Estudos mostram que um atraso de seis meses na colocação do produto no mercado implica numa perda de 33% nos lucros (MADISETTI, 1996). A Figura 9 mostra a relação entre o efeito do atraso na entrega do produto e a perda nos lucros. A área escura exhibe essa perda.

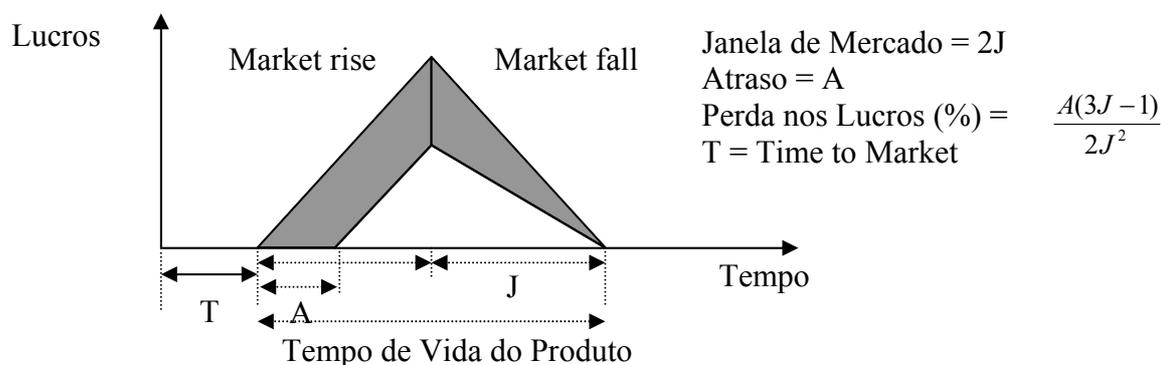


Figura 9 - Tempo de Vida do Produto (Sistema Digital) x Lucro do Fabricante

## 3.2 SISTEMAS RECONFIGURÁVEIS

Em sistemas de computação tradicionais existem dois métodos clássicos para a execução de tarefas. Um deles, baseado em software, que apresenta vantagens, tais como flexibilidade, e baixo custo na implementação de funções complexas. No entanto, esta solução é limitada na exploração de paralelismo e aplicações que requerem alta velocidade. Processos em software são implementados em dispositivos como microprocessadores e microcontroladores. Para muitos sistemas digitais, os computadores de propósito geral não proporcionam uma capacidade de processamento suficiente para operar de maneira satisfatória em um ambiente de tempo real.

Um outro método é a utilização de circuitos integrados de aplicação específica (*ASIC*), que em geral, são específicos para uma única tarefa, são muito rápidos, mais exigem um alto custo de produção e não permitem mudança de sua funcionalidade. Um novo projeto, de um novo *ASIC*, teria que ser feito para uma nova aplicação.

Recursos de computação especializados e processadores de aplicação específica são freqüentemente usados para melhorar o processamento dos dados. Neste grupo de componentes encontramos os Sistemas Reconfiguráveis.

Podemos entender um sistema reconfigurável com aquele que atende às seguintes especificações (AROSTEGUI e outros, 1990):

- Capacidade de implementar novas funções de hardware;
- Implementar novas operações de forma mais eficiente que os processadores de uso geral (computadores comuns);
- Alterar sua arquitetura de acordo com novas necessidades, inclusive em tempo de execução, o que depende do tipo de dispositivo utilizado.

Podemos listar as seguintes vantagens dos sistemas reconfiguráveis:

- Geração rápida de protótipos de sistemas digitais devido à redução no tempo gasto nas etapas de projeto/implementação/fabricação. Estes sistemas permitem ainda, devido às novas ferramentas e softwares, que este trabalho seja feito de maneira remota, via Internet.
- A utilização de softwares de CAD permite um maior controle sobre o processo de desenvolvimento de sistemas computacionais.

Dentre os componentes dos sistemas reconfiguráveis vamos destacar os dois mais importantes:

- *FPGA (Field Programmable Gate Array);*
- *DPGA (Dinamically Programmable Gate Array);*

Citaremos outro componente, que mesmo podendo também ser usado em ASICs, é muito importante para os sistemas reconfiguráveis:

- *Cores (módulos de bibliotecas)*

### 3.2.1 FPGA (FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAYS)

Os FPGAs, como o próprio nome sugere, são circuitos integrados compostos por um conjunto de portas lógicas que podem ser programadas em campo. Sua utilização pode acelerar sobremaneira o desenvolvimento de sistemas digitais pela facilidade e velocidade com que os mesmos podem ser reconfigurados, de acordo com a necessidade do usuário, com um mínimo de suporte adicional (LIMA e outros, 1997).

Estes dispositivos foram introduzidos no mercado pela Xilinx Company (XILINX) em 1985. Atualmente várias empresas têm investido na tecnologia

dos FPGAs como a Actel (ACTEL), a Altera (ALTERA), a Atmel (ATMEL) e a Lucent (LUCENT).

A estrutura básica de um FPGA é composta por uma matriz bidimensional de blocos lógicos. Cada bloco lógico é comumente denominado de CLB (Configurable Logic Bloc). Durante o processo de configuração do FPGA, estes blocos lógicos assumem as funções de circuitos específicos e o conjunto passa a responder como um componente digital completo. Os demais elementos que compõem um FPGA são: uma malha para roteamento que faz a ligação física entre os CLBs e um conjunto de pinos de I/O (entrada/saída) programáveis dispostos na periferia do circuito (OLDFIELD e DORF, 1995).

Através desta estrutura é possível implementar uma série de funções e circuitos customizados de acordo com o projeto definido pelo usuário. As características arquitetônicas dos FPGAs, de maneira geral, são:

1. Portas lógicas e recursos de comunicação claramente separados e distintos.
2. Suporte para barramento bidirecional de múltiplas vias.
3. Várias funções unitárias com múltiplas entradas podem ser implementadas em seus circuitos lógicos. Fazendo-se blocos lógicos mais complexos obtém-se uma redução no número de células lógicas necessárias e conseqüentemente há uma redução da área do circuito com igual redução no preço final do produto.
4. A programação de interfaces podem ser feitas em alto nível de abstração através de linguagens de descrição de hardware (HDL), o que permite uma rápida e fácil mudança de projeto.
5. Software de CAD (*Computer Aided Design*) disponível para a programação dos FPGAs permitem que projetos definidos em uma HDL (*Hardware Description Language*) ou através de estudos esquemáticos, *edif* (*electronic design interchange format*), FSM (*Finite State Machine*), possam ser rapidamente sintetizados, simulados e validados em plataformas de prototipação rápida.

Os primeiros *FPGAs* lançados em meados da década de 80 eram baseados em tecnologia *SRAM* (*Static Randomic Access Memory*), eram voláteis, em outras palavras, precisavam ser reprogramados sempre que se reativava o circuito. Posteriormente foram lançados os *FPGAs* não voláteis baseados em tecnologia *fuse*, *anti-fuse*, *EPROM* (*Eletronic Programmable Read Only Memory*) e *EEPROM* (*Erasable Eletronic Programmable Read Only Memory*).

Em geral, tecnologias *FPGAs* voláteis são mais lentas que as não voláteis porque elas necessitam de um grande número de conexões de programação para o mapeamento das funções e redes. *FPGAs SRAM* no entanto, permitem ao projetista implementar rapidamente e dinamicamente protótipos de circuitos digitais em diferentes versões com o mesmo chip, sem alteração do ambiente de teste e programação. Estes *FPGAs* também comportam um grande número equivalente de portas lógicas, com capacidade de implementar circuitos com mais de 6 milhões de portas lógicas ou mais em um único chip. Eles também podem ser agrupadas em lotes, permitindo assim que sistemas de grande porte possam ser implementados numa única plataforma.

Atualmente existem dezenas de placas de prototipação comerciais que permitem ao projetista interligar vários *FPGAs* num único ambiente, oferecendo recursos para prototipação de circuitos de alta complexidade em aplicações como prototipação de sistemas digitais

De acordo com o fabricante, diferentes arquiteturas podem ser internamente configuradas de maneira diferente para implementar a lógica do circuito em dispositivos como *FPGAs*.

A Figura 10 apresenta quatro destas arquiteturas de dispositivos reconfiguráveis utilizadas comercialmente. Cada uma delas apresenta características singulares, onde a arquitetura dos blocos responsáveis pela implementação da lógica e área de conexão são particulares de cada fabricante.

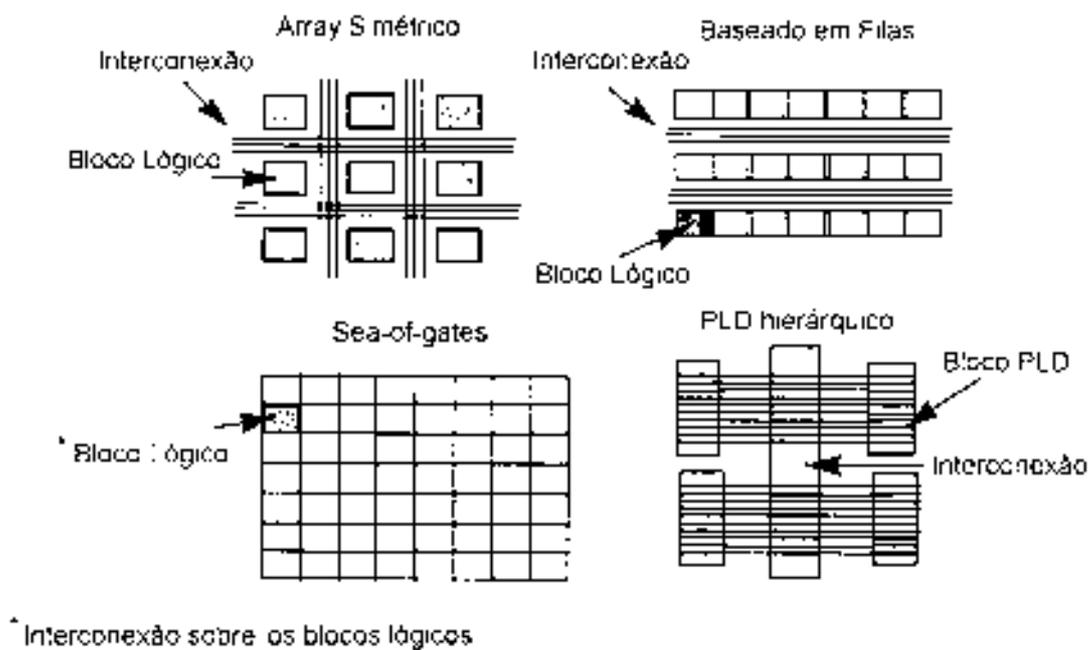
O array simétrico representa um conjunto de blocos lógicos (*CLBs*) no qual as funções são mapeadas e o roteamento interno das redes é feito ao redor dos blocos.

A arquitetura baseada em filas tem estrutura similar ao *Standard cell*, ou seja, trabalha com uma biblioteca de células lógicas (Ex.: *NAND*, *Flip-flops*,

multiplexadores.) que são montadas numa placa de silício. Neste caso, os canais para roteamento são fixos e as conexões programadas pelo usuário.

*Sea-of-gates* representa uma arquitetura que significa dizer roteamento por sobre a área ativa dos blocos lógicos, assim, não existem canais específicos para conexão.

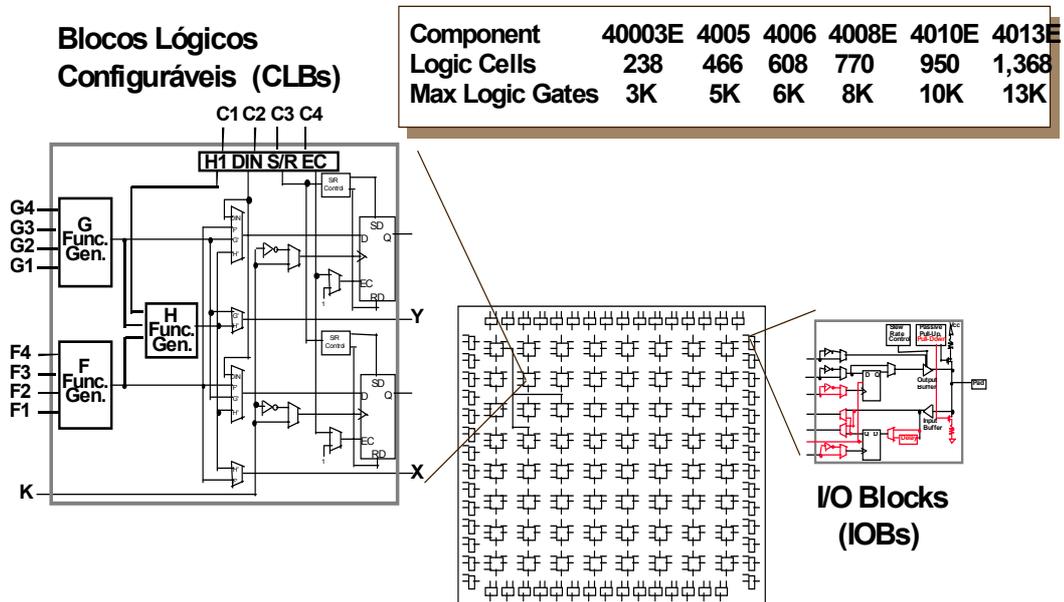
A arquitetura *PLD (Programmable Logic Device)* hierárquico implementa grandes blocos lógicos baseados em PLDs com capacidade para implementar funções com diferentes números de variáveis e os interliga através de um barramento de interconexão.



**Figura 10 - Principais Arquiteturas dos FPGA comerciais**

Para entendermos melhor a estrutura interna de um dispositivo reconfigurável, analisaremos uma dessas arquiteturas. A estrutura básica destes circuitos pode ser exemplificada pela arquitetura interna do componente XC4000 da Xilinx, um dos

componentes mais difundidos na classe dos FPGAs. A Figura 11 mostra a estrutura interna de um CLB do XC4000 e sua malha externa de interconexão.



**Figura 11 - Esquema dos Blocos de Células Lógicas**

Fazem parte de um CLB do XC4000, três estruturas geradoras de entradas chamadas de Look-up Table (LUTs). Na Figura 11, os LUTs são representados pelas letras F, G e H. Estas estruturas podem executar uma função de até 9 entradas, duas funções de 4 entradas ou ainda outras possibilidades, complementando e estrutura encontramos dois flip-flops e vários multiplexadores programáveis. Os LUTs podem ser programados para executar funções de memórias RAM e dual-port RAM, implementar lógicas seqüenciais e combinacionais. Uma malha de roteamento serve para conectar CLBs aos pinos de I/O. Esta malha de roteamento é composta de trilhas e matrizes de chaveamento que consistem de um conjunto de canais cuja direção de roteamento é controlada por transistores de passagem do tipo n programáveis. O bloco de I/O é constituído de pinos de I/O programáveis, onde cada pino pode ser definido como saída, entrada, bidirecional, com ou sem *flip flops*, *tri-state*, *pull-up/pull-down*, entre outros.

A principal limitação do *FPGA* reside no número de *CLBs* disponíveis (que depende do elemento em uso) e dos canais de comunicação internos usados para interligar os *CLBs* (BROWN e outros, 1996). Para resolver este problema, os fabricantes de *FPGA*, tais como Xilinx e Altera (ALTERA, 1998), estão sempre introduzindo novas melhorias em seus chips a fim oferecer uma solução adequada a cada projeto.

Uma desvantagem dos *FPGAs* baseados em *SRAM* é que eles precisam ser configurados totalmente a cada reconfiguração, mesmo que grande parte do circuito permaneça inalterado no novo projeto. Dependendo da aplicação, dispositivos que permitem reconfiguração parcial em tempo de execução (reconfiguração *on-the-fly*) poderiam ser utilizados, a fim de otimizar este procedimento, no entanto, tais dispositivos não possuem, em geral, ferramentas de suporte para sua utilização.

O tempo necessário para configuração de uma nova arquitetura em um *FPGA* pode levar alguns milissegundos, valor que depende da tecnologia e do tamanho do chip.

### 3.2.2 DPGA (DYNAMICALLY PROGRAMMABLE GATE ARRAYS)

Esta linha de componentes, os *DPGAs*, são *Gate Array* Dinamicamente Reconfiguráveis. Permitem uma configuração parcial de seu hardware, ou seja, partes do chip podem ser alteradas dinamicamente enquanto outras permanecem inalteradas.

Em um *DPGA*, graças à adição de células *RAM*, as configurações de circuitos poderiam ser alternadas em um determinado instante para a realização de uma tarefa específica (DeHON e outros, 1995). Múltiplas configurações de circuitos no *DPGA* permitem o conjunto operar em uma configuração enquanto outras configurações estão sendo recarregadas. Como exemplos os *DPGA* Xilinx (XC3195A ou XC6200) com sua própria memória local e o novo Virtex (XILINX COMPANY).

Os *DPGAs* podem ser reconfigurados em tempos da ordem de nano segundos, o que representa uma vantagem sobre os *FPGAs* convencionais.

Hoje, as novas gerações de *FPGAs* e *DPGAs* são utilizadas em:

- **Comunicações e Redes de Computadores:** Rádio Reconfigurável, inclusive aplicações militares; Canais de Internet e Modems para Satélites;
- **Processamento de Vídeo e Imagens:** Conversão de padrões de vídeo; Vídeo Conferência e outras aplicações *multimedia*; Redução nos custos de processamento de imagem na medicina como na Tomografia Computadorizada (Raios-X); No campo da Inteligência artificial: visão de robôs, reconhecimento de padrões (imagens), segurança eletrônica, etc.
- **Computação Periférica:** Terminais de vendas; Dispositivos de armazenamento; Impressoras especializadas e Captura de Dados;

### 3.2.3 CORES (MÓDULOS DE BIBLIOTECAS)

Podemos entender um *core* (ou núcleo) como sendo uma descrição completa, pré-testada e pré-verificada de uma tarefa executada em um sistema digital (PALMA e outros, 2001). Os *cores* por sua vez, são usados para construir aplicações maiores e mais complexas num circuito integrado. Este conceito está intimamente vinculado ao projeto de um sistema bem caracterizado em sua funcionalidade e com capacidade de integração com outros sistemas, bem como a possibilidade de mudança de configuração.

Um *core* representa a idéia de um projetista, sendo um trabalho inédito, este projetista poderia desejar manter o direito de propriedade (direitos autorais), diz-se, neste caso, que este *core* representa a propriedade intelectual ou *intellectual property* (IP) do projetista e consiste num objeto de negócio passível de ser patenteado, licenciado e vendido, então, será chamado de *IP-core*.

Quanto à propriedade intelectual o *core* pode ser classificado como:

- **Licenciável ou *Helper IP*** - Pode ser vendido, licenciado ou distribuído gratuitamente, sozinho ou em conjunto com ferramentas para integração e validação. A maior parte da implementação fica por conta de quem adquire o produto. Na Internet existem sites especializados neste tipo de produto, como o Free-IP (FREE-IP) e o Design-Reuse (DESIGN-REUSE).
- **Proprietário ou *Differentiator IP*** – Em geral, é comercializado ou licenciado como uma “caixa preta” (*black box*), ou seja, sem maiores informações da sua estrutura interna. O principal interesse do projetista é a manutenção da propriedade intelectual do produto. Atualmente, várias empresas atuam no mercado destes *cores* e podem ser encontradas na Internet, como por exemplo: Arasan (ARASAN) Vautomation (VAUTOMATION) e Amphion (AMPHION)

A idéia do reuso de software deu um grande impulso a indústria de programas de computador da mesma forma que o uso de módulos de hardware pré-caracterizados representa um grande avanço no projeto de circuitos computacionais. Apesar de um *core* ser uma descrição pré-caracterizada de um sistema, isso não quer dizer que isto represente um módulo rígido e sem possibilidade de configuração, ao contrário, pode contemplar diversos níveis de configurabilidade.

Quanto à flexibilidade e a configurabilidade o *core* pode ser classificado em:

- ***Soft cores*** - Apresentam código fonte ou diagramas descritivos a nível comportamental. Podem ser usados em sistemas com diferentes tecnologias. Por este motivo podem ser implementados em vários tipos de hardware, como ASICs ou FPGAs. A vantagem deste tipo de *core* é a flexibilidade, entretanto, como desvantagem citamos a falta de garantia de parâmetros não funcionais como tamanho, consumo de energia, sincronização de clock, etc. Sua característica é de um modelo *Helper IP* pois oferece pouca proteção à propriedade intelectual devido ao fato de ter código aberto.
- ***Firm cores*** – São *cores* que combinam software com descrições de hardware vinculadas a um certo tipo de tecnologia. São descritos no nível de portas lógicas (*netlist*) ou blocos sintetizáveis fixos, como *sea-of-gates* ou *standard cell*, já citadas anteriormente. Sua flexibilidade garante uma boa aproximação

dos parâmetros de tempo, área e consumo de energia do projeto. Com a tomada de alguns cuidados adicionais é possível manter a propriedade intelectual.

- **Hard cores** – Sua estrutura é completamente determinada e rígida o que facilita a manutenção dos parâmetros do sistema. Permitem rápida integração a outros sistemas, desde que respeitados seus limites de flexibilidade. A rigidez do *lay-out*, por exemplo, pode criar problemas de roteamento no momento da integração. O modelo é geralmente distribuído como um elemento de biblioteca e não pode ser modificado em sua estrutura pelo cliente, mas, muitas vezes deve ser configurado. A temporização e performance são garantidas juntamente com a proteção dos direitos autorais.

O projeto de um *core* visa, em geral, a integração deste em outro sistema maior. É, portanto, orientado de forma natural ao reuso, oferecendo facilidades para configuração e adaptação a outros sistemas, como por exemplo, interfaces padronizadas. Desta forma, *cores* reúnem aspectos importantes para o acréscimo de produtividade nos projetos. A integração de novas funcionalidades pode acontecer mediante a introdução de novos núcleos auxiliares de processamento, da forma como acontece com os periféricos acoplados aos computadores de uso geral, que lhes conferem novas aptidões. Apesar do projeto de sistemas computacionais baseados em *core* não ser específico para plataformas de hardware reconfiguráveis, alguns aspectos de reconfigurabilidade são extremamente interessantes para o desenvolvimento deste paradigma de projeto. Citamos como principais vantagens:

- A facilidade de aquisição de *Soft-cores*, independente de tecnologia, promove a integração de sistemas reconfiguráveis.
- Por sua vez, plataformas reconfiguráveis são mais baratas para o desenvolvimento e testes de *cores*. Facilitando a integração em sistemas já existentes. Além disso, a rápida mudança em padrões de interface e nos próprios *cores* requerem maior flexibilidade do hardware durante a vida útil do produto.
- O reuso é facilitado pela combinação destes dois fatores no projeto.

Como vimos, hoje é vasto o campo de aplicação dos FPGAs. Assim, baseado em um modelo hardware/software co-design, levando em conta a facilidade de programação e o baixo custo de microcontroladores e a versatilidade e poder computacional dos FPGAs, propomos a plataforma reconfigurável SPAF como um sistema auxiliar para o ensino da Física. Citamos como pontos favoráveis:

- Capacidade de reproduzir uma série de experiências a partir de um banco de experimentos (*cores*), alternando entre elas, se for o caso (Reconfiguração Dinâmica).
- Interface amigável com o usuário permitindo a utilização da plataforma por alunos com pouca ou nenhuma experiência em computação.
- Representa um modelo Computacional Expressivo (BLISS, 1996) que permite aos estudantes exibir suas próprias idéias, fornecendo as ferramentas para definir relacionamentos entre conceitos, explorar as conseqüências daqueles relacionamentos e das definições estabelecidas dos estudantes e, por fim ajudam na aprendizagem por envolver os estudantes ativamente na representação seus próprios modelos.
- A metodologia do SPAF sugere a criação de uma biblioteca de *cores* de interfaces para diferentes experiências de física voltadas para sistemas reconfiguráveis FPGAs.

A seguir apresentaremos a Plataforma Chameleon. Esta plataforma será usada como suporte no desenvolvimento do modelo de Sistema para o ensino de Física proposto neste trabalho.

### 3.3 A PLATAFORMA DE PROTOTIPAÇÃO CHAMELEON

O Centro de Informática, através do GRECO, (Grupo de Engenharia da Computação) tem trabalhado no desenvolvimento de uma Plataforma Reconfigurável que recebeu o nome de Chameleon (LIMA e outros, 1997; LIMA e outros, 1998).

### 3.3.1 UMA VISÃO GERAL DA PLATAFORMA CHAMELEON

A arquitetura da Chameleon compreende uma placa de prototipação e ferramentas de *CAD* que ajudam no desenvolvimento de sistemas digitais. A placa básica de prototipação é composta por componentes de software e de hardware que compartilham de uma memória comum e de canais de comunicação, como descrito na Figura 12. Os processos do software são executados em um microprocessador *off-the-shelf* de baixo custo compatível com a arquitetura da família 8051, que pode, inclusive, executar processos em tempo real através do sistema operacional do tempo real da Keil Inc. (KEIL, 1997) Os processos de hardware são implementados em um único conjunto de elementos reconfiguráveis (FPGA) baseado em um subconjunto do XC4000 Xilinx Series (XILINX, 1997). A versão atual da placa *Chameleon* suporta circuitos entre 3000 a 13000 portas lógicas.

Dois bancos de memória, compostos de 64 kbytes para programas e de 64 kbytes para dados, fornecem o espaço para armazenar a configuração do FPGA, o programa do microcontrolador bem como as variáveis e toda a informação de processos dinâmicos. A memória do programa é dividida em duas partes: uma permanente que armazena um programa residente de inicialização e outra implementada em uma memória de *SRAM* usada para gravar temporariamente programas de aplicação do usuário. O programa residente inicialmente controla a interface serial a fim receber a configuração do FPGA e o programa de aplicação do microcontrolador do PC anfitrião (*host*).

Um canal de comunicação, representado por um barramento de dados 8-bits e um barramento de endereço 16-bits favorece a troca de dados entre o processador principal, o FPGA e os bancos de memória (Figura 12). Um barramento de controle assíncrono bidirecional está também disponível para gerenciar os sinais de controle comuns entre os componentes de hardware e de software.

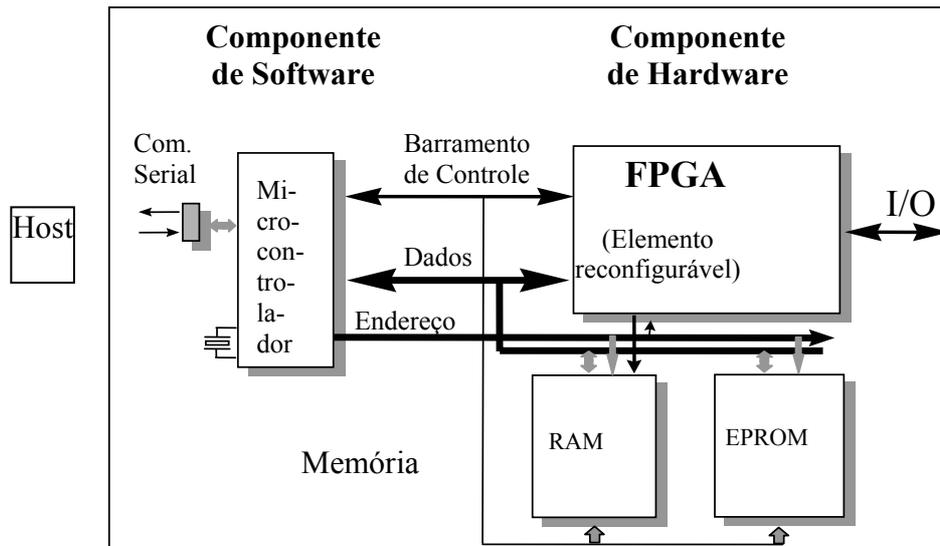


Figura 12 - Plataforma Chameleon

Algumas das ferramentas de *CAD* presentes no sistema são comerciais e outras foram criadas especialmente para serem usadas no ambiente do *Chameleon*. No momento, o sistema usa o *Foundation Series* e *XACT* (ferramentas de *CAD* para *FPGA* da Xilinx) (XILINX, 1997) para gerar o arquivo de configuração do *FPGA* de uma especificação inicial *VHDL* ou de entrada esquemática. O programa do microcontrolador, que é escrito em *C* ou em linguagem *assembly*, é compilado usando o compilador de Keil (KEIL).

### 3.3.2 COMPONENTES DE HARDWARE

O componente de hardware reconfigurável escolhido como a base da implementação para processos da hardware é um *FPGA* série *XC4000* Xilinx,. A fim de manter a compatibilidade dos pinos externos, somente um subconjunto desta família de componentes pode ser usado na placa de prototipação. Este subconjunto pode suportar circuitos contendo de 3000 a 13000 portas lógicas, dependendo do

componente, e assim pode ser usado para implementar circuitos tais como controladores de visualização, barramento de interface de computador, co-processadores e controladores do protocolo de comunicação. Como todos os componentes do subconjunto da família XC4000 usados na Chameleon apresentem a mesma interface do I/O, chips com capacidade diferentes podem ser facilmente adaptados de acordo com o tamanho da aplicação. Para o microcontrolador os componente de hardware funcionam como periféricos mapeados em memória que podem ser estaticamente reconfigurados a qualquer tempo de acordo com o projeto do usuário.

### 3.3.3 COMPONENTES DE SOFTWARE

Os processos de software são executados em um microcontrolador compatível CMOS 8051. Da mesma forma que o componente de hardware, este microcontrolador apresenta também uma variedade de modelos com características internas diferentes, mas com os mesmos pinos de saída. Isto permite uma fácil atualização do sistema onde for necessário. Pode ser melhorando a capacidade do componente de software nos termos da frequência de operação, da RAM interna, de PROM/EPROM interno, de características da tolerância de falha, das portas seriais, dependendo da aplicação.

Esta família de processadores foi escolhida devido a seu baixo custo, confiabilidade, larga escala de plataformas disponíveis para o desenvolvimento do software e, bem como, a seu facilidade de atualização em novos projetos de sistemas digitais. O microcontrolador 8051 básico fornece um canal de comunicação assíncrona serial, 256 bytes da RAM interna, e memória de dados expansíveis a 64 kbytes.

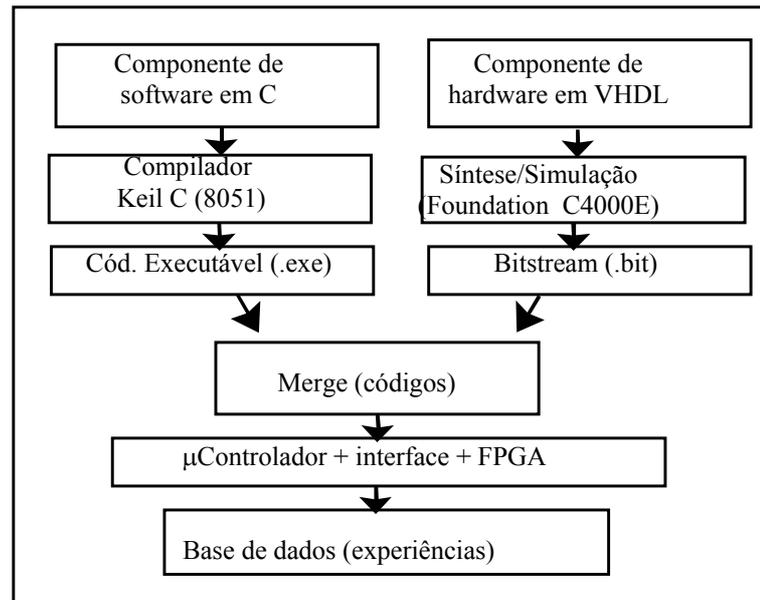
### 3.3.4 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO DO CHAMELEON

O ambiente do desenvolvimento é composto não somente da placa prototipação mas também pelas ferramentas de CAD, das quais, algumas são comerciais e algumas criadas especialmente para serem usadas no ambiente da Chameleon. A plataforma, voltada para um ambiente de co-design, permite que módulos de hardware, software e interfaces possam ser mapeados automaticamente na placa de emulação.

O particionamento hardware/software deve considerar aspectos relativos a velocidade e área, levando-se em conta a arquitetura *FPGA* alvo, além dos tipos de processos envolvidos na partição; processos de intenso processamento devem ser executados em hardware e processos tipicamente de controle de baixa velocidade são executados em software. Uma vez efetuada a divisão dos processos (de hardware e de software) envolvidos no projeto os mesmos devem ser compilados e testados adequadamente. Uma interface hardware/software também é implementada, permitindo a transparência na comunicação entre processos previamente acoplados em uma descrição única. Atualmente, o particionamento de hardware/software é executado manualmente.

A plataforma Chameleon é baseada em um PC no qual, todas as ferramentas de CAD são instaladas. Os processos de hardware são descritos em VHDL e sintetizados no ambiente de projetos *Xilinx Foundation* 3.1i. Como resultado, os arquivos gerados permitem testes funcionais e a configuração do FPGA. O programa do microcontrolador, que é escrito em C ou em linguagem assembly, é compilado usando o kit profissional de desenvolvimento de Keil Software Inc PDK9 (KEIL). O arquivo objeto resultante pode ser usado para a simulação e eliminação de erros (*debuging*) em um PC.

A Figura 13 mostra o fluxo de projeto dos componentes de Hardware e Software:



**Figura 13 - Geração dos Códigos dos Componentes**

### 3.3.5 A INTERFACE DE COMUNICAÇÃO

Toda a comunicação entre processos nos componentes de software e de hardware é executada usando os canais virtuais sob o controle principal do processador, como mostra a Figura 14. Um canal virtual usa um barramento físico bidirecional de comunicação e sinais de controle junto com um protocolo de comunicação e que garante o handshake correto entre os processos de software e de hardware. Há somente um barramento físico bidirecional de comunicação sobre o qual os virtuais são implementados. Nenhum relacionamento entre o clock do FPGA e o microprocessador principal é requerido, embora o sincronismo dos clocks facilite certas aplicações.

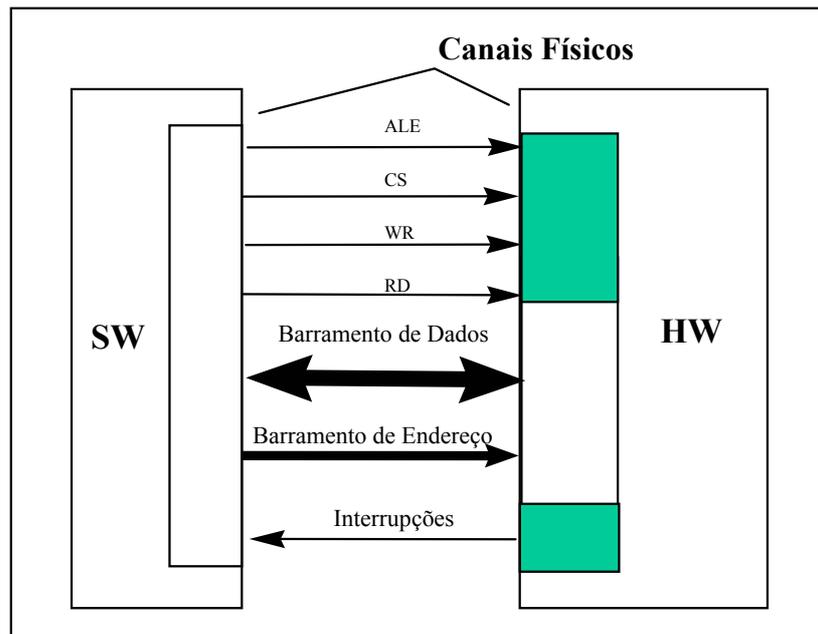


Figura 14 - Canais de Comunicação

Os canais virtuais fornecem uma maneira flexível, poderosa e rápida para criar novas aplicações usando *FPGAs*. Esta estrutura, entretanto, requer a inclusão de interfaces que garantem a transação correta entre processos de hardware e software. Estas interfaces são parte de uma biblioteca dos componentes (*cores*) de software/hardware disponíveis.

### 3.3.6 CONFIGURAÇÃO DA PLACA DE PROTOTIPAÇÃO

Após a geração do código executável do microcontrolador e do arquivo de configuração do *FPGA's*, ambos os códigos são enviados à placa prototipação através de uma conexão serial. Um programa monitor residente na placa de prototipação é responsável pelo recebimento, armazenamento e execução destes códigos na placa de prototipação. As rotinas do monitor residentes na memória da placa de prototipação, e sob a gerência do microcontrolador garantem execução de

códigos de software, reconfigurações do FPGA e controle de acesso aos recursos da placa pela aplicação do usuário.

### 3.4 CONCLUSÃO

Existem várias metodologias para o desenvolvimento de sistemas digitais. Dentre estas, a metodologia Hardware/Software co-design, tem avançado muito nas últimas décadas devido a três fatores básicos: a sofisticação dos sistemas, a necessidade de colocar rapidamente os produtos no mercado e, em especial, baixar os custos. O uso da metodologia Hardware/Software co-design permite o desenvolvimento sistemas digitais, obedecendo as restrições de projeto através da utilização de componentes de prateleira (*off-the-shelf*) e componentes de aplicação específica de forma integrada e eficiente.

## 4 SISTEMA PROGRAMÁVEL PARA AULAS PRÁTICAS DE FÍSICA – SPAF

Neste capítulo é apresentado Sistema Programável para Aulas práticas de Física (SPAF), sua estrutura metodológica para o desenvolvimento de experiências em um ambiente reconfigurável, suas características pedagógicas e objetivos educacionais.

## 4.1 A PLATAFORMA SPAF

Devido as suas características funcionais, o SPAF poderia ser implementado totalmente em Hardware. Esta abordagem, embora oferecesse alta performance na execução de sistemas complexos, permitindo concorrência de processos, etc., implicaria em um alto custo e pouca flexibilidade no que diz respeito às alterações no sistema como a exclusão ou inclusão de novas experiências. (XILINX, 1996.)

Uma outra proposta consiste na implementação utilizando apenas recursos de software, onde a grande vantagem seria a flexibilidade, ou seja, a introdução de novas funções e experiências sem acréscimo substancial de custo ao sistema. Porém, neste tipo de abordagem, situações onde a velocidade é crítica, tais como resolução de funções complexas, multiplicação de matrizes, etc., torna mais difícil a exploração de concorrência entre processos e a garantia da execução deste processos em tempo real.

Este trabalho propõe um sistema baseado na plataforma Chameleon visando uma metodologia que permita uma análise prévia das necessidades de cada nova experiência, quanto a restrições de área e velocidade, por exemplo, aproveitando as melhores características de cada componente. A escolha dos processos a serem implementados em hardware e software depende de algumas restrições, como, custo, velocidade e tipo de aplicação. O particionamento hardware/software atual é feito manualmente baseado nas características funcionais dos processos sob observação. Atualmente existem algumas metodologias que visam o particionamento automático de hardware/software, como exemplos citamos: COSYMA, Symphony e LYCOS (BENNER e ERNEST, 1994; BARROS e outros, 1997).

A figura 15 mostra o esboço do sistema SPAF que é composto por um banco de dados com *cores* (módulos de software e hardware desenvolvidos para cada tipo de experiência), funções especiais para a realização de experimentos e uma interface gráfica desenvolvida para permitir um gerenciamento amigável das experiências a serem realizadas em laboratório.

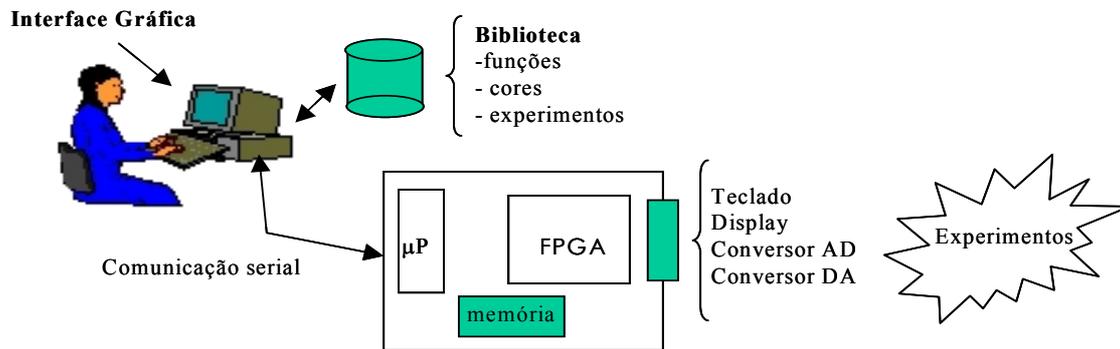


Figura 15 - Esboço do Sistema SPAF

## 4.2 METODOLOGIA DE PROJETO PARA EXECUÇÃO DE EXPERIÊNCIAS

Um dos pontos fortes deste Sistema é a capacidade de reconfiguração dos componentes de hardware e software, ou seja, uma rápida permuta de experiências (e respectivas interfaces), baseadas em cores (bibliotecas de hardware e software) sem a necessidade de alteração nos componentes básicos de hardware. A única modificação seria quanto ao instrumento de captação de dados, específico de cada experiência. A Figura 16 mostra em detalhes a arquitetura interna do sistema SPAF. O microcontrolador é responsável pela programação, e reprogramação do sistema e comunicação da plataforma com o microcomputador (host). O FPGA, por sua vez implementa interfaces especiais e funções de alta velocidade.

Cada novo experimento requer um conjunto de *cores* (bibliotecas). Estes *cores* ficam disponíveis em uma base de dados acessíveis através de um Sistema que gerencia a configuração, e reconfiguração do FPGA.

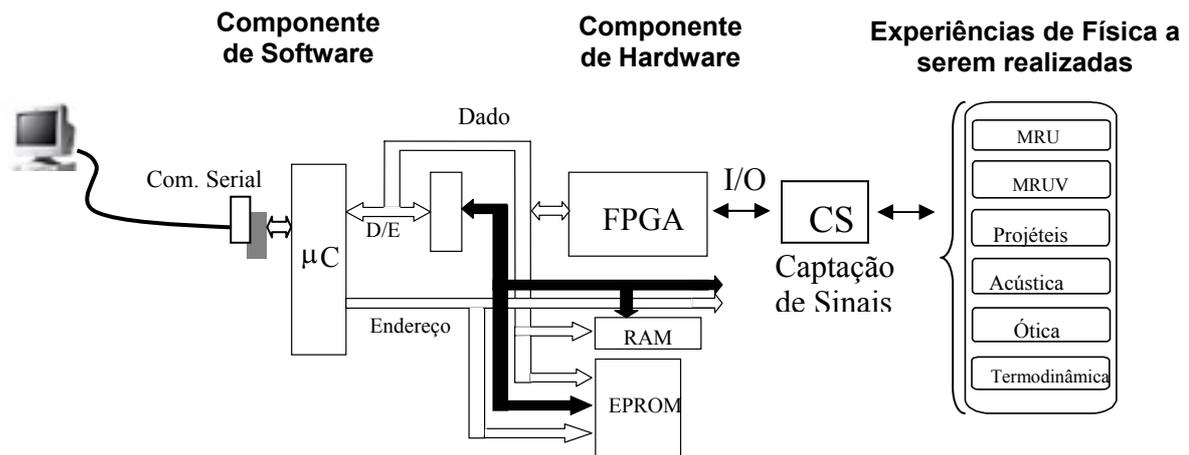


Figura 16 - Descrição do Sistema SPAF

Desse modo, o sistema SPAF permite que diferentes experiências possam ser desenvolvidas e armazenadas em um banco de dados pelo usuário e facilmente plugadas ao sistema quando requeridas em função de sua aplicação. Uma das principais características do sistema é a reprogramabilidade do FPGA, ou seja, a mudança de sua funcionalidade (permuta de experiências) através de arquivos de configuração gravados em sua memória. A Figura 17 mostra os *cores* que fazem parte de uma experiência (bibliotecas A, B e C).

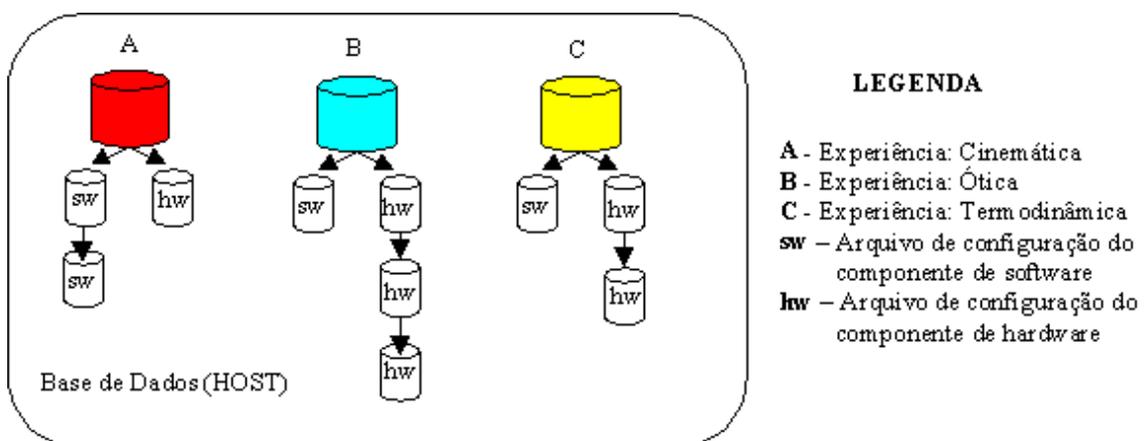


Figura 17 - Cores em Bancos de Dados

Quando do início de uma nova experiência, os códigos são transferidos para a memória RAM da placa de prototipação e posteriormente executados de acordo com a seqüência de processos pré-estabelecida.

Um programa monitor residente na placa de prototipação é responsável pelo recebimento e armazenamento deste código na memória RAM presente na placa. Após a carga completa dos componentes de hardware e software, o monitor configura adequadamente o FPGA e executa a partição de software em RAM.

A Figura 18 mostra o esboço do sistema para tipos diferentes de experiências. Primeiramente o usuário deve selecionar na tela do Host o tipo de experiência que deseja realizar, em seguida o respectivo *core* será transferido para a plataforma. No FPGA será configurado o circuito responsável pelo controle da interface com o mundo exterior (captação de dados) e no microcontrolador será carregado um programa para controle do FPGA. Os dados coletados podem ser previamente tratados no próprio FPGA ou enviados para o Host onde será mostrado, por exemplo, em forma de gráfico. Salientamos que todo o sistema deve ser previamente especificado e verificado antes da implementação na plataforma.

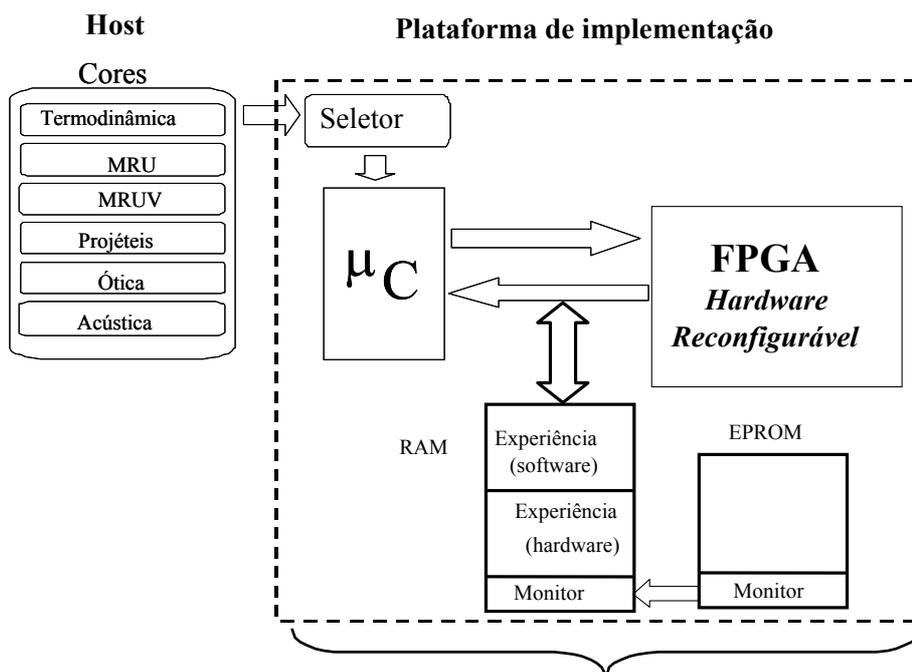


Figura 18 – Esboço da realização de Experimentos

O ambiente para desenvolvimento de componentes de software é o Keil [KEIL 1997] sendo os módulos escritos na linguagem C. Os módulos de hardware são

descritos na linguagem *VHDL* e todos eles são sintetizados e validados no sistema Xilinx Foundation 3.1 (Xilinx 1997)

Outra forma de configuração do FPGA é feita baseada em código fixo em EPROM, como vemos na Figura 19. Neste tipo de abordagem os componentes de software e de hardware são armazenados na própria memória EPROM. E para cada experiência um core será baixado no FPGA.

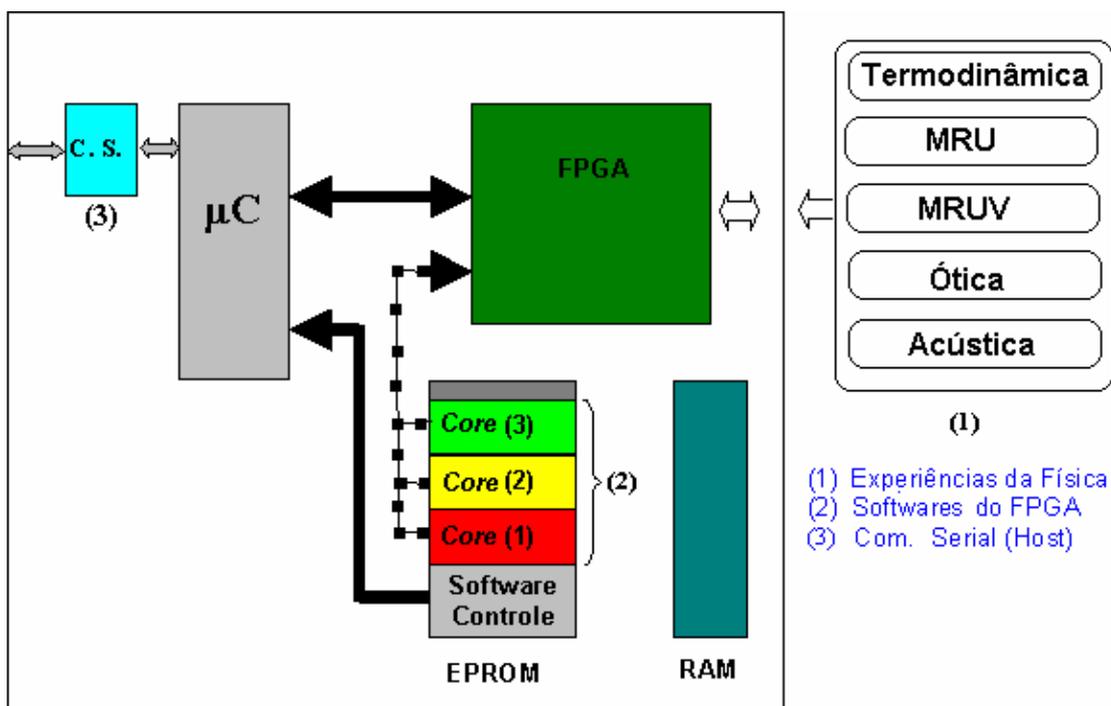


Figura 19 - Armazenamento em EPROM

O Software de Controle é um programa desenvolvido em "C", também armazenado na EPROM, que realiza a programação do microcontrolador. Este programa representa uma máquina de estados que é utilizada para seleção de um *core* de uma das diversas experiências possíveis de realizar. Cada *core* contém as informações necessárias para reprogramação do FPGA. A partir da Interface Externa, desenvolvida em Delphi, o usuário determina uma experiência a realizar e o microcontrolador faz a configuração do FPGA.

### 4.3 GERAÇÃO DE INTERFACES

A plataforma SPAF permite a conexão de diferentes módulos de hardware para a implementação de diferentes experiências de Física. Através de um barramento de hardware e software especial reconfigurável, o usuário pode, no nível de especificação do sistema, definir qual e onde determinada interface deve ser colocada e qual o seu driver apropriado. *Cores* de hardware, representado por drivers para conversor A/D (Analógico/Digital) e visor LCD (*Liquid Crystal Display*) foram desenvolvidos para testes da plataforma. O driver A/D permite que um conversor compatível AD0804, da National Semiconductor, possa ser facilmente conectado ao sistema via FPGA, permitindo que sinais analógicos possam ser convertidos e tratados adequadamente de acordo com a experiência do usuário. Um *core* de LCD foi também desenvolvido e permite que leituras das experiências possam ser localmente visualizadas na placa de prototipação. Além dos *cores* que são implementados como componentes virtuais em hardware específicos, o modelo permite também que outros componentes de processamento rápido como *FFTs* (*Fast Fourier Transformer*), possam também ser implementadas como *cores* de hardware. Os componentes de software, por sua vez, podem ser usados como elementos que controlam parte do experimento, ou rotinas que implementem equações, funções especiais, etc., e que não requeiram alta performance.

Além das interfaces entre os componentes de hardware e software na plataforma, interfaces especiais (por exemplo: para leitura ótica) e uma interface gráfica foi desenvolvida para permitir fácil aquisição de dados, geração de gráficos, estatística, entre outros.

### 4.4 INTERFACE COM O USUÁRIO

De acordo com os estudos anteriores o sistema SPAF representa um modelo computacional Expressivo (BLISS, 1996) que permite os alunos solidificarem

suas idéias em um domínio, em outras palavras, fornecem as ferramentas necessárias para explorar relacionamento entre prática e teoria fazendo com que os estudantes possam ser engajados ativamente na sua aprendizagem (THORNTON e SOKOLOFF, 1990).

O SPAF possui uma interface gráfica com o usuário que tem a característica principal de ser amigável, ou seja, implementada através de interfaces fáceis de serem usadas, tais como, botões, caixas de diálogos e demais comandos que são comuns a vários programas (como: minimizar, restaurar e fechar) de modo a facilitar a sua utilização. Um programa desenvolvido para supervisionar o sistema estabelece a comunicação (serial) entre o PC e a plataforma SPAF permitindo o envio da sua programação (arquivos de configuração) bem como a coleta e armazenamento de dados provenientes das experiências (geração de uma base de dados).

Primeiramente o usuário deverá escolher algum experimento clicando em um botão, como mostra a Figura 20.

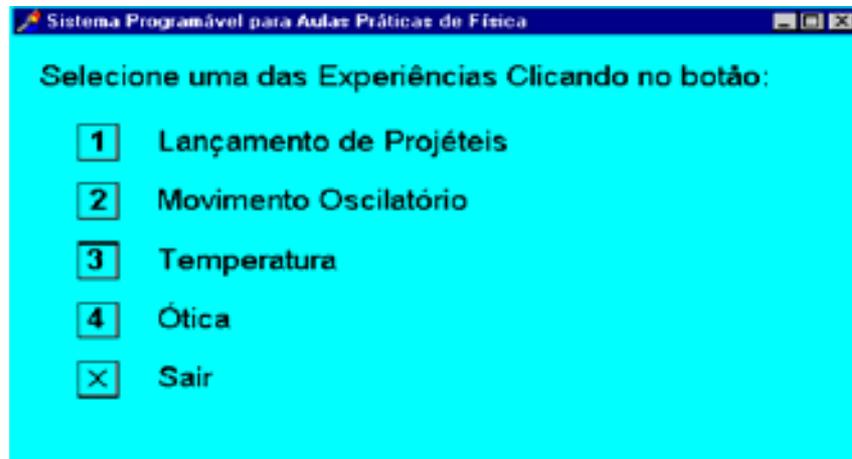


Figura 20 - Interface Inicial do Sistema SPAF

Neste momento serão enviados os arquivos de configuração (componentes de hardware e software) daquela experiência selecionada, em outras palavras, o *core* específico será enviado (*download*) para plataforma. A partir daí poderão ser coletados os dados da experiência e em seguida serão processados permitindo a geração de relatórios e gráficos.

Após a definição de uma experiência, por exemplo, o Lançamento de Projéteis, novas telas irão aparecer, como veremos nas figuras 21 e 22.

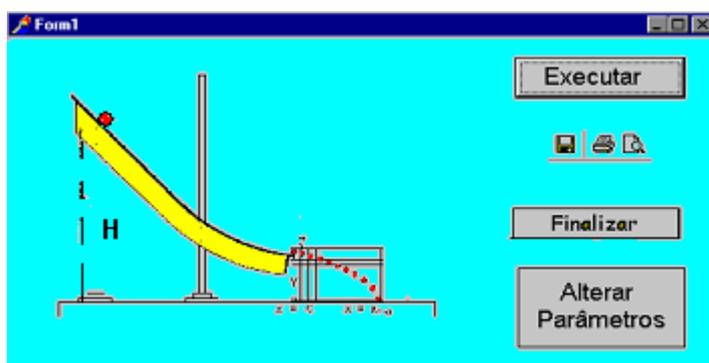


Figura 21 - Interface de uma Experiência

Cada nova experiência possui seus parâmetros iniciais (*default*), neste caso em particular: a altura de queda da esfera ( $h$ ) que são mostrados na tela inicial. O usuário poderá então executar o experimento com os parâmetros sugeridos ou então clicar em “alterar parâmetros” para modificar os parâmetros iniciais.

Supondo que ele simplesmente clicasse em executar seria exibido o gráfico que mostra o deslocamento da esfera após abandonar a rampa como o da figura 22.

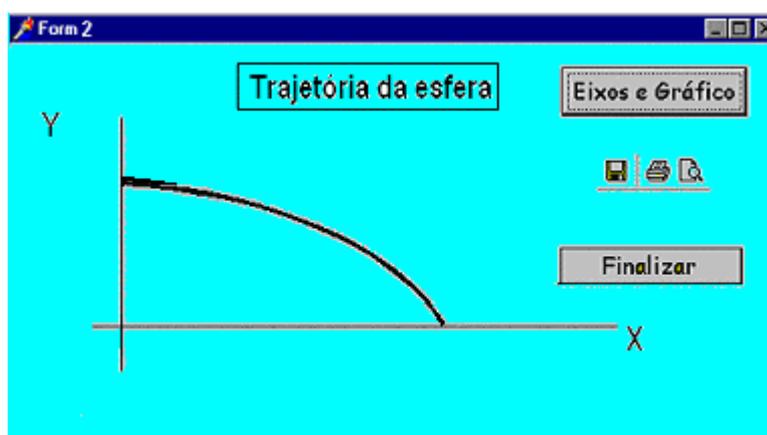


Figura 22- Resultado de uma Experiência

Para cada nova experiência um novo conjunto de cores deve ser desenvolvido. A partir da tela inicial, novas telas customizadas serão apresentadas para o problema em questão.

## 4.5 CARACTERÍSTICAS PEDAGÓGICAS

O Sistema Programável para Aulas práticas de Física (SPAF) é um "laboratório" que emula princípios fundamentais da Física através da plataforma de prototipação rápida Chameleon. O sistema não necessita de nenhuma programação especial por parte do aluno. Todos os programas necessários estão disponíveis através de módulos intercambiáveis (*cores*) e softwares que serão instalados no Host. Esta metodologia permite a escolha fácil de módulos em função da nova experiência a ser emulada na plataforma. Paralelamente as emulações na plataforma Chameleon, simulações produzidas pelo sistema, baseadas em métodos da análise numérica podem ser usadas também para apresentação de projeções da evolução dos objetos na tela e análise dos experimentos. Uma série de grandezas Físicas tais como: velocidade, aceleração, temperatura, voltagem, podem ser medidas através de interfaces especiais acopladas a plataforma, digitalizadas e apresentadas em forma de gráfico, quando a emulação é executada. O SPAF oferece uma interface amigável com o usuário através de uma série de objetos de interação, como apresentado a seguir:

- I. **BOTÕES**, que permitem aos estudantes acionar comandos rapidamente sem a necessidade abrir caixas de diálogo ou linhas de comando;
- II. **CONTROLES**, que permitem aos estudantes ajustarem os parâmetros antes e durante a execução da experiência; e,
- III. **MEDIDORES**, que permitem a medida das quantidades Físicas relevantes no formulário digital ou gráfico. Os dados de alguns medidores podem ser exportados para outras aplicações, tais como planilhas ou pacotes gráficos.

O SPAF pode ser usado como ferramenta auxiliar no ensino, porque é:

- Um laboratório para modelar e apresentar fenômenos e processos físicos; e
- Um ambiente capaz de permitir que o aluno possa emular experiências facilmente, ajustar novas interfaces sem acréscimo substancial de equipamentos.

Estes recursos do SPAF podem permitir que, por exemplo, experimentos como os de movimento, que exigem dos alunos habilidades especiais tais como o uso de aparelhos como o estroboscópio (projeção do deslocamento de um corpo em queda, como se fosse uma "câmara lenta" - nem sempre disponível nos laboratórios de Física) estes possam ser realizados "in loco", ou ainda permitir fazer simulações que oferecem ao ensino vantagens pedagógicas já citadas anteriormente.

Experiências como queda livre, podem ter seus resultados, como posição e velocidade apresentados na tela e posteriormente impressos. Isto disponibiliza um ambiente fácil de interagir, além motivar o aluno no desenvolvimento de novos experimentos e no estudo dos fenômenos físicos. Neste sistema é possível ainda repetir-se sistematicamente as experiências, tantas vezes quanto necessário para que se possa, da melhor maneira possível, compreender as leis e seus princípios relevantes.

Simular os conceitos e fenômenos físicos com o SPAF pode ser eficaz na aprendizagem dos estudantes porque:

- I. Seu ambiente suporta estudos de muitos fenômenos físicos;
- II. Tem uma interface amigável e flexível com o usuário; e,
- III. É um ambiente de computador com baixo custo de implantação e manutenção.

## 4.6 OBJETIVOS EDUCACIONAIS

O computador tem demonstrado ao longo dos anos ser uma ferramenta de grande importância no processo ensino/aprendizagem. Para tanto, a utilização do computador para resolver problemas deve ser feita de maneira criteriosa e incluir etapas de modo que o aluno possa correlacionar o prático e o teórico no decorrer do experimento. Não é o simples fato de resolver um problema, mas o modo como é resolvido. Devemos destacar que o processo de condução das experiências por computador pode levar a dois extremos:

Estimular o estudo quando a experiência pode ser detalhada de modo que haja uma participação do aluno na condução do processo, ou seja, ele é um agente ativo, por um outro lado desestimular o aluno quando o processo é absolutamente mecânico, apenas digitação e obtenção dos resultados, tornando-o um agente passivo.

O nosso interesse é desenvolver uma plataforma "amigável", ou seja, uma plataforma que não exija nenhum pré-requisito em programação de computadores, mas que ao mesmo tempo exija uma participação ativa do aluno na condução, observação e obtenção dos resultados das experiências. Dentre os objetivos educacionais destacamos:

- I. **Desenvolvimento do Raciocínio Lógico** – Estimular o raciocínio lógico dos alunos à medida que eles comparam os resultados obtidos nas experiências conduzidas com o auxílio do computador e com os resultados obtidos sem auxílio do computador, podendo então constatar efeitos como o atrito, que na prática, muitas vezes desprezado. O sistema ajuda a organizar os dados e apresenta os resultados de forma coerente usando vários sistemas de representação, por exemplo em forma de texto ou gráficos, o que ajuda aos estudantes a consolidar os modelos mentais corretos.
- II. **Interdisciplinaridade** – Estabelecer um paralelo entre o prático (concreto) e o teórico (abstrato), bem como estudar conceitos de diversas áreas como: Informática, Matemática, Física (Eletricidade, Mecânica, Ótica), etc. e as relações entre elas. A forma preferencial de interdisciplinaridade ocorre durante a formulação de modelos matemáticos.
- III. **Estímulo ao Planejamento** – Ao planejar a realização de uma experiência ele se prepara para estudar os resultados ao mesmo tempo em que aprende aspectos relacionados à organização e disciplina.
- IV. **Pesquisa** – O estudo dos resultados obtidos pode levar o aluno a questionamentos que só poderão ser elucidados com o seu empenho em pesquisar sobre o assunto em questão.
- V. **Criatividade** – O aluno poderá sugerir novas experiências e novos mecanismos de aquisição e manipulação de dados, que poderão ser implementadas no futuro, pelos profissionais da área que desenvolvem os *cores* e as interfaces.

## 4.7 CONCLUSÃO

Neste capítulo foi apresentada a metodologia da plataforma SPAF. Esta metodologia visa o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilia no processo de aprendizagem da Física a partir de uma solução de baixo custo, flexível e de interfaces simples e amigáveis. Pelo fato de não exigir nenhum pré-requisito em programação de computadores, permite que seja usado por uma gama de alunos do primeiro ao terceiro grau. Por fim, estimulando a criatividade, pode, em alunos de um nível mais alto, despertar o interesse para o estudo científico e pesquisas na área de projetos de sistemas.

## 5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta as experiências que foram realizadas no SPAF e discute os resultados obtidos, ou seja, os dados necessários para a validação do Sistema.

A versatilidade é a principal característica do Sistema SPAF e o componente FPGA é o responsável pela mudança de sua funcionalidade. O FPGA funciona como elo de ligação entre os mais diversos tipos de dispositivos de captação de dados e o sistema principal localizado no microcomputador (host). Essa variação de funcionalidade é garantida através de arquivos de configuração que são gravados na memória do FPGA. Os arquivos de configuração, bem como os demais componentes de software podem ser armazenados na própria plataforma ou no host.

A Figura 23 mostra uma base de dados armazenada em um PC (HOST) que é composta pelos arquivos de configuração relativos às experiências previamente definidas. Em um certo momento estes dados são carregados na plataforma e assim o FPGA seria configurado para atender a um determinado tipo de experimento.

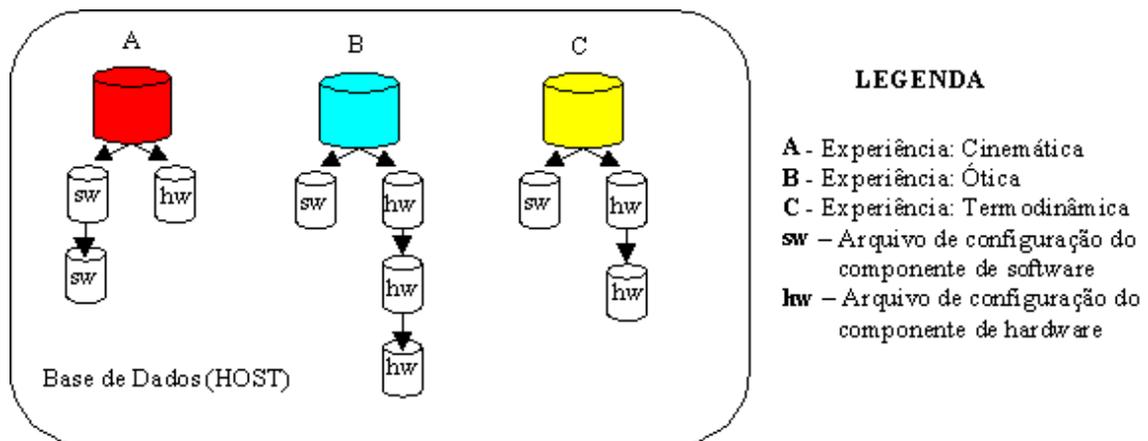


Figura 23 - Base de dados (Host) com os arquivos de Configuração do FPGA

Como mencionamos anteriormente, cada experiência compõe-se de um ou mais *cores* (inclui componentes controladores de hardware e software), que já foram sintetizados e compilados. Devido à complexidade de algumas experiências poderemos ter mais de um conjunto de códigos de hardware e software. Lembramos que os arquivos responsáveis pela programação do microcontrolador também já foram sintetizados e compilados.

Acompanhe o esquema da Figura 24 que mostra o FLUXOGRAMA da Execução de uma experiência no SPAF:

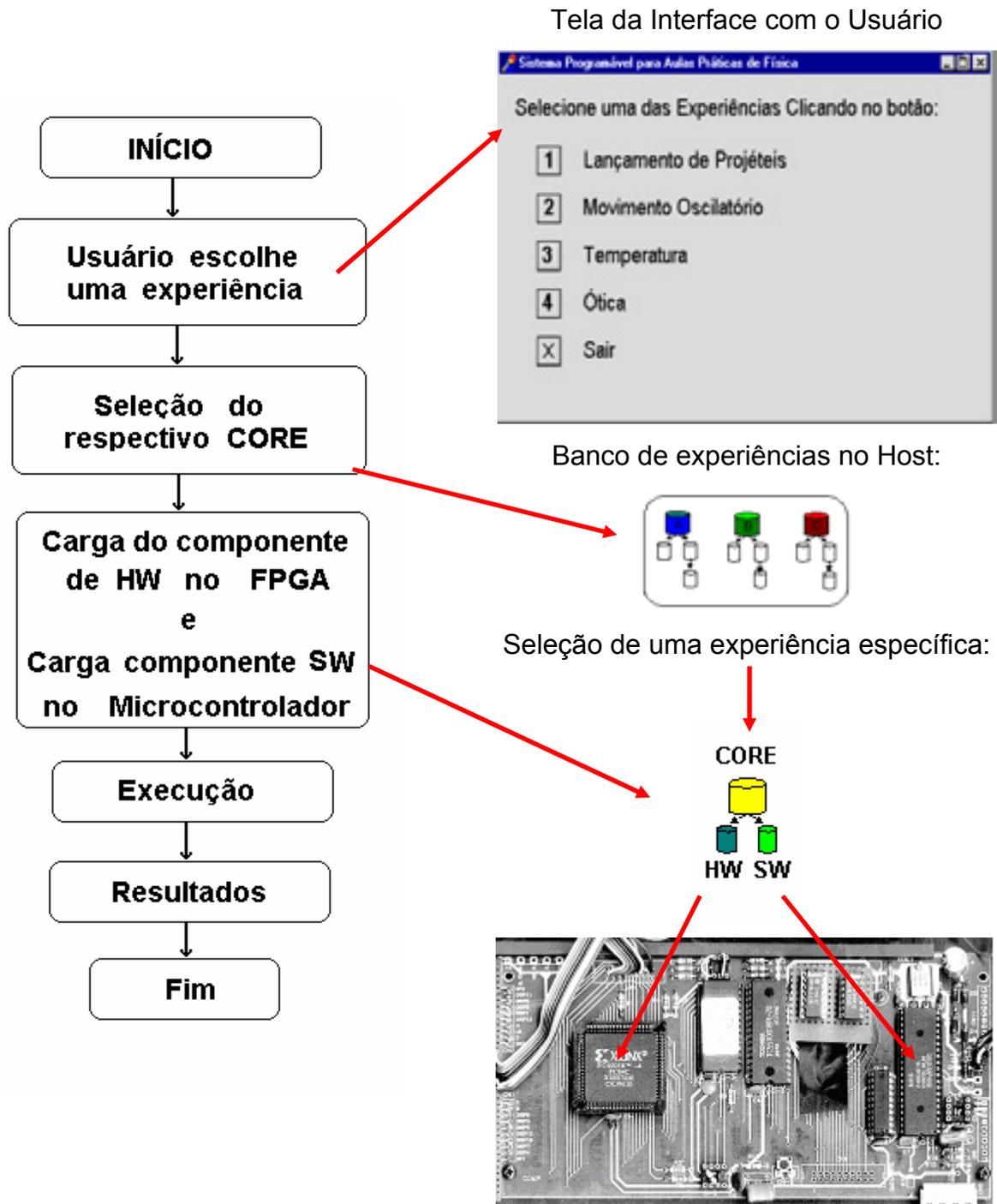


Figura 24 – FLUXOGRAMA de Execução de uma Experiência no SPAF

Após a escolha da experiência o usuário busca em um banco de dados de cores um core específico. Um componente de Software (1) é carregado no Microcontrolador e um componente de Hardware (2) é carregado no FPGA, como mostrado na Figura 24.

Dentre as várias experiências da Física (PRESTON e STERNHEIM, 1983; RAMOS, 1984; PRESTON e DIETZ, 1991) possíveis de serem realizadas na plataforma SPAF, duas foram escolhidas para a validação da sua metodologia: uma referente à medição de temperatura e outra referente ao estudo de corpos em queda livre.

## 5.1. EXPERIÊNCIA EM TERMODINÂMICA (VARIAÇÃO DE TEMPERATURA).

### 5.1.1 INTRODUÇÃO

A termoeletricidade foi descoberta por Seebeck em 1826. Ela consiste basicamente no desenvolvimento de uma diferença de potencial em uma junção entre dois metais diferentes. O esquema da Figura 37 mostra o funcionamento do **termopar**, um pequeno circuito elétrico, montado para captar a temperatura de um objeto ou de um ambiente. O metal "A" faz junção nas suas extremidades com o metal "B". Se uma das extremidades é mantida numa temperatura  $T_1$  e a outra numa temperatura  $T_2$  a diferença de potencial  $\Delta V$  medida pelo milivoltímetro nos terminais é dada por  $\Delta V = (S_A - S_B) \cdot (T_2 - T_1)$ , onde  $S_A$  e  $S_B$  são as potências termoelétricas dos metais "A" e "B". Para medir a temperatura de uma das junções ( $T_2$ ) mantemos a outra extremidade ( $T_1$ ) numa temperatura constante e conhecida, neste caso, a água com gelo mantém  $T_1 = 0^\circ$  e medimos  $\Delta V$ . Quando  $T_1 = T_2 = 0^\circ$

→  $\Delta V = 0v$ . Por exemplo, podemos associar à voltagem de 100 mv a temperatura de 100° (o que depende do modelo do termopar), a partir daí poderemos então determinar qualquer temperatura dentro desta escala.

O objetivo deste experimento é determinar a temperatura de um corpo submetido a uma fonte de calor e construir o respectivo gráfico da variação da temperatura ao longo do tempo.

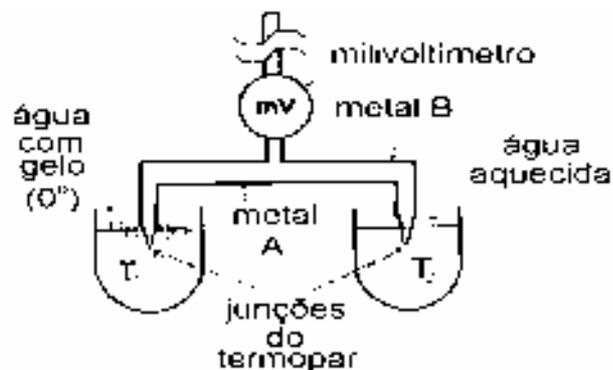


Figura 25 - Funcionamento de um Termopar

### 5.1.2 RESULTADOS ESPERADOS

Ao final da experiência deveremos:

- Obter automaticamente a temperatura de um objeto submetido a uma fonte de calor (ou frio);
- Entender como se dá a variação de temperatura, aquecimento, quando submetido a uma fonte de calor e resfriamento, quando cessar o efeito da fonte de calor, e, posteriormente, compará-la com outros objetos.
- Construção e Interpretação de Gráficos da variação da temperatura em função do tempo.

### 5.1.3 PROCEDIMENTO

Para a realização do experimento utilizaremos dois acessórios acoplados ao Sistema SPAF: um sensor (09AD-LM35) que mede a temperatura diretamente ao contato com a fonte (calor ou frio) e um conversor analógico digital AD0804 (de 8 bits) da National Semiconductor, que digitaliza a variação de voltagem obtida pelo sensor,

O esquema da Figura 38 explica a idéia do experimento. Um objeto (F) é submetido a uma fonte de calor (G). Um sensor (D) capta a variação de voltagem gerada pelo aquecimento e envia para o conversor analógico digital (C). O conversor conectado ao Sistema SPAF converte a variação de voltagem num valor binário (8 bits). O PFGA capta o sinal do conversor, converte para uma escala de temperatura pré-definida e envia para o programa do usuário instalado no Host (A), a evolução da temperatura pode ser acompanhada pelo programa monitor do microcomputador (A). Durante a experiência, como parâmetro de checagem do sistema, observamos a variação da temperatura do objeto através de um termômetro analógico (E) conectado diretamente no objeto.

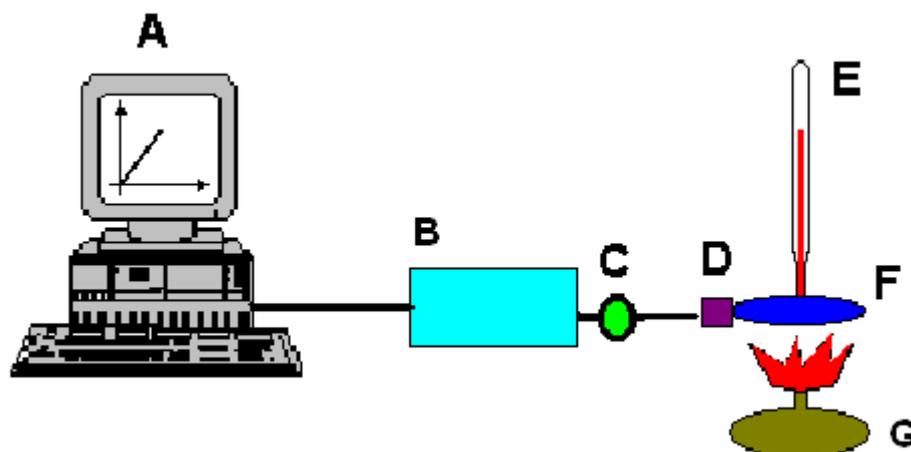


Figura 26 - Experimento com variação de temperatura

Conforme vimos anteriormente, existe um programa que é executado no Microcontrolador, e este controla, por exemplo, o intervalo de tempo entre as coletas

de amostras. Quando necessita de um dado ele envia dois sinais (utilizaremos a seguinte notação  $\text{NOT\_CS\_FPGA} = '0'$  e  $\text{NOT\_RD\_FPGA} = '0'$ ) ao FPGA que se encarrega de fazer uma leitura.

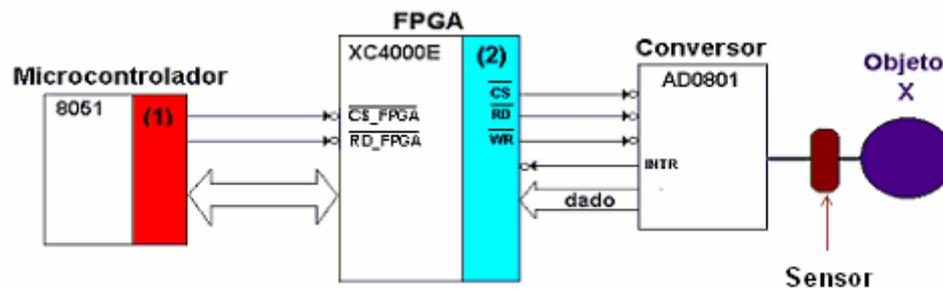


Figura 27 - Execução de uma experiência.

O componente de hardware (2) visto na Figura 27 corresponde ao core de controle do conversor AD, conectado ao FPGA. Para que o conversor faça uma leitura é preciso enviar alguns sinais e aguardar a leitura. A Figura 28 mostra a seqüência de ativação dos sinais.

Antes do início de cada conversão o sinal  $\text{NOT\_INTR}$  encontra-se em nível lógico alto ('1') e os sinais de controle (utilizaremos a seguinte notação  $\text{NOT\_CS}$ ,  $\text{NOT\_RD}$  e  $\text{WR}$ ) também devem estar selecionados em nível lógico alto ('1'), ou seja,  $\text{NOT\_CS}='1'$ ,  $\text{NOT\_WR}='1'$  e  $\text{NOT\_RD}='1'$ . A ativação do conversor (leitura de dado) deve obedecer a seguinte seqüência. Primeiramente deve-se colocar o  $\text{NOT\_CS}$  em nível lógico baixo ('0'), em seguida baixar o  $\text{NOT\_WR}='0'$ , aguardar 4 ciclos de clock, subir o  $\text{NOT\_WR}='1'$ , subir o  $\text{NOT\_CS}='1'$ , neste ponto deve-se aguardar (tempo indeterminado) até que o  $\text{INTR}$  baixe para que se possa fazer a leitura na saída do conversor (8 bits). Quando o  $\text{NOT\_INTR}='0'$  deve-se novamente baixar o  $\text{NOT\_CS}='0'$  e o  $\text{NOT\_RD}='0'$ , após 8 ciclos de clock ao subir o  $\text{NOT\_RD}='1'$  e o  $\text{NOT\_CS}='1'$ , neste momento o dado encontra-se disponível na saída do conversor. Após a leitura do dado o  $\text{NOT\_INTR}$  volta para nível lógico alto ('1') e todo o processo pode ser repetido novamente (nova leitura).

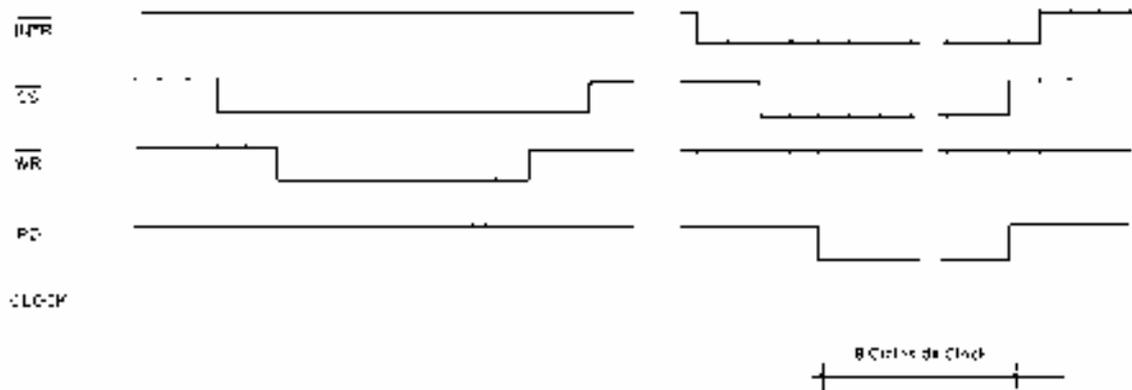


Figura 28 - Seqüência de ativação do conversor AD (leitura de dado)

O FPGA funciona como um co-processador. Para uma experiência que exija cálculos complexos, a realização destes cálculos poderia ser feita no próprio FPGA, o que iria aliviar o processador do Host que seria utilizado em outras tarefas, como por exemplo, plotar o gráfico da variação de temperatura em função do tempo (Figura 29).

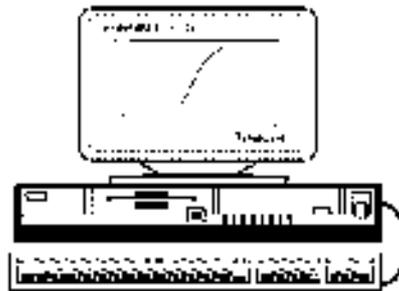


Figura 29 - Gráfico da Temperatura no HOST

Fizemos algumas experiências com variação de temperatura, por exemplo, partindo da temperatura ambiente de  $28^{\circ}$  e segurando o termopar com a mão pudemos observar que o tempo gasto para elevar a temperatura a  $36^{\circ}$  (temperatura do corpo humano) foi em torno de 40 segundos, conforme o gráfico da Figura 30.



Figura 30 – Gráfico da curva de aquecimento de um corpo

Em um outro momento colocando o sensor em contato com gelo. Após 70 segundos tivemos uma redução na temperatura de 30° para 8.5° (Figura 31).

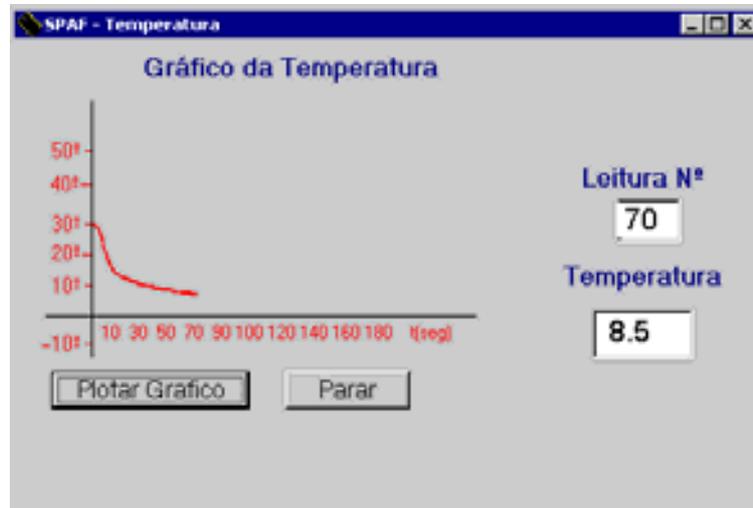


Figura 31 – Gráfico da curva do resfriamento de um corpo

O FPGA usado nestes experimentos foi o XC4005E com 84 pinos de I/O e 196 CLBs. O core do conversor AD configurado no FPGA utilizou 31 CLBs o que representa 15% da sua capacidade. Neste core são usados 30 pinos de I/O.

#### 5.1.4 CONCLUSÕES

A experiências com variação de temperatura mostraram que o equipamento conseguiu ler os valores da temperatura com uma sensibilidade maior que o termômetro analógico (bulbo de mercúrio) utilizado para a comparação dos dados obtidos. Portanto, consideramos satisfatória a metodologia para coleta de dados referente à temperatura.

### 5.2. EXPERIÊNCIA EM CINEMÁTICA (QUEDA LIVRE)

#### 5.2.1 INTRODUÇÃO

A força gravitacional da Terra atrai todos os corpos para o centro do planeta. Esta força é conhecida como aceleração gravitacional ou simplesmente gravidade. A gravidade terrestre mede aproximadamente  $9,8 \text{ m/s}^2$ , este valor pode sofrer pequenas variações dependendo do local do planeta onde for medido. Quando um corpo cai, dizemos que ele está num movimento acelerado, neste caso a velocidade adquirida pelo corpo depende apenas da gravidade e da altura de queda.

Neste experimento uma esfera metálica de diâmetro de 0,79 cm será solta de uma certa altura  $H$  e o sistema determinará o tempo de queda ( $T_1$ ) e a velocidade final da esfera ( $V$ ).

#### 5.2.2 RESULTADOS ESPERADOS

Ao final da execução da experiência deveremos obter automaticamente o tempo de queda ( $T_1$ ) e a velocidade final ( $V$ ) de uma esfera metálica solta de uma altura  $H$ .

### 5.2.3 PROCEDIMENTO

Para a execução deste experimento necessitamos de mais alguns equipamentos, como descreveremos a seguir: um suporte metálico, um relé eletromagnético e um sistema ótico formado por um foto emissor e um foto receptor. Para efeito de simplificação, chamaremos este sistema ótico por sensor ótico.

Inicialmente a esfera está presa ao suporte através do Relé eletromagnético (Figura 32). A partir do programa do usuário (Host) será dado o comando para liberar a esfera.

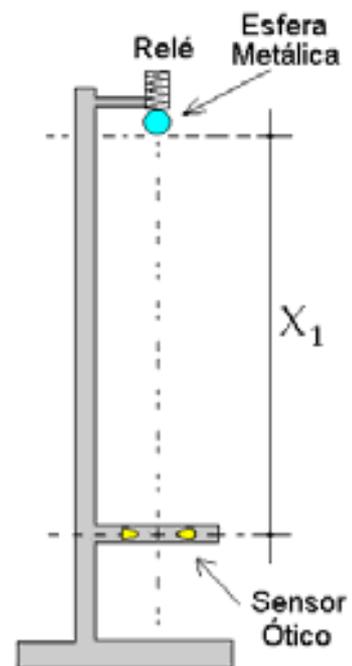


Figura 32 - Posição inicial da esfera

Quando a esfera é liberada percorre a distância  $X_1$  (altura de queda) num determinado tempo  $\Delta T_1$  que será contado no FPGA (Figura 33).

Após percorrer a distância  $X_1$  a esfera chega ao sensor ótico. O sensor registra a chegada da esfera desta forma: se não existe nada obstruindo o sensor ótico o sinal enviado ao FPGA está em nível lógico alto ('1'). Entretanto quando o sensor está obstruído o FPGA recebe um sinal em nível lógico baixo ('0').

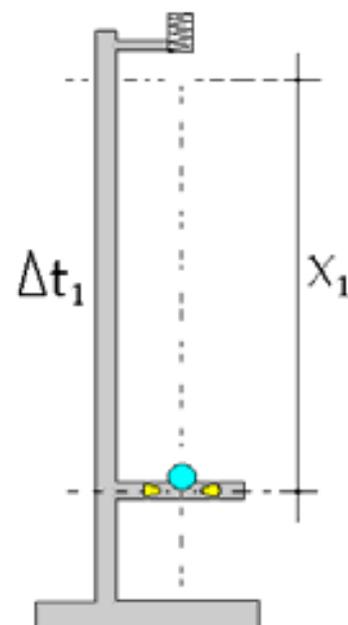


Figura 33 - Queda da esfera

O FPGA também é responsável por calcular o tempo (Figura 34) que a esfera leva para atravessar o sensor  $\Delta t_2$  (este tempo será usado para o cálculo da velocidade)

Como a distância  $X_2$  representa o próprio diâmetro da esfera. A velocidade da esfera naquele ponto será dada pela fórmula abaixo (velocidade média)

$$V = \frac{X_2}{\Delta t_2} = \frac{\text{diâmetro da esfera}}{\Delta t_2}$$

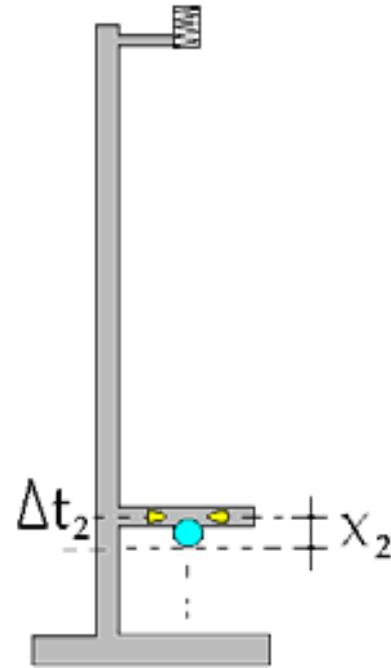


Figura 34 - Esfera atravessa o sensor ótico

A seguir são apresentados os circuitos do relé e do sensor ótico.

As abreviaturas AM (amarelo) e LR (laranja) referem-se às cores dos fios utilizados para conexão ao sistema SPAF. O fio Amarelo (Figura 35) representa um pino de saída do SPAF que liga e desliga o relé e o fio laranja (Figura 36) representa um pino de entrada no SPAF que indica o status do sensor, assumindo valor “1” (fechado) e o valor “0” (aberto - quando a esfera passa pelo sensor).

### Circuito do Relé

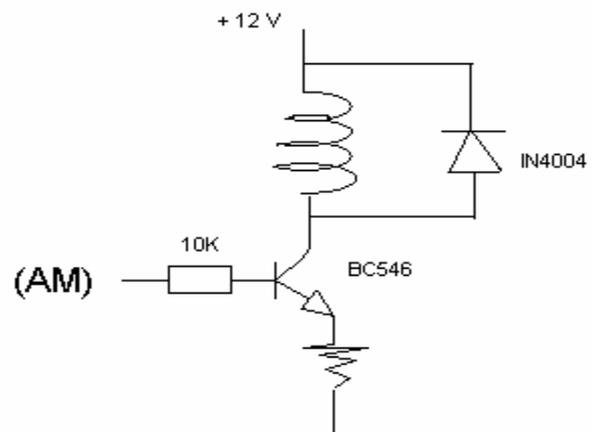


Figura 35 - Circuito do Relé Eletromagnético

## Sensor Ótico

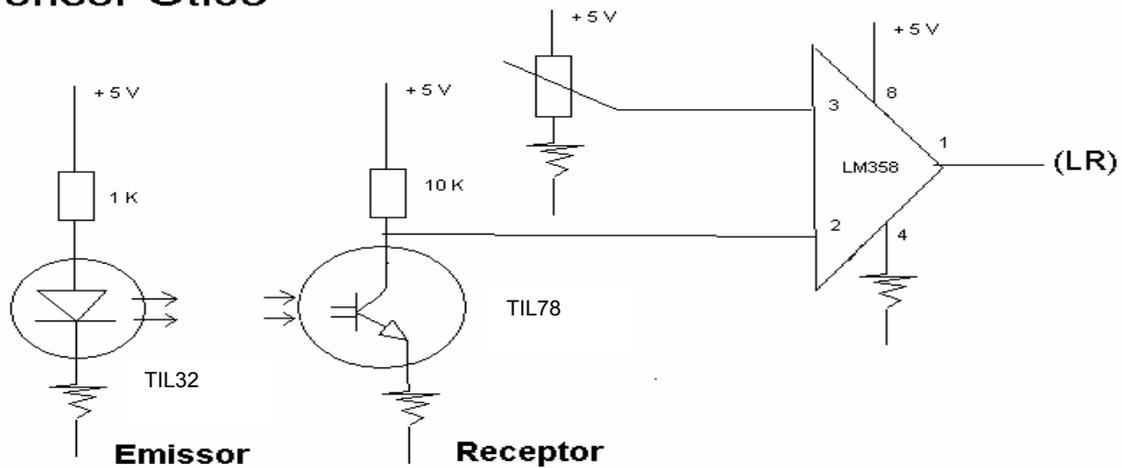


Figura 36 - Circuito do Sensor Ótico

O FPGA usado nestes experimentos foi o XC4005E com 84 pinos de I/O e 196 CLBs. O *core* do sistema de queda livre configurado no FPGA utilizou 54 CLBs o que representa a utilização de 27,5 % da sua capacidade. Neste *core* são usados 19 pinos de I/O.

Podemos utilizar as fórmulas abaixo para o cálculo do tempo de queda e velocidade final, onde H é a altura de queda e g é a aceleração da gravidade.

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \qquad v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Caso os valores de H e g fossem medidos com uma grande exatidão poderíamos dizer que estes seriam os “valores reais” (ou próximo dos reais) para uma experiência com um objeto em queda livre. No entanto, todo processo de medição introduz erros. Estes erros podem ser minimizados pela utilização de instrumento de grande precisão. Logo, as medidas de g, H e dos tempos T1 e T2 introduzem erros que serão discutidos a seguir.

Como já mencionamos anteriormente, o processo de medição dos tempos é feito através de contadores que são incrementados pelo clock do sistema no FPGA, ou seja, em cada subida do clock uma unidade é incrementada a um dos contadores. No final do processo teremos os valores dos dois contadores (Cont\_T1 e Cont\_T2). O cálculo dos tempos T1 e T2 é feito multiplicando-se cada contador pelo inverso do clock do sistema.

Durante a realização dos experimentos, pudemos observar que o clock médio do sistema estava em torno de 11,33 MHz, porém variou de 11,32 a 11,34 MHz, ou seja, uma variação de 0,02 MHz. Esta variação no clock também introduz um erro na medida do tempo. Por exemplo, para uma altura de 19,3 cm, fizemos uma série de medições (Tabela 2):

Medição	Cont_T1	T1	Clock (estimado)
1	2241960	0,197671	11323298
2	2242682	0,197707	11325385
3	2242960	0,197720	11326113
4	2240405	0,197808	11331157
5	2243882	0,197853	11333749
6	2240962	0,197872	11334806
7	2243022	0,197896	11336211
9	2240818	0,197902	11336524
9	2242473	0,197978	11340871
10	2244840	0,198062	11345713
<b>Média =</b>	<b>2242400</b>	<b>0,197752</b>	<b>11333383</b>

Tabela 2 - Valores do tempo de queda (T1) para altura de 19,3 cm

O valor do contador Cont\_T1 oscilou entre 2240405 a 2244840, o que representa uma variação de 4435 unidades ( $\Delta N$ ). Supondo que uma das medidas encontradas foi  $T1 = 0,197853 \approx 0,198$  segundos (Cont\_T1 = 2243882 unidades, que chamaremos de N na fórmula do erro). O erro da medida será dado por  $\Delta T$ :

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{4435}{2243882} + \frac{0,02}{11,33} = 0,0038 \times 0,198 \approx 0,001$$

Logo, a medida de T1 encontrada deveria ser expressa como:

$$T1 = T1 \pm \Delta T = 0,198 \pm 0,001 \text{ segundo.}$$

Comparando-se com o valor aproximado do tempo de queda calculado pela fórmula, os resultados do experimento representam medidas satisfatórias:

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0,193}{9,86}} \approx 0,198 \text{ segundo.}$$

Outra maneira de calcularmos o erro introduzido na medida do tempo seria utilizando a própria fórmula anterior. No entanto, este erro independe do sistema de medição. Vamos citá-lo apenas para efeito de comparação com o erro anterior. Neste caso o erro  $\Delta T$  seria dado pela fórmula abaixo, onde  $\Delta H$  é o erro da medida de H, utilizando uma régua milimetrada teríamos  $\Delta H = 0,01$ . Vamos considerar um erro da medida da aceleração da gravidade dado por  $\Delta g = 0,05$ :

$$\frac{\Delta T}{T} = \left| \frac{1}{2} \right| \times \frac{\Delta H}{H} + \left| -\frac{1}{2} \right| \times \frac{\Delta g}{g} = \frac{1}{2} \times \frac{0,01}{19,30} + \frac{1}{2} \times \frac{0,05}{9,86} \approx 0,0051 \times 0,198 \approx 0,001$$

A medida de T1 encontrada, seria expressa da mesma maneira:

$$T1 = T1 \pm \Delta T = 0,198 \pm 0,001 \text{ segundos.}$$

Agora vamos analisar o erro com relação ao cálculo da velocidade final (V). Como vimos anteriormente, o seu valor seria dado pela divisão do diâmetro da esfera ( $D = 0,79 \text{ mm}$ ) pelo tempo que a esfera gasta para atravessar o sensor ( $T2$ ), logo:

Medição	Cont_T2	T2	V = ( D/T2 )
1	46112	0,004068	1,941766
2	45796	0,004041	1,955164
3	46103	0,004068	1,942145
4	45920	0,004052	1,949885
5	45850	0,004045	1,952862
6	46105	0,004068	1,942061
7	45812	0,004042	1,954481
8	46113	0,004069	1,941724
9	45957	0,004055	1,948315
10	45952	0,004054	1,948527
<b>Média =</b>	<b>45956</b>	<b>0,004055</b>	<b>1,947693</b>

Tabela 3 - Valores da velocidade (V) para altura de 19,3 cm

Por exemplo, para um dado valor de  $V = 1,952862 \approx 1,95$  m/s, teríamos:

$$\frac{\Delta V}{V} = \left| \frac{1}{2} \right| \times \frac{\Delta g}{g} + \left| \frac{1}{2} \right| \times \frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{2} \times \frac{0,05}{9,86} + \frac{1}{2} \times \frac{0,01}{19,30} = 0,0051 \times 1,95 \approx 0,01$$

Logo, a medida de  $V$  encontrada deveria ser expressa como:

$$V = V \pm \Delta V = 1,95 \pm 0,01 \text{ m/s.}$$

Como  $V$  (teórico estimado) =  $\sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 1,95$  concluímos que o valor encontrado para a velocidade é também bastante satisfatório.

Fizemos outros experimentos com diferentes alturas de queda e os resultados foram muito semelhantes aos anteriores com relação aos erros obtidos.

#### 5.2.4 CONCLUSÕES

Como pudemos observar, pelos resultados dos experimentos realizados para a altura de 19,3 cm (tabelas 1 e 2) o tempo de queda (T1) e a velocidade (V) encontrados foram bastante satisfatórios. Outros experimentos foram feitos com diferentes alturas de queda e o erro manteve-se constante em todas as medições realizadas. Graças aos resultados obtidos neste experimento consideramos validada a metodologia para aquisição de dados em experiências de Física chamada de plataforma SPAF. Isto nos anima a idealizar novas experiências com o desenvolvimento de novos cores para interfaces de aquisição e tratamento de dados.

## 6 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros nesta área.

A Física foi uma das primeiras áreas do campo das ciências onde os sistemas computacionais foram introduzidos e ainda têm muitos serviços a prestar.

Neste trabalho, tivemos a oportunidade de verificar que, em muitas situações do ensino de Física existem obstáculos para a aprendizagem, e, em geral, só são superados pela ruptura criada pela passagem do qualitativo ao quantitativo, através da introdução de medidas feitas por instrumentos e metodologias adequadas. Neste aspecto, os sistemas digitais, têm se mostrado ferramentas indispensáveis na implementação destas metodologias.

Cabe a nos, no entanto, como educadores, promover a integração entre as ciências e disponibilizar meios adequados utilizando recursos como a informática na aprendizagem das ciências através de métodos acessíveis à comunidade.

Devido muitas vezes à sofisticação e tecnologia usada e, por conseguinte seu alto custo, um grande número de boas plataformas de ensino tornam-se inacessíveis à maioria dos estudantes.

Este projeto visa a aplicação de uma plataforma reconfigurável no ensino de Física denominada SPAF. Esta plataforma utiliza alguns dispositivos especiais, como os FPGA e microcontrolador, porém estes componentes são de baixo custo e graças à característica da reconfiguração, permitem a adaptação de novas interfaces, (bastando implementar novos cores) sem a necessidade da alteração do hardware.

Para a realização deste trabalho fizemos uma revisão no ensino de Física, que mostra, através dos resultados das pesquisas a importância do uso de sistemas computacionais na área e faz o levantamento de algumas plataformas voltadas para o ensino.

Esperamos contribuir para o ensino de Física, chamando a atenção para problemas antigos na aprendizagem e divulgando a utilização das novas tecnologias em busca de um ensino de qualidade.

Creemos que a concepção do Sistema SPAF integrada à plataforma Chameleon é capaz de diversificar e reduzir custos na elaboração de novas experiências da Física. Como demonstrado no estudo de caso, a utilização de cores devidamente validados e integrados na plataforma facilita sobremaneira

a criação de novos experimentos de maneira simples, sem a necessidade de mudança de componentes de trabalho, salvo aparatos específicos para captação de dados, como por exemplo, sensores para medição de tempo.

Novos *cores* devem ser desenvolvidos visando a realização de novas experiências, além de interfaces que auxiliem a compreensão dos experimentos.

Como perspectivas futuras, além do desenvolvimento dos demais *cores* de experiências propostas neste trabalho, sugerimos uma outra plataforma, quem sabe a SPAF2, utilizando os dispositivos reconfiguráveis dinamicamente, em experiências que demandem este comportamento, os *DPGAs* (*Dynamic Programmable Gate Array*). Estes dispositivos além da reconfigurabilidade dinâmica, possuem outra característica especial, a reprogramação parcial, o que não é possível na plataforma atual na qual utilizamos os dispositivos *FPGA*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

ACTEL - site na internet: ([www.actel.com](http://www.actel.com))

AIP - site na internet: ([www.aip.org/pas/](http://www.aip.org/pas/))

ALTERA, Data Book, 1998

ALTERA - site na internet: ([www.altera.com](http://www.altera.com)),

AMPHION - Amphion Semiconductors Inc. - site na internet: ([www.amphion.com](http://www.amphion.com))

ANDALORO, G., BELLOMONTE, L. & SPERANDEO-MINEO, R. M. "A computer-based learning environment in the field of Newtonian mechanics" International Journal of Science Education, nº 19, pp 661-680, ano 1997.

ARASAN - Arasan Chip Systems, Inc. - site na internet: ([www.arasan.com](http://www.arasan.com))

AROSTEGUI, Juan. M. M., JACOBI, Ricardo e QUINTERO, Carlos, H. L. *Un Proyecto de Investigación sobre Síntesis Lógica y Arquitecturas Reconfigurables* – in. ORDONEZ, Edward D. M. e SILVA, Jorge, L., *Computação Reconfigurável – Experiências e Perspectivas*, p. 16, 1997.

ARS Consult – Engenharia de Sistemas, Rua real da Torre, 778 – CEP 50610-000 – Recife, Brasil

ASTOLPHI, Jean-Pierre e DEVELAY, Michael, *A didática das Ciências*, Campinas, SP, Papirus Editora, pp. 7-26, 1991.

ATMEL - site na internet: ([www.atmel.com](http://www.atmel.com))

BARROS, E.; M.E. de LIMA; A. SAMPAIO, *From Hardware/Software Partitioning to Layout: A Transformational Approach*, XIII SBCCI, pp.89-100, RS, 1994.

BARROS, E. et al., *Hardware/Software Co-design in the PISH project*, proceedings of the II Brazilian Workshop on Hardware/Software Co-design, 1997.

BEICHNER, R. *"Testing student interpretation of kinematics graphs"* American Journal of Physics, n° 62, pp 750-762, ano 1994.

BENNER, T. e ERNEST, R., *FPGA Based Prototyping for Verification and Evaluation in Hardware-Software co-synthesis*, 4º Workshop on FPL, Prague, pp. 251-258, 1994.

BLISS, J. *"Externalizing thinking through modeling: ESCR tools for exploratory learning research program"* In: VOSNIADOU, S., DE CORTE E., GLASER, R. e MANDL, H. *"International perspectives on the design of technology-supported learning environments"*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 25-40, 1996.

BROWN S., MUHAMMAD. K. e ZVONKO, V. *Minimizing FPGA Interconnect Delays*, IEEE Design & Test of Computers, , Winter, pp. 16-23, 1996.

CAVALCANTE, S. V. *A hardware-software co-design environment for real-time embedded applications. In: C.] [MULLER-SCHLOER, GEERINCKX F. , STANFORD-SMITH B. and VAN RIET R. (eds.), Embedded microprocessor systems. Amsterdam: IOS Press, , pp. 253-262, 1996.*

CROSBY, M. E. & IDING, M. K. *"The influence of a multimedia Physics tutor and user differences on the development of scientific knowledge"* Computers and Education, n° 29, pp 127-136, 1997.

DESIGN-REUSE - site na internet: ([www.design-reuse.com](http://www.design-reuse.com) ).

DAEDALON - site na internet: [www.daedalon.com](http://www.daedalon.com)

DeEHON, A.; TAU, E.; CHEN, D.; ESLICK, I. e BROWN, J.. "A first generation DPGA implementation". Third Canadian Workshop of Field-Programmable Devices, , Montreal, Canada, 1995.

DeMICHELI, G. *Hardware/Software co-design: application domains and design technologies*. In: DeMICHELI, G. and SAMI, M. (eds.), *Hardware/Software co-design*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 1-28, 1996.

FARIAS, A. J. O. "*Existem dificuldades dos alunos na interpretação da interação Carga-Campo?*", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 21, nº 3, p. 389-396, Setembro de 1999.

FREE-IP - site na internet: ([www.free-ip.com](http://www.free-ip.com))

HARRES, J. B. S. "*Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica*", *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 10, nº 3, p. 220-234, dezembro de 1993.

HEWSON, P. "*Diagnosis and remediation of an alternative conception of velocity using a microcomputer program*", *American Journal of Physics*, nº 53, pp 684-690, 1985.

INTERACTIVEPHYSICS - site na internet: ([www.interactivephysics.com](http://www.interactivephysics.com))

JIMOYIANNIS, Athanassios e KOMIS, Vassilis, *Computer Simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion*, Publicada na revista COMPUTERS & EDUCATION, Ed. 36, ano 2001.

KEIL Software Inc. Professional Development Kit Manuals, 1997.

KNOWLEDGE REVOLUTION) - site na internet: ([www.knowledgerevolution.com](http://www.knowledgerevolution.com)),

KUÇUKÇAKAR, Kayhan, *Analysis of Emerging Core-Based Design Lifecycle*, ACM, EUA, 1998.

LABURU, C. E. e ARRUDA, S. M. "*Um Instrumento Pedagógico para situações de controvérsias e conflito cognitivo*", Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 20, nº 3, p. 259- 271, Setembro de 1998.

LIMA, Manoel E. de ; CAVALCANTE, S. V., ARAÚJO, Cristiano C. de, e LEÃO B. S. , *CHAMELEON: A prototyping platform for Digital System Design*, Department of Informatics, Federal University of Pernambuco, Brasil, 1997.

LIMA, M.E.; Silva, D.S.; RAMALHO, D.G. and BURGOS, A.V. *Chameleon-I: A Rapid Prototyping Multi-FPGA Platform for PISH Co-design System* 1998.

LUCENT - site na internet: ([www.lucent.com](http://www.lucent.com)).

MADISETTI, V.K., *Rapid Prototyping of Digital Systems: Current Practice, Future Challenges* IEEE Design and Test on Computers, 1996.

MCDERMOTT, L., ROSENQUIST, M. & VAN ZEE, E. "*Student difficulties in connecting graphs and physics*" American Journal of Physics, nº 55, pp 503-513, 1987.

MCDERMOTT, L. C. "*How we teach and how students learn – a mismatch?*" American Journal of Physics, nº 61, pp 295-298, 1993.

MOTOROLA - site na internet: [wwwMotorola.com](http://www.Motorola.com)

NATINST - site na internet: ([www.natinst.com/brazil](http://www.natinst.com/brazil))

OLDFIELD, John V. e DORF, Richard C. *FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAYS – Reconfigurable Logic for Rapid Prototyping as Implementation of Digital System*, pags. 53 a 69, Wiley & Sons, INC. New York. 1995.

PALMA, José Carlos, MORAES, Fernando e CALAZANS, Ney, *Métodos para desenvolvimento e Distribuição de IP-Cores*, Faculdade de Informática – PUCRS, 2001.

PASCO - site na internet: [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

PEIXOTO, L. T. e GOMES, K. Q. "Simulação gráfica em computador do comportamento de uma cadeia atômica linear", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 20, nº 2, p. 111-116, junho de 1998.

PHYSLINK - site na internet: ([www.physlink.com/education/software.cfm](http://www.physlink.com/education/software.cfm)),

PIERRON - site na internet: [www.perron.com](http://www.perron.com)

PRESTON, Daril W., KANE, Joseph W. e STERNHEIM, Morton M., *EXPERIMENTS IN PHYSICS: A Laboratory Manual*, p. 21-70, Ed. John Wiley & Sons, New York, 1983.

PRESTON, Daril W. e DIETZ, Eric R. *THE ART OF EXPERIMENTAL PHYSICS*, p. 114-138, Ed. John Wiley & Sons, New York, 1991

V RELAEF. Recomendações para formação de Professores de Física na América Latina, *Recomendações nº 6*, Grupo de Trabalho B – Laboratório, Demonstrações e Informática na Formação do Professor de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 14, nº 3, p. 184-195, Dezembro de 1992.

RAMOS, Luiz Antônio Macedo, *FÍSICA EXPERIMENTAL*, p. 16-162, Mercado Aberto Editora e Propaganda Ltda., Porto Alegre, 1984.

ROSA, P. R. S. "O uso de computadores no ensino de Física. Parte I: *Potencialidades e uso real*", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 17, nº 2, p. 182-195, junho de 1995.

ROSENQUIST, Mark L. e MCDERMOT, Lillian C. *A conceptual approach to teaching Kinematics*, Publicado no American Journal of Physics, Vol 55, N° 5, maio de 1997.

SCHULZE, K. G., SHELBY, R. N., TREACY, D. J. & WINTERSGILL, M. C. "*Andes: An active learning, intelligent tutoring system for Newtonian Physics*" Themes in Education, 1(2), pp 115-136, ano 2000.

SDISA - site na internet: [www.sdisa.com](http://www.sdisa.com)

TELATOMIC - site na internet: ([www.telatomic.com](http://www.telatomic.com))

TEODORO, V. D. "*Learning with computer-based exploratory environments in Science and Mathematics*" In: VOSNIADOU, S., DE CORTE, E. e MANDL, H. "*Technology-based learning environments*" NATO ASI Series F (Vol. 137, pp. 26-32). Berlin: Springer-Verlag, 1993.

TERINI, R. A. e CAVALCANTE, M. A. "*Utilização de métodos computacionais no ensino: A experiência de Geiger e Marsden do espalhamento de partículas alfa*", Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 11, n° 1, p. 33-42, abril de 1994.

THORNTON, Ronald K. e SOKOLOFF, David R., *Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools*, Publicado no American Journal of Physics, Vol 58, N° 9, , pp 858-867, setembro de 1990.

TRISCEND - site na internet: [www.triscend.com](http://www.triscend.com)

TROWBRIDGE, D. E. & MCDERMOTT, L. C. "*Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*" American Journal of Physics, n° 48, pp 1020-1028, ano 1980.

TROWBRIDGE, D. E. & MDERMOTT, L. C. "*Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension*" American Journal of Physics, nº 48, pp 242-253, ano 1981.

VAUTOMATION - Vautomation, Inc. - site na internet: ([www.vautomation.com](http://www.vautomation.com))

VERNIER - site na internet: ([www.vernier.com](http://www.vernier.com))

VILANI, A., PACCA, J. L. A., KISHINAMI, R.I., HOSOUME, Y. "Analisando o ensino de Física: contribuições de Pesquisas com enfoques diferentes", Revista de Ensino de Física nº 4, ano 1982.

WILSON, J. & REDISH, F. "*The comprehensive unified physics learning environment: part I – Background and system operation*" Computers and Education, Março/Abril, pp 202-209, ano 1992.

WHITAKER, R. J. "*Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion*" American Journal of Physics, nº 51, pp 352-357, ano 1983.

XILINX, The Programmable Logic Data Book, Xilinx inc., 1996.

XILINX, The Foundation Series, 1997.

XILINX, The Programmable Logic Data Book, 1997.

XILINX - site na internet: ([www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)).

ZYLBERSZTAJN, Adren, *Concepções espontâneas em Física: Exemplos em Dinâmica e implicações para o ensino*, Departamento de Educação – UFRN, 1985.

## 8 ANEXOS

Neste anexo é feita uma descrição (Fluxograma simplificado) dos programas desenvolvidos para o Sistema Programável para Aulas práticas de Física bem como a linguagem utilizada no desenvolvimento.

Fluxograma da Interface principal com o usuário (Delphi)

Autor Vanildo Silva Meira

Versão – Janeiro de 2003

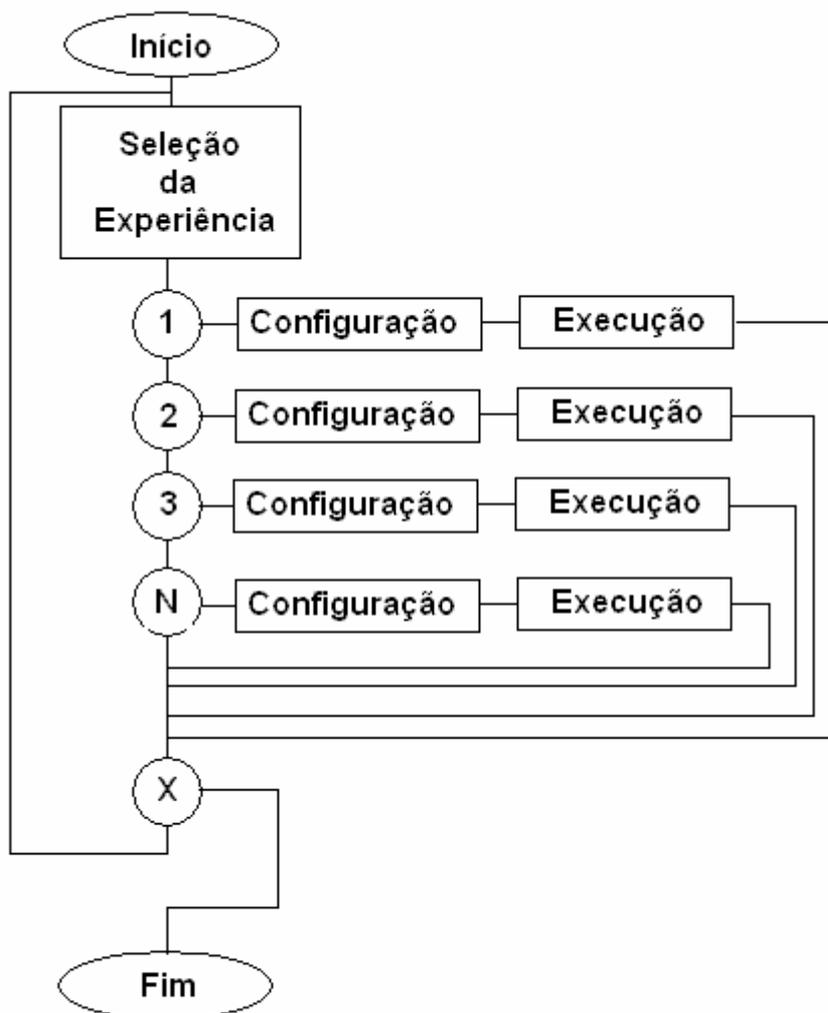


Figura 37 – Esquema do Programa da interface principal com o Usuário

Programa para aquisição de Dados - Temperatura - Interface com o usuário (Delphi)

Autor: Vanildo Silva Meira

Versão – Janeiro de 2003



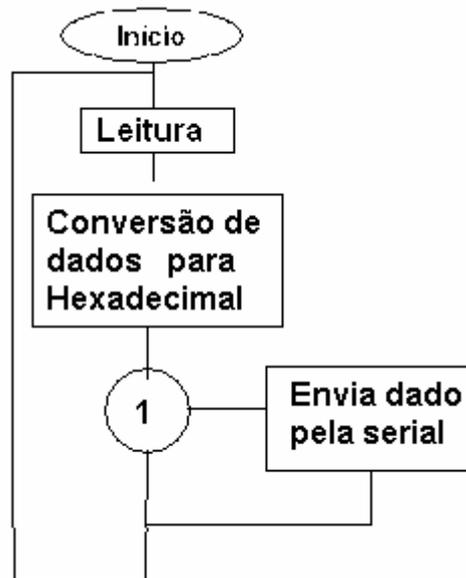
Figura 38 - Esquema do Programa para Aquisição de dados da Temperatura

Descrição em “C” do Programa do Microcontrolador para temperatura

Versão – Janeiro de 2003

Autor: Vanildo Silva Meira

Colaboração: Abel



**Figura 39 - Esquema do Programa do Microcontrolador para Aquisição de dados da Temperatura**

## Esquema do Core de Controle do Conversor AD (VHDL)

Versão – Janeiro de 2003

Autor: Vanildo Silva Meira

Colaboração: Abel

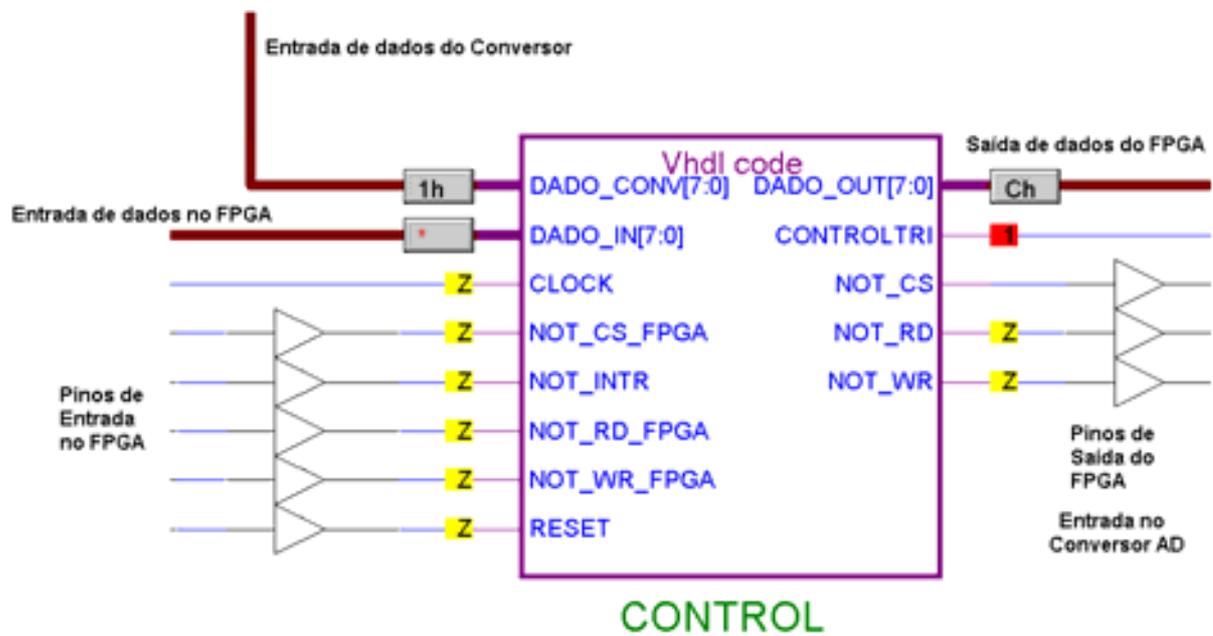


Figura 40 - Esquema do Core para controle do conversor AD

Programa para aquisição e tratamento de dados referente ao experimento de Queda Livre – Interface com o usuário (Delphi)

Autor Vanildo Silva Meira

Versão – Fevereiro de 2003

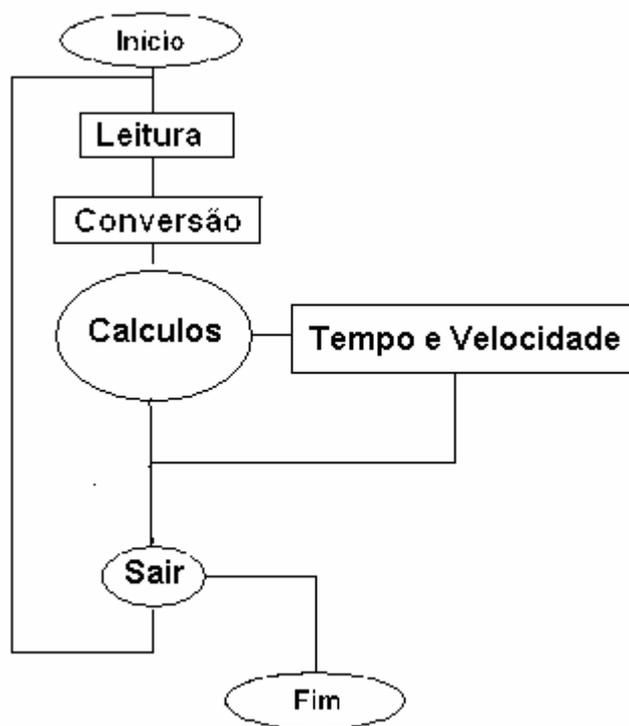


Figura 41 - Esquema do programa para aquisição e tratamento de dados de queda livre

Descrição em “C” do Programa do Microcontrolador para Queda Livre

Versão – Fevereiro de 2003

Autor: Vanildo Silva Meira

Colaboração: Abel e Abner

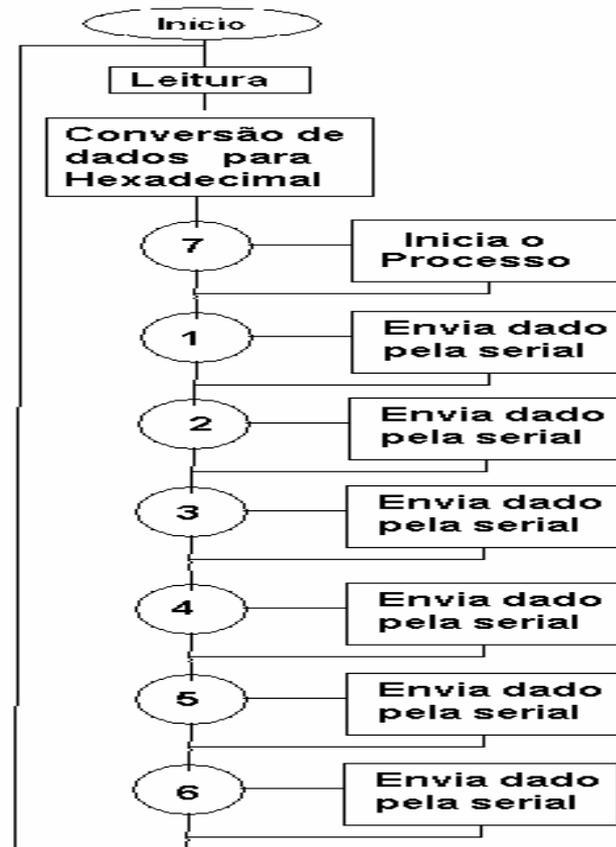


Figura 42 - Esquema do programa do microcontrolador para queda livre

## Descrição do Core de Controle de queda livre (VHDL)

Versão – Fevereiro de 2003

Autor: Vanildo Silva Meira

Colaboração: Abel e Abner

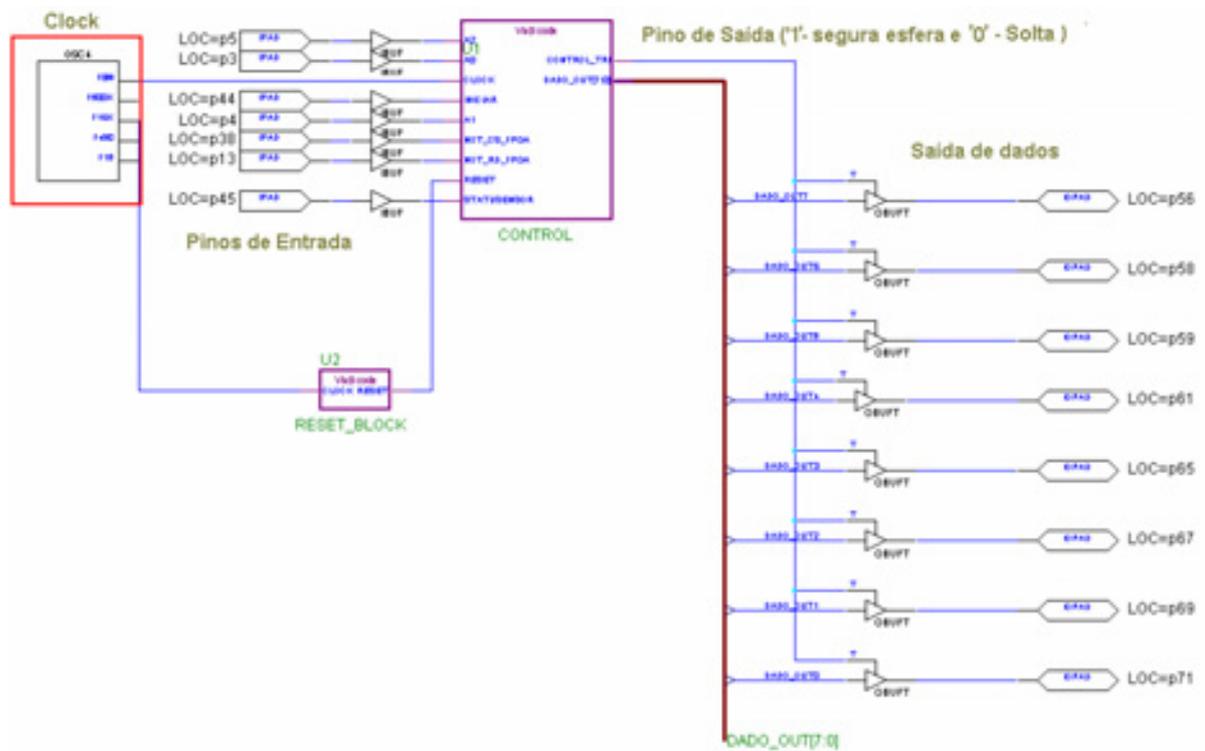


Figura 43 - Esquema do core de controle do experimento de queda livre