

# Utilização do Computador como Instrumento de Ensino: Uma Perspectiva de Aprendizagem Significativa

(The use of the computer as a teaching instrument - a perspective of significant learning)

José de Souza Nogueira, Carlos Rinaldi, Josimar M. Ferreira e Sérgio R. de Paulo

*Departamento de Física/ICET - UFMT - 78060-900 - Cuiabá, MT*

*E-mail: jparana@zaz.com.br*

Recebido em 28 de Abril, 2000. Aceito em 15 de Setembro, 2000

Neste trabalho, é discutida a possibilidade de utilização do computador como instrumento de ensino, dentro de uma perspectiva de aprendizagem significativa. A partir de uma analogia entre algumas teorias de aprendizagem e o desenvolvimento das linguagens de computação, são discutidas as bases de um 'software' com flexibilidade suficientes para respeitar as particularidades entre diferentes usuários/aprendizes. O modo de funcionamento de tal software (denominado de PIAGEF - Programa de Inteligência Artificial do Grupo de Ensino de Física) é discutido neste trabalho, bem como sua arquitetura, potencialidades e limitações.

In this work, the possibility of employing personal computers as teaching tools is discussed, under the meaningful learning framework. Based on an analogy between some learning theories and the development of the computational science, it is discussed the basis of a software able to attend the characteristics of different learners. The operation of such a software (called PIAGEF - Artificial Intelligence Program of the Physics Education Group) is also discussed, including its structure, possibilities and limitations.

## I Introdução

A inserção do computador nas escolas, como instrumento de ensino adicional às aulas convencionais, vem crescendo progressivamente em todo o mundo. Naturalmente, sua utilização tem se tornado uma tendência global, sendo que vários pesquisadores da área de ensino têm se dedicado ao tema [Santos (1990); Santos (1993); Terini *et al.* (1994); Costa e Paulo (1995)]. Diante desse quadro, e levando-se em conta os resultados obtidos pela pesquisa acadêmica na área da Educação em Ciências [Driver, 1989], existe preocupação quanto à forma como esta máquina se instala nas escolas, a título de instrumento de ensino, levando-se a refletir: Qual a sua singularidade em relação aos instrumentos tradicionais de ensino, que levariam os alunos à obtenção de uma aprendizagem significativa?

No que concerne ao ensino da Física, todas as séries apresentam tópicos que envolvem conceitos técnicos e cálculos, onde as situações virtuais criadas no computador oferecem importante auxílio à aprendizagem de tais conceitos. Nada melhor, por exemplo, que estudar no computador, passo a passo, a trajetória de uma bola no caso do lançamento oblíquo (lançamento de projéteis),

o que o experimento convencional em laboratório não permite.

Analisando os softwares educacionais disponíveis no mercado, pode-se constatar que eles possuem uma importante característica comum: Eles são *estáticos*, no sentido que independem das concepções do aluno-usuário, ou seja, são preconcebidos de forma a simular situações-problema (colisões, planos inclinados, reflexão da luz, etc.) ou meramente na condição de verificar o acerto ou erro do aluno colocado diante de questões objetivas. Assim, os softwares apresentam as mesmas alternativas para alunos com diferentes graus de desenvolvimento cognitivo e diferentes concepções sobre o tema abordado. Além disso, é claro que os softwares assim concebidos não podem lidar com questões subjetivas, ou seja, com a própria linguagem, concepção e nível cognitivo do aluno, aproximando-se tanto quanto possível da interação professor-aluno na relação ensino-aprendizagem, propiciando uma aprendizagem realmente significativa.

De acordo com a abordagem Ausbeliana [Moreira (1983a); Ausubel (1968)], uma das condições fundamentais para que ocorra a aprendizagem significativa é que novas informações devem relacionar-se, de alguma

forma, com um elemento relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo [Moreira (1983a)], ou seja, as novas informações devem fazer sentido para o indivíduo. Indivíduos diferentes terão subsunçores diferentes, portanto, para que os mesmos obtenham aprendizagem significativa sobre um determinado tema, as informações a eles oferecidas devem ser diferentes.

Um outro ponto relevante é a questão da linguagem. Ausubel enfoca a linguagem como um facilitador importante para a ocorrência da aprendizagem significativa [Moreira (1983)]. Os conceitos abordados serão realmente assimilados pelos alunos, se eles forem apresentados numa linguagem que também faça sentido para o aprendiz.

Dada a característica estática dos softwares educacionais disponíveis no mercado, pode-se concluir, portanto, que eles não atendem aos pré-requisitos fundamentais para a ocorrência da aprendizagem significativa. A sua arquitetura não é flexível o suficiente para construir conceitos a partir de subsunçores diferentes. Além disso, a linguagem sobre a qual eles estão estruturados (não a linguagem computacional, mas a terminologia utilizada para nomear os conceitos envolvidos) não equivale à linguagem do aprendiz. Acredita-se então, que uma das limitações imposta pelo uso do computador seja a comunicação (*interface*) entre o aluno e a máquina.

Sabidamente, computadores e humanos têm naturezas extremamente diferentes, já que a máquina se limita apenas a fazer processamentos rápidos, enquanto humanos têm a possibilidade de uma abordagem qualitativa e criativa dos fenômenos físicos.

Portanto, a utilização de computadores para o ensino pode se tornar mais eficiente se uma *interface* apropriada, entre aluno e máquina estiver disponível, fazendo com que o aprendiz possa aprimorar sua estrutura cognitiva a partir de seus subsunçores. Uma possibilidade para se criar tal *interface* é que ela esteja baseada na linguagem própria dos mesmos. Se o computador puder compreender a linguagem do aluno (mesmo as gírias e termos qualitativos como “mais alto”, “menos intenso”, etc.), então a interação do aluno na realidade virtual criada pelo computador se amplia.

Este trabalho tem como objetivo mostrar que um caminho possível para a obtenção de tal *interface* é o desenvolvimento de um Programa de Inteligência Artificial (PIA), estruturado a partir de uma análise comparativa entre a evolução das teorias cognitivas, referente ao tema aprendizagem significativa, e a própria evolução das linguagens de computação, permitindo ao aluno interagir com maior intimidade com programas especialistas, propiciando-lhe o desenvolvimento da criatividade, iniciativa e capacidade de raciocínio, propor-

cionando uma aprendizagem significativa, contínua e autônoma, fundamentada na interação e visualização de situações vivenciadas em seu cotidiano, as quais a Física, que é uma ciência natural, explica e/ou equaciona. Nas próximas seções, apresentar-se-á uma breve analogia entre a evolução das teorias cognitivas e da linguagem de computação; a questão da construção do espaço de conceitos e a descrição e estratégia de utilização do Programa de Inteligência Artificial (PIA).

## II Analogia entre a evolução das teorias cognitivas e da linguagem de computação

A teoria cognitiva de David Ausubel tornou a “estrutura cognitiva (do aprendiz)” um objeto de estudo central dentro das pesquisas realizadas na área [Moreira (1983a)]. Desde a época de Ausubel, os pesquisadores têm mantido uma preocupação especial com a inter-relação entre os conceitos e como estão hierarquizadas essas inter-relações no interior da mente humana [Posner *et al.* (1982)]. Foram então desenvolvidas várias formas de representação da estrutura cognitiva, dentre as quais, pode-se destacar as árvores conceituais [Preece (1976)], os mapas conceituais [Taber (1994)] e proposições conceituais [Moreira (1983b)], bem como formas de se medir a inter-relação entre os conceitos, como os testes de associação [Preece (1976)] e análise multidimensional [Rosa *et al.* (1993)]. Tais métodos são capazes de gerar uma representação gráfica instantânea que, se não é absolutamente fiel à real estrutura cognitiva de um indivíduo num instante de tempo, pelo menos tem alguma semelhança com ela.

Desde a década de 80, os pesquisadores da área passaram a se preocupar não somente como os conceitos estão hierarquizados na estrutura cognitiva do aprendiz, mas também em como essa hierarquia muda em função da educação e em função do próprio cotidiano do indivíduo. Assim, eles passaram não apenas a investigar o como uma estrutura cognitiva se configura, mas também como ela passa de uma configuração a outra, processo esse denominado de “mudança conceitual” (*conceptual change*) [Driver (1989); Posner *et al.* (1982); Posner and Gertzog (1982); Perez e Alis (1985)]. A aprendizagem significativa é um processo onde a configuração da estrutura cognitiva passa de um estado a outro em busca de uma maior estabilidade.

A recente história do desenvolvimento das linguagens de computação comporta duas “revoluções científicas” fundamentais. Nos anos 70, a evolução da *programação estruturada* e, nos anos 80, a *programação*

*orientada a objetos* [Takahashi e Liesenberg (1990)]. A programação orientada a objetos é um paradigma no qual a arquitetura de programação tenta se aproximar das características do pensamento humano. Tal paradigma tem feito com que o desenvolvimento das linguagens de computação busque suporte teórico em pesquisas sobre inteligência artificial e sobre as ciências cognitivas [Takahashi e Liesenberg (1990)].

Nesse contexto, um tópico de fundamental importância para os pesquisadores de linguagem de programação é a inter-relação de conceitos ou, na linguagem computacional, de objetos. Assim, o conjunto de relações entre objetos (conceitos) forma uma estrutura chamada rede semântica, em analogia à estrutura cognitiva.

Um outro paradigma teórico em que se apoia o desenvolvimento das linguagens de computação é a interdependência entre a linguagem e o pensamento. Enquanto que as ciências cognitivas atualmente se apoiam nas idéias vygotskianas sobre o tema [Vygotsky (1993); La Taille (1992); Howe (1996)] para a elaboração de novas e mais eficientes estratégias de ensino/aprendizagem, as ciências de computação se baseiam na premissa de que a linguagem e o pensamento se moldam mutuamente [Takahashi e Liesenberg (1990); Whorf (1956)].

### III O espaço de conceitos

Mas não é só no âmbito de seu desenvolvimento como ciência que a computação e ciências cognitivas mantêm uma analogia. Elas têm também que enfrentar um problema fundamental semelhante: o da questão da *representação*. Vimos que, ao passo em que a computação utiliza as redes semânticas como representação da inter-relação entre objetos, as ciências cognitivas utilizam mapas conceituais. Contudo, o verdadeiro problema está em como fazê-lo. Por exemplo, para visualizar um mapa conceitual, pode-se escrever, numa folha de papel, os nomes de alguns conceitos interligando-os com arcos [Preece (1976)]. Os arcos representariam as relações entre os conceitos. Neste caso, que critério pode ser utilizado para orientar a disposição espacial dos nomes dos conceitos na folha de papel? Baseado em que regra podemos colocar o conceito X à direita ou à esquerda do conceito Y? Quais conceitos devem ser colocados perto das margens superior e inferior da folha? A folha de papel constitui o Espaço de Conceitos (no caso, bidimensional) no qual a estrutura cognitiva está representada. As orientações esquerda/direita e cima/baixo correspondem às dimensões desse espaço.

O grande problema é que até hoje não se desco-

briu um critério suficientemente objetivo para a construção do espaço de conceitos. Por exemplo, quantas dimensões esse espaço deve ter? Nem sempre o espaço bidimensional constitui a melhor representação [Moreira (1983b)]. No caso de outras ciências esse problema já foi resolvido. Na Física Estatística, por exemplo, existe um critério estabelecido objetivamente embasando uma representação hexadimensional: o espaço de fase, constituído por 3 dimensões espaciais e 3 dimensões correspondentes às componentes da quantidade de movimento.

No caso das ciências de computação, existe uma proposta de configuração do espaço de conceitos baseada no estudo das operações abstratas executadas pela mente humana [Tsichritzis e Lochovsky (1982)]. Reconhece-se três tipos básicos de abstração:

I) classificação (tendo como operação inversa a instanciação);

II) generalização (especialização); e,

III) agregação (decomposição).

Tal representação constitui um espaço tridimensional cuja aplicabilidade tanto na computação quanto nas ciências cognitivas é ainda uma questão em aberto.

O fato é que a computação tem a oferecer subsídios importantes para o desenvolvimento da representação da estrutura cognitiva humana. Contudo, os pesquisadores da área ainda devem gastar muitos anos de pesquisa até delinearem de forma mais objetiva qual deve ser o melhor espaço  $n$ -dimensional para representar tal estrutura.

Após uma análise entre os dois campos de conhecimento e, utilizando de elementos que a computação pode oferecer para o desenvolvimento da representação da estrutura cognitiva humana - subsídio importante para o progresso da área - pretende-se apresentar uma proposta para a utilização do computador no ensino diante de uma perspectiva de aprendizagem significativa pelos alunos, através do desenvolvimento de um ambiente computacional não-estático em que os problemas da linguagem, conforme discutidos anteriormente, sejam minimizados.

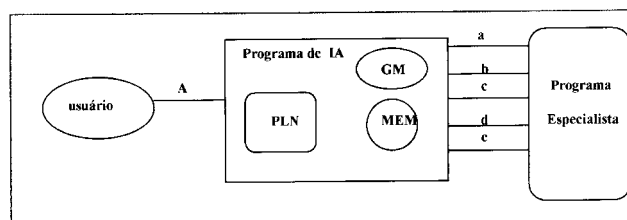
Tal proposta consiste no desenvolvimento de um programa que possibilite a identificação das estratégias de elaboração do pensamento e linguagem utilizadas pelos alunos, bem como, obter informações sobre suas barreiras epistemológicas, dados estes relacionados às suas próprias estruturas cognitivas e, também, diagnosticar as mudanças conceituais ocorridas nas mesmas, durante a manipulação de um software educativo para assim poder subsidiar as estratégias que promoverão tais mudanças.

## IV Descrição do Programa

Este programa permite que o computador possa associar as palavras digitadas no teclado pelo aluno (ou mesmo verbalizadas no caso de uma máquina equipada com um sistema multimídia com processador de voz), operação esta que pode ser executada baseada em um banco de dados que contém palavras ordenadas conectadas entre si, formando o que se pode denominar de rede semântica, que serve de *interface* entre o aluno e um programa especialista qualquer.

Por “programa especialista”, neste trabalho, são designados aqueles que, por meio de comandos específicos, executam um número limitado de tarefas correspondentes. Por exemplo, um programa que desenhe um retângulo toda vez que a interface lhe envie o comando “retângulo”. Em princípio, não é necessário que esse programa tenha características especiais, contudo, seus comandos devem ser os mais genéricos possíveis, para que apresentem uma flexibilidade suficiente. Por exemplo, num programa especialista em desenhos, é desejável que seus comandos básicos correspondam às figuras geométricas básicas (retângulo, elipse, linha, etc.) pois todos os desenhos bidimensionais podem ser constituídos por elas.

Essa *interface* se utiliza da Inteligência Artificial (uma das bases do paradigma de objetos da computação, conforme discutido anteriormente) e de uma rede semântica como banco de dados, que servem de intermediário entre o usuário humano (o aprendiz) e o programa especialista (o software educacional). Basicamente o que é necessário para a implementação de tal interface pode ser resumido no esquema abaixo:



Esquema representando a interface entre usuário e programa especialista, bem como suas partes constituintes.

O esquema consta de 3 partes: O usuário, o programa de IA e o programa especialista, que está para ser controlado. O programa de IA consta das seguintes partes:

**I) Processador de Linguagem Natural (PLN)** - reconhece termos coloquiais da língua portuguesa e/ou é capaz de “aprender” termos novos, de acordo com as necessidades do usuário (quando o usuário utiliza um termo que não consta da memória do programa de IA, este imediatamente pergunta o significado desse termo,

incluindo-o em seu arquivo-memória). Para esta interface, foi utilizada uma versão modificada do PLN proposto por H. Schildt [Schildt (1989)], escrito em linguagem C, mas adaptado à língua portuguesa;

**II) Memória (MEM)** - contém as informações reconhecidas pelo programa. Consiste num arquivo contendo palavras posicionadas em ordem alfabética. Cada linha da memória tem a seguinte estrutura:

- **Número de linha** - indica simplesmente a posição da palavra na memória.

- **Palavra** - qualquer termo da língua portuguesa que foi anteriormente introduzida na memória.

- **Tipo** - classificação gramatical da palavra. Para que o PLN reconheça o significado de uma frase, é necessário que ele tenha informações quanto à classe gramatical das palavras. Isso permite que ele desconsidere, por exemplo, os artigos e preposições cujo descarte não implica em perda de significado da frase.

- **Apontadores** - números das linhas das palavras sinônimas ou que têm alguma correlação com a palavra em questão. Os apontadores permitem que sejam interligadas as palavras que têm algum significado comum, pode-se dizer que uma palavra “aponta” para a outra. As palavras interligadas entre si formam uma espécie de “rede de palavras” (rede semântica) grosseiramente análoga à rede de sinapses entre os neurônios do cérebro humano. Quanto maior o número de apontadores (sinapses) saindo de cada palavra, melhor deve ser a “inteligência” do programa de IA.

Quando o programa recebe uma mensagem do usuário, o PLN passa a procurar pela palavra em sua memória. Se ele a encontra, busca os seus significados (palavras apontadas). Se algum desses significados representar um comando executável, então o PLN pode ordenar ao computador, ou ao dispositivo acoplado, a realização de alguma tarefa. Se a palavra não fizer parte de seu arquivo-memória, o programa lhe perguntará o seu significado, introduzindo as palavras desconhecidas em seu arquivo-memória (ele “aprende” também) e as conecta com uma outra palavra já incluída anteriormente. Dessa forma, o aluno pode “dialogar” com o programa especialista utilizando sua própria linguagem e seus próprios conhecimentos.

**III) Gerenciador da Memória (GM)** - executa as operações-padrão de modificação e manutenção da memória. Basicamente ele é capaz de ler o arquivo-memória que deve estar gravado num disco rígido ou disquete, transferindo-o para a memória RAM, incluir novas palavras na memória e reordenar suas linhas em ordem alfabética. É responsável também pela busca de uma palavra na mesma e pela sua regravação no disquete ou disco rígido.

Voltando à Fig. 1, temos a interligação “A” entre o usuário e o programa de IA, que pode ser o teclado ou um microfone, e as interligações (“a”, “b”, “c”, “d”, “e”, etc.) entre o programa de IA e o programa especialista. Essas últimas interligações são os comandos básicos que são compreendidos pelo programa especialista.

A primeira versão da interface já se encontra pronta, é escrita na linguagem C++ e se chama PIAGEF (Programa de Inteligência Artificial do Grupo de Ensino de Física). PIAGEF admite um banco de dados de até 10.000 termos ou conceitos. PIAGEF permite que no total, cada palavra possa apontar para 20 outras.

De acordo com o banco de dados, a representação semântica de PIAGEF é feita num espaço de uma dimensão (o estudo da performance de PIAGEF utilizando representações de mais de uma dimensão será feito a posteriori, após o aperfeiçoamento do programa configurado unidimensionalmente). Essencialmente a ligação entre as palavras nesta primeira versão é do tipo “é um(a)”. Isso significa que o programa não estabelece ligações de diferentes naturezas entre as palavras (característica da representação unidimensional). Uma palavra ligada a outra, para PIAGEF, significa que elas devem ter algum tipo de vínculo. Isso é suficiente para essa primeira versão do programa, pois o que se pretende, por ora, é fazer com que a linguagem própria de cada aprendiz possa acionar comandos específicos do programa especialista, ou seja, que o aprendiz possa “conversar” com tal programa.

## V Estratégia para Utilização do Programa

Atualmente o trabalho está direcionado para a confecção de dois programas especialistas (*softwares* de desenho e de circuitos elétricos), que serão conectados a PIAGEF de forma a tornar possível ao usuário interagir com situações problemas propostos, a partir de sua própria linguagem, os quais envolvam concepções espontâneas e alternativas já pesquisadas.

Após o término da confecção do programa especialista de desenho e a sua conexão com PIAGEF, o conjunto dos programas será testado, aplicando-o individualmente a estudantes entre 8 e 18 anos (segunda série do nível fundamental ao terceiro ano do nível médio) de uma mesma escola (para assegurar condições semelhantes). Será analisado o quão eficazmente os estudantes construirão figuras complexas, utilizando-se de sua própria linguagem, em função da idade. Não se delimitou uma faixa etária específica por não existir dados objetivos com relação à idade mais indicada para

a realização desse trabalho. Se por um lado crianças jovens possuem menor grau de abstração, elas possuem um maior grau de interesse, em média, em desenhar. Assim, aplicar-se-á os programas a uma amostra pequena de cada faixa etária (três alunos com 8 anos, três com 9 anos, etc.), identificando assim em que faixa etária a interação entre aluno e programa especialista foi mais efetiva. A seguir, será feita a escolha aleatória de uma amostra maior constituída por alunos (aproximadamente 20), que se encontram na faixa etária identificada anteriormente.

A verificação do desempenho desses estudantes em desenhar servirá para testar e aperfeiçoar o *software* PIAGEF.

Durante a testagem de PIAGEF, será dada uma atenção especial às mudanças ocorridas no banco de dados desse programa. Conforme o aprendiz utiliza PIAGEF, o seu banco de dados vai se modificando com a inclusão de termos que são próprios da linguagem do mesmo. Assim sendo, através da análise das diferenças do banco de dados antes e depois da utilização do *software*, é possível identificar as estratégias utilizadas pelos alunos, bem como obter informações sobre suas barreiras epistemológicas, em função de suas concepções espontâneas e alternativas, dados estes relacionados às suas próprias estruturas cognitivas; bem como, diagnosticar as mudanças conceituais ocorridas nas estruturas cognitivas dos alunos durante a manipulação deste *software* educativo; e subsidiar as estratégias que promoverão as mudanças conceituais.

Após o teste e aperfeiçoamento do PIAGEF com o programa especialista de desenho, o mesmo será conectado ao programa especialista de circuitos elétricos, que envolverá concepções espontâneas e alternativas bastante pesquisadas pelos autores da área [Rinaldi e Ure (1994); Closset (1983); Viennot (1985); Nussbaum (1979)], dentre outros.

Neste trabalho espera-se constatar a ocorrência de aprendizagem significativa durante a manipulação do PIAGEF juntamente com o *software* de desenho e, também diagnosticar as mudanças conceituais nas estruturas cognitivas dos alunos durante sua ocorrência através da manipulação do PIAGEF em conjunto com o *software* de circuitos elétricos.

Sabe-se que o sucesso do aluno não depende exclusivamente de suas concepções, mas também da interação do aluno com o programa de computador e sua pré-disposição em aprender. O aluno pode ter os conceitos formados, mas simplesmente não conseguir manipular de forma eficiente o programa. Portanto, é na avaliação do quanto o programa será efetivo no processo da utilização dos seus próprios conhecimentos na resolução de uma situação-problema, que se baseiam os objetivos

deste trabalho. Destaca-se a importância do PIAGEF, por permitir a detecção da mudança conceitual durante a sua ocorrência, já que é possível registrar momento exato em que um novo termo é introduzido no banco de dados. Isso representa uma vantagem com relação a outros métodos comumente utilizados para se detectar a mudança conceitual (como testes de associação e obtenção de árvores conceituais), os quais são aplicados antes e depois do emprego de uma dada metodologia de ensino, ou seja, em momentos descontínuos do processo de construção do conhecimento pelo aluno.

Acreditando ser o computador um instrumento de ensino auxiliar no processo de construção de conhecimento dos alunos, o envolvimento dos professores tornar-se-á importante durante o processo de validação desta interface, pois, este *software* só será eficaz e atingirá os objetivos uma vez que tais profissionais se sentirem familiarizados com o mesmo.

Com os resultados obtidos neste trabalho, espera-se efetivamente contribuir não somente com o desenvolvimento de melhores *softwares* para o ensino da física, como também no aperfeiçoamento de diagnósticos mais objetivos e eficientes para a análise da mudança conceitual da estrutura cognitiva humana.

## References

- [1] CLOSSET, J.L. "Sequential reasoning in electricity" - La Londe les Maures, jun/july - France, 1983. pp.312-319.
- [2] COSTA, A.M. e PAULO, S.R.. "Performance de um programa de inteligência artificial baseado em rede semântica e suas possíveis aplicações no ensino de física". Segunda Reunião Especial da SBPC, Cuiabá-MT, Livro de Resumos, 1995. p.232.
- [3] DRIVER, R.. "Students' conceptions and the learning of science" - International Journal of Science Education, Vol.11, 1989. pp.481-490.
- [4] HOWE, A.C. "Development of Science Concepts within a Vygotskian Framework". Science Education, Vol.80, N.1, 1996. pp.35-51.
- [5] LA TAILLE, Y. de. (org.). *Piaget, Vygotsky, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão*. São Paulo, Summus, 1992.
- [6] MOREIRA, M.A.. *Ensino e Aprendizagem - Enfoques Teóricos*. São Paulo, Moraes, 3 edição, 1983a.
- [7] MOREIRA, M.A.. *Uma abordagem cognitivista ao ensino de física*. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983b.
- [8] NUSSBAUM, J.. "Children's conceptions of the Earth as a cosmic body: A cross age study". Science Education, Vol. 63, N. 1, 1979. pp. 83-93.
- [9] PEREZ, D.G. and ALIS, J.C.. "Science learning as a conceptual and methodological change". European Journal of Science Education, Vol. 7, N.3, 1985. pp. 231-236.
- [10] POSNER, G.J. and GERTZOG, W.A.. "The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change". Science Education, Vol. 66, N.2, 1982. pp.195-209.
- [11] POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. and GERTZOG, W.A.. "Accommodation of a Scientific Conception: Towards a Theory of Conceptual Change". Science Education, Vol.66, N. 2, 1982. pp.211-227.
- [12] PREECE, P.F.W.. "Mapping Cognitive Structure: A Comparison of Methods". Journal of Education Psychology, Vol.68, N. 1, 1976. pp.1-8.
- [13] RINALDI, C. e URE, M. C. D.. "Concepções de adultos não influenciados pelo ensino formal sobre eletricidade". Rev. de Educ. Pública, Ed. da UFMT, Cuiabá, Vol. 3, N. 3, Junho. 1994. pp. 145-161.
- [14] ROSA, M. A. Moreira e B. Buchweitz. "Alunos bons solucionadores de problemas de física: Caracterização a partir da análise de testes de associação de conceitos". Rev. Bras. de Ens. de Física, Vol. 15, Nos. 1-4, 1993. pp. 52-60.
- [15] SANTOS, A. C. K.. "Modelamento computacional através do sistema de modelamento celular (CMS)". Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 7, N. 1, 1990.
- [16] SANTOS, A.C.K.. "Desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais para o aprendizado exploratório de Ciências". Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 10, N. 2, 1993.
- [17] SCHILD, H. *Inteligência artificial utilizando linguagem C*. McGraw-Hill Books do Brasil, 1989.
- [18] TABER, K.S.. "Student reaction on being introduced to concept mapping". Physics Education, Vol. 29, 1994. pp.276-281.
- [19] TAKAHASHI, T. e LIESENBERG, H.K.E.. "Programação Orientada a Objetos". IME- USP. 1990.
- [20] TERINI, R.A. et al. "Utilização de Métodos computacionais no Ensino: a experiência Geiger e Marsden do espalhamento de partículas Alfa", Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 11, N. 1, 1994.
- [21] TSICHRITZIS, D.C. e LOCHOVSKY, F.H.. *Data Models*. Prentice-Hall, 1982.
- [22] VIENNOT, L.. "Analyzing students' reasoning: Tendencies in interpretation". American Journal of Physics, Vol.53, N..5, 1985. pp.432-436.
- [23] VYGOTSKY, L.S.. *Pensamento e linguagem*. Ed. Martins Fontes, 1993.
- [24] WHORF, B.. "Language, Thought and Reality". MIT Press, 1956.