

# Alunos bons solucionadores de problemas de Física: caracterização a partir da análise de testes de associação de conceitos\*

(Students who are good problem solvers in physics: characterization based on the analysis of concept association tests)

Paulo R. S. Rosa<sup>†</sup>, Marco A. Moreira e Bernardo Buchweitz

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Caixa Postal 15051, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido para publicação em 14 de Novembro de 1991; Revisado em 21 de Fevereiro de 1992

Aceito para publicação em 15 de Abril de 1992

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar, em termos cognitivos, alunos bons solucionadores de problemas de Física em contraposição a alunos maus solucionadores de problemas de Física. Para isso, foi aplicado a um grupo de setenta alunos um teste de associação escrita de conceitos que foi analisado por três instrumentos distintos: uma análise estatística convencional, o escalonamento multidimensional e a análise de agrupamentos hierárquicos. Os resultados obtidos pelos dois primeiros instrumentos não mostraram diferença alguma entre os dois grupos, enquanto que a análise de agrupamentos hierárquicos sugere que os alunos bons solucionadores agrupam os conceitos sob forma operacional.

## Abstract

The objective of this study was to distinguish, from a cognitive point of view, between good and bad problem solvers in physics at introductory college level. In order to do this, a word association test was administered to a group of seventy students. In addition to a traditional statistical analysis, data from this test were submitted to multidimensional scaling and hierarchical clustering analysis. Results from the first two techniques did not show significant differences whereas results from the hierarchical clustering analysis suggest that good problem solvers cluster concepts in an operational way.

## I. Introdução

Todo professor já se deparou com a seguinte questão: como pode acontecer que alguns alunos se desempenhem tão mal em uma verificação de solução de problemas se o grupo todo foi submetido às mesmas condições instrucionais? Uma interpretação a partir de um referencial cognitivista poderia ser a de que existe uma diferença de organização das estruturas cognitivas dos diversos alunos, responsável por essa disparidade nos resultados. Mas que diferença seria essa?

As dificuldades começam na própria conceituação do que seja estrutura cognitiva. Ausubel (1980), por exemplo, a define como:

*"Conteúdo total e organização das idéias de um indivíduo; ou, no contexto de uma matéria de ensino, conteúdo e organização de suas idéias em uma área particular de conhecimento."*

Já Preece (1976) fala em:

*"... noção de estrutura cognitiva - padrão de relações entre conceitos na memória."*

Para Kempa e Nicholls (1983):

\*Trabalho parcialmente financiado por CNPq e FINEP.

<sup>†</sup>Professor junto ao Departamento de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Atualmente afastado para fazer o curso de doutoramento em Física no IF/UFRGS através do Programa PICD/CAPES.

"... por estrutura cognitiva entendemos a disponibilidade e acessibilidade, na mente do aluno, de idéias, conceitos e conexões entre eles necessárias para uma determinada tarefa de solução de problemas."

Essas dificuldades continuam na escolha de instrumentos e técnicas de acesso (supondo-se que seja conseguido um consenso de definição) à estrutura cognitiva. Entre os que têm sido utilizados cita-se a própria tarefa de solução de problemas, os diversos tipos de teste de associação de palavras, a tarefa de construção de árvores (Preece, 1976), a entrevista, os mapas conceituais (Moreira, 1987). Os registros e as medidas obtidos a partir da aplicação desses instrumentos podem ser analisados e interpretados por meio da construção de dígrafos (Moreira e Costa, 1983), do escalonamento multidimensional, da análise de agrupamentos hierárquicos, da análise lógico proposicional, etc. (Santos e Moreira, 1979)

Contornamos essas dificuldades definindo estrutura cognitiva como uma disposição de conceitos em um espaço abstrato, com uma métrica definida ou não. Nesse espaço, a proximidade psicológica entre dois conceitos para dado indivíduo é representada por uma maior proximidade geométrica entre pontos que representam os conceitos (ou seja menor distância entre os conceitos). Podemos representar esse espaço utilizando dois algoritmos: o escalonamento multidimensional e a análise de agrupamentos hierárquicos (Santos e Moreira, 1991). Enquanto que no escalonamento multidimensional supõe-se uma métrica definida (normalmente tipo euclidiana), na análise de agrupamentos hierárquicos a métrica do espaço não é definida. Esses dois algoritmos necessitam apenas das medidas de similaridade entre os conceitos. Essas medidas podem ser obtidas através da aplicação de um teste de associação de palavras a um sujeito ou grupo de sujeitos. Utiliza-se então a fórmula de Garskoff-Houston (1963), no caso do teste utilizado ser um teste de associação escrita de conceitos (como o usado neste trabalho) ou as próprias similaridades assinaladas no caso em que o teste seja um teste de associação numérica de conceitos (Santos e Moreira, 1979).

A questão da caracterização dos alunos bons solucionadores de problemas de Física vem ocupando a

atenção dos pesquisadores ligados à área do ensino de Física já há algum tempo. Larkin e Reif (1979), por exemplo, sugerem uma metodologia para o estudo deste tema: definir o que caracteriza os bons solucionadores de problemas de Física e a partir desta informação projetar a instrução de modo a maximizar tais características. Seus resultados relativos aos aspectos que identificam o bom solucionador de problemas podem ser encontrados no Quadro 1.

Gabel, Sherwood e Enoch (1984), por sua vez, estudaram a solução de problemas em Química encontrando evidências do uso de processos algorítmicos por parte dos alunos pertencentes ao grupo dos bons solucionadores de problemas. Johnson (1965, 1967, 1969) em uma série de trabalhos analisou a associação de palavras, obtida através de testes de associação, e sua relação com a capacidade de solucionar problemas. Ele obteve (Johnson, 1965) uma relação significativa, sob o ponto de vista estatístico, entre a capacidade de solucionar problemas e as respostas eliciadas durante o teste. Em Biologia, Fisher et alli (1984) estudaram através da associação de palavras a evolução de conceitos biológicos com a maturação dos alunos, utilizando cinquenta e sete conceitos. Seus resultados são consistentes com a teoria em espiral da aprendizagem, segundo a qual os conceitos são adquiridos por meio de uma série sucessiva de cortes através do conteúdo. Nesse trabalho é apresentada uma tentativa de explicação das associações feitas pelos respondentes dos testes com base em um modelo cognitivo. A estrutura cognitiva é vista como uma rede cujos nodos representam conceitos e cujas linhas ligando nodos representam relações (de natureza proposicional) que conectam esses conceitos. Ao apresentarmos a palavra estímulo, ativaríamos a rede no ponto ocupado pelo estímulo e os caminhos mais comumente percorridos pelos estímulos seriam então aqueles que determinariam a seqüência de conceitos obtidos.

O objetivo do nosso trabalho é o de comparar as estruturas cognitivas de dois grupos de alunos, segundo esse tipo de modelo: um grupo formado por alunos bons solucionadores de problemas e outro formado por alunos maus solucionadores de problemas de Física. Obtemos as representações das estruturas cognitivas dos dois grupos a partir da aplicação de um teste de associação escrita de conceitos, o qual é subseqüentemente analisado pelo escalonamento multidimensional e pela

### Quadro 1

Aspectos principais dos modelos de solução de problemas para novatos e especialistas segundo Larkin e Reif (1979).

#### 1. Processos do Novato

- Constrói descrição original
- Constrói descrição matemática
  - Identifica e aplica princípios relevantes
  - Combina equações para eliminar quantidades indesejáveis

#### 2. Processos do Especialista

- Constrói descrição original
- Constrói descrição física em detalhes
  - Seleciona um método
  - Seleciona aspectos chave do problema
  - Aplica princípios principais
    - \* Constrói descrição mostrando forças paralelas a aceleração ou velocidade
    - \* Verifica se não existem anomalias
  - Aplica princípios subsidiários
    - \* Verifica se nenhuma quantidade parece problemática
- Constrói a descrição matemática
- Aplica princípio principal para obter equações
- Aplica princípios subsidiários para eliminar quantidades indesejáveis
- Combina e soluciona equações

análise de agrupamentos hierárquicos. Paralelamente a isto, é feita uma análise estatística descritiva do número de conceitos emitidos pelos dois grupos para a verificação de alguma diferença no número médio de associações feitas pelos grupos.

## II. Os Instrumentos e Técnicas Utilizados

### II.1 O Teste de Associação Escrita de Conceitos (TAEC)

No TAEC (Santos e Moreira, 1979), cada conceito é apresentado isoladamente ao indivíduo no topo de uma

folha. Solicita-se então que o sujeito escreva abaixo dele os conceitos que ele acredita estarem mais associados ao conceito dado, na ordem em que vão sendo pensados. Uma hipótese implícita a esse teste é a de que a ordem de emissão dos conceitos seja o fator importante, pois conceitos emitidos primeiro seriam aqueles mais próximos psicologicamente do conceito dado, enquanto que os últimos estariam mais afastados.

A ordem de emissão e a posição relativa das cadeias associadas a dois conceitos são os fatores que são levados em conta no cálculo do coeficiente de relacionamento de Gaskoff-Houston (1963) entre esses conceitos, dado por:

$$RC = \frac{\vec{A}' \cdot \vec{B}'}{(\vec{A} \cdot \vec{B}) - [n^p - (n-1)^p]^2} \quad (1)$$

onde  $\vec{A}' \cdot \vec{B}'$  é a intersecção das cadeias de conceitos associados aos conceitos-chave  $A$  e  $B$  e  $[\vec{A} \cdot \vec{B} - [n^p - (n-1)^p]^2]$  é a intersecção máxima possível no caso em que as duas cadeias tivessem apenas os conceitos  $A$  e  $B$  diferentes. O expoente  $p$  que aparece no denominador deve ser determinado empiricamente é uma medida de importância psicológica daquele conceito para o sujeito (Santos e Moreira, 1991). A partir dos coeficientes de relacionamento entre todos pares de conceitos constrói-se uma matriz chamada matriz de similaridades.

### II.2 O Escalonamento Multidimensional (EMD)

Uma das técnicas utilizadas para analisar-se a estrutura da matriz de similaridades obtida com o TAEC é o EMD (op.cit.). Os programas do EMD procuram responder à questão: uma vez dada uma matriz de similaridades, qual a configuração em um espaço  $r$ -dimensional que melhor se ajusta às medidas de similaridades obtidas?

Para obter esta configuração o que os algoritmos fazem é minimizar uma função  $\chi^2$ , procurando obter após cada iteração uma configuração com o menor valor para esta função.

O programa utilizado no nosso trabalho foi o ALSICAL-3 sigla de Alternating Squares to Scaling. Esse algoritmo, proposto por Takane, Young e de Leew (1977), foi implementado em FORTRAN IV. Esse programa é capaz de realizar um grande número de análises

diferentes, incluindo aquelas realizadas por outros algoritmos já utilizados (MINISSA, MDSCAL, SSA-I, etc.).

No ALSICAL (que é um algoritmo de quatro fases, duas maiores e duas menores) a função a ser minimizada é a função SSTRESS, dada por:

$$\phi^2(X, W, D^*) = \sum_i \sum_j \sum_k^{i-1} (d_{ijk}^* - d_{ijk}^2)^2 \quad (2)$$

onde  $d_{ijk}^* \in D^*$  e  $d_{ijk} \in D$ .  $X$  é a matriz das ordenadas dos estímulos em uma dada iteração,  $W$  é uma matriz diagonal onde os sujeitos são representados como vetores cujas direções indicam a importância relativa de cada dimensão para cada sujeito. Os  $d_{ijk}$  são dados por sua vez por:

$$d_{ijk}^2 = \sum_{a=1}^t \omega_{ia} (x_{ja} - x_{ka})^2; \omega_{ia} > 0 \quad (3)$$

onde  $t$  é o número de dimensões do espaço onde o escalonamento está sendo efetuado e  $\omega_{ia}$  são os pesos dados pelo sujeito  $i$  na dimensão  $a$ . Os  $d_{ijk}^*$  por sua vez são transformações sobre as observações brutas, que dependem do tipo de restrições feitas sobre o processo de medida. No nosso caso estes elementos são dados por:

$$d_{ijk}^* = \sum_{l=0}^p \delta_l O_{ijk}^l$$

onde os  $O_{ijk}$  são as medidas brutas (similaridades) e os  $\delta_l$  são os coeficientes dos polinômios que dão a relação linear entre as observações e os números a elas associados (e.g.,  $\delta_0 = 0$  para variáveis tipo "razão"). Um estudo tipo Monte Carlo feito pelos autores indicou os níveis de significância estatística mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1**  
Níveis máximos permitidos para o valor do SSTRESS

Dimensão	Nível de significância	
	0,01	0,05
4	0,600	0,720
3	0,117	0,127
2	0,204	0,223
1	0,397	0,428

A Figura 1 mostra um resultado típico de um EMD para uma matriz de similaridades entre conceitos na área de Termodinâmica (Santos, 1978), onde  $Q$  (calor),

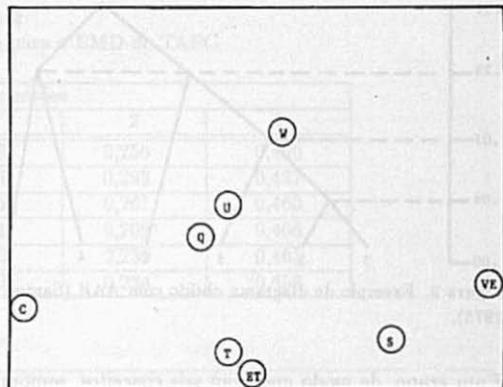


Figura 1. Exemplo de configuração bidimensional de EMD para uma matriz de similaridades obtida com um TANC na área de Termodinâmica (Santos, 1978, p. 126).

$U$  (energia interna),  $W$  (trabalho),  $T$  (temperatura),  $ET$  (equilíbrio térmico),  $VE$  (variável de estado),  $S$  (entropia) e  $C$  (calor específico).

Nessa figura observa-se claramente um agrupamento de pontos correspondente aos conceitos de temperatura e equilíbrio térmico e outro agrupamento relativo aos conceitos de calor, energia interna e trabalho. Provavelmente, os conceitos de entropia e variável de estado formam um terceiro agrupamento, enquanto o conceito de calor específico parece estar bastante isolado.

De acordo com essa interpretação, a estrutura da matriz de similaridades, representada na configuração de EMD mostrada na Figura 1, seria tal que os conceitos chave relativos à Lei Zero da Termodinâmica ( $T$  e  $ET$ ), 1ª Lei da Termodinâmica ( $Q$ ,  $U$ ,  $W$ ) e 2ª Lei da Termodinâmica ( $S$ ,  $VE$ ) formariam agrupamentos distintos.

### II.3 A Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)

Ao contrário do escalonamento multidimensional, que impõe a restrição de que o espaço tenha uma métrica definida, a AAH supõe apenas a existência de uma métrica qualquer. A Figura 2 mostra um resultado típico de uma AAH (Santos, 1978).

Vejamos algumas características desse resultado. No primeiro nível de agrupamento (0,00) cada conceito

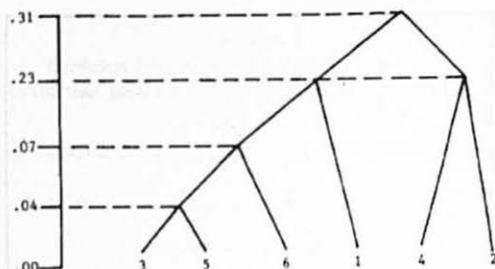


Figura 2. Exemplo de diagrama obtido com AAH (Santos, 1978).

é um grupo, de modo que, com seis conceitos, sempre teremos seis grupos distintos no nível 0,00. A seguir vem o nível (0,04) com cinco grupos; o par (3,5) é um deles e os outros quatro conceitos são eles próprios os grupos. No nível 0,07 temos quatro grupos: (3,5,6), (1), (4) e (2). Em 0,23 temos dois agrupamentos: (3,5,6,1) e (4,2). E, finalmente, no nível 0,31 temos apenas um único agrupamento: (1,2,3,4,5,6).

Podemos interpretar esses níveis como distâncias entre os grupos, sendo essas proporcionais aos graus de relacionamento entre os conceitos ou grupos de conceitos. Nesse sentido, os conceitos que primeiro se agrupam são os mais relacionados entre si. No exemplo dado, são os conceitos 3 e 5. No nível 0,00 sempre teremos tantos grupos quantos forem os conceitos. Esse número vai diminuindo até o valor unitário.

### III. O Experimento

Este estudo foi realizado com alunos de Física Geral dos cursos de Física, Engenharia, Química e Farmácia da UFRGS, distribuídos em sete turmas.

Dez foram os conceitos estudados: aceleração ( $\vec{a}$ ), velocidade ( $\vec{v}$ ), intervalo de tempo ( $IT$ ), grandeza vetorial ( $GV$ ), grandeza escalar ( $GE$ ), energia ( $E$ ), deslocamento ( $\vec{d}$ ), força ( $\vec{F}$ ), massa ( $m$ ) e referencial ( $R$ ). Tais conceitos foram usados em um teste de associação escrita de conceitos (TAEC).

Para selecionar os grupos de bons e maus solucionadores de problemas utilizou-se a primeira prova de solução de problemas do semestre de cada turma. Do total de alunos, foram selecionados, em cada turma os 20% com notas mais altas como o grupo bom solucionador e os 20% com notas mais baixas como o grupo mau solucionador. Apesar de esta seleção ter sido feita, o TAEC foi aplicado a todos os alunos indistintamente.

Isto para evitar que fatores psicológicos (por pertencer a um ou outro grupo) influenciassem as respostas dadas ao teste. Uma vez que os alunos provinham de turmas diferentes foi feita uma análise das provas que foram respondidas pelos alunos. Esta análise indicou que, tanto do ponto de vista dos conceitos exigidos como das habilidades necessárias à solução dos problemas, as provas eram equivalentes (Rosa, 1987).

Do total de 70 alunos selecionados, 34 pertenciam ao grupo considerado bom solucionador e 36 ao grupo considerado mau solucionador, com base na avaliação mencionada.

Após obtidas as matrizes de similaridade para cada indivíduo foi construída uma matriz média para cada grupo e essa matriz foi então submetida ao algoritmo do ALSCAL. Os valores de SSTRESS obtidos em 4, 3, 2 e 1 dimensões podem ser encontrados na Tabela 2.

## IV. Resultados

### IV.1 Resultados da Análise Estatística Convencional

Fez-se inicialmente uma análise estatística do número de respostas por estímulo (conceito), para descobrir se haveria diferença entre os dois grupos, em termos das seguintes questões:

a) Os alunos bons solucionadores de problemas associam mais conceitos que os alunos maus solucionadores de problemas?

b) Os alunos bons solucionadores de problemas associam mais conceitos que estão

ligados significativamente do ponto de vista físico, aos conceitos-estímulo do que

os alunos maus solucionadores de problemas?

O teste  $t$  de student mostrou para a análise de cada item e o teste  $T^2$  de Hottelling (Winer, 1971) para a análise global das diferenças observadas, que a resposta às questões 'a' e 'b' é negativa, ou seja, a hipótese  $H_0$  de que não há diferenças entre os dois grupos, não pode ser rejeitada ao nível 0,05.

### IV.2 Resultados do Escalonamento Multidimensional

Não foram detectadas diferenças estruturais entre

**Tabela 2**  
Valores de SSTRESS obtidos para o EMD do TAEC

Grupo	Dimensões				
	p	4	3	2	1
B.S.	1	0,096	0,148	0,256	0,460
	2	0,095	0,153	0,293	0,437
	3	0,073	0,125*	0,261	0,460
M.S.	1	0,088	0,141	0,209*	0,466
	2	0,089	0,126*	0,230	0,463
	3	0,087	0,120*	0,234	0,458

\* Valores significativos a nível 0,05.

os dois grupos a partir do EMD. O grupo bom solucionador apresentou configuração estatisticamente significativa ( $P < 0.05$ ) apenas na solução tridimensional, com  $p = 3$ . Já o grupo dos maus solucionadores de problemas apresentam soluções significativas em duas dimensões ( $p = 1$ ) e três dimensões ( $p = 2$  e  $p = 3$ ). Isso significa que na maioria das vezes a configuração obtida pode ser aleatória, obra do acaso. Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas, a título de ilustração, as configurações de EMD, de ambos os grupos. Enquanto o grupo de bons solucionadores forma os agrupamentos ( $\bar{F}, m$ ), ( $\bar{a}, GV$ ), ( $E, R$ ), ( $\bar{d}, GE$ ), ( $\bar{v}, IT$ ) o grupo de maus solucionadores forma o agrupamento ( $\bar{a}, \bar{v}, IT, GV$ ) e mantém isolados os conceitos  $m, \bar{d}, \bar{F}, E, GE$ , não aparecendo neste plano o conceito de referencial. Estes agrupamentos não são mantidos em outros planos, não havendo, portanto, evidências de uma proximidade real desses conceitos.

#### IV.3 Resultados da Análise de Agrupamentos Hierárquicos

Como salienta Santos (1978) o expoente 'p' que aparece na fórmula de Garskoff-Houston deve ser determinado de forma empírica ou a partir de alguma proposta teórica. No caso do EMD a determinação do valor de 'p' apropriado é feita através do cálculo do coeficiente 'γ' definido como:

$$\gamma = \frac{\text{Stress da configuração}}{\text{Stress máximo permitido naquela dimensão}}$$

Aquela configuração com menor 'γ' é considerada a melhor (op.cit.).

Para a análise de agrupamentos hierárquicos, no entanto, não existe um critério equivalente. Alguns trabalhos anteriores (Santos, 1978; Peduzzi, 1981; Farias,

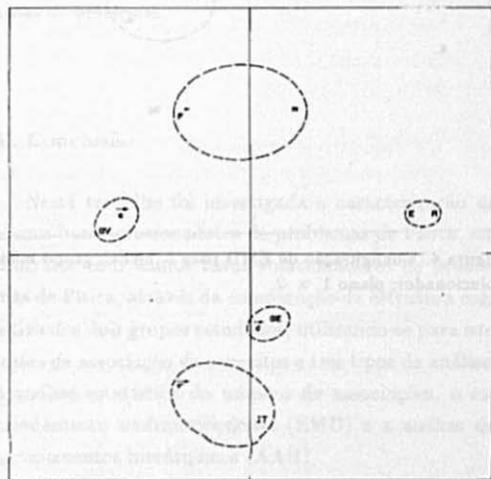


Figura 3. Configuração de EMD para o TAEC; grupo bom solucionador; plano  $1 \times 2$ .

1982) utilizaram o critério de que a configuração utilizada no EMD seria a que forneceria os dados para a AAH. Esse critério, no entanto, não nos parece correto devido às características dos dois algoritmos, pois enquanto no EMD a métrica do espaço é definida na AAH isto não acontece. A solução, portanto, seria analisar um conjunto de mapas obtidos para diversos valores de 'p'. Fizemos isso para  $p = 1, 2, 3$  para ambos os grupos. Apresentamos nas Figuras 5 e 6 os diagramas obtidos para  $p = 3$  e  $p = 2$ , para o grupo bom solucionador, por serem os mais representativos.

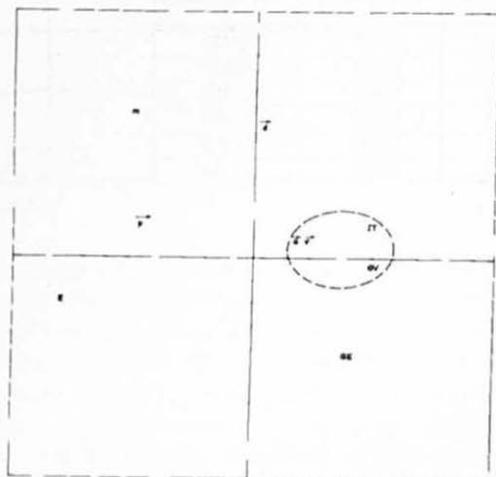


Figura 4. Configuração de EMD para o TAEC; grupo mau solucionador; plano 1 x 2.

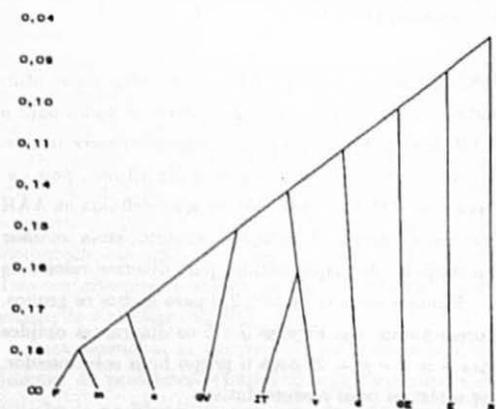


Figura 5. Diagrama AAH, para  $p = 3$ , grupo bom solucionador de problemas.

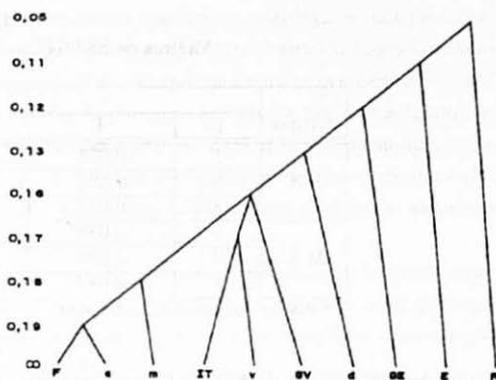


Figura 6. Diagrama AAH, para  $p = 2$ , grupo bom solucionador de problemas.

A análise dos diagramas obtidos pela AAH sugere uma diferença no modo como os aglomerados são formados: parece que o critério ordenador para a formação dos aglomerados no grupo bom solucionador de problemas é a operacionalidade das associações feitas. Em todos os diagramas obtidos para o grupo bom solucionador de problemas de Física, os três primeiros conceitos associados foram: força, massa e aceleração, o que evidencia a 2ª lei de Newton:  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Para  $p = 3$ , por exemplo, primeiro aglomerado envolve conceitos relacionados através desta lei, agrupando-se a seguir os conceitos velocidade e intervalo de tempo.

Para este grupo, nos três diagramas obtidos pela AAH, os últimos conceitos que são agrupados ao aglomerado principal são os conceitos de deslocamento, grandeza escalar, energia e referencial, sendo referencial o último conceito associado em todos os diagramas, tanto para bons como para maus solucionadores.

Para o grupo dos maus solucionadores de problemas, a análise dos diagramas obtidos pela AAH revelou que para os três valores de  $p$  (1, 2 e 3) o primeiro agrupamento é formado pelos conceitos velocidade e grandeza vetorial, o que é uma associação correta, no sentido de que esta associação é estabelecida através de uma definição: velocidade é uma grandeza vetorial. A diferença aqui é que esta definição não é operacional na hora de solucionar um problema, no seguinte sentido: com ela não podemos descobrir qualquer outra grandeza que seja pedida em um problema. Na figura 7 é apresentado o diagrama AAH desse grupo para  $p = 3$ . Nessa figura observa-se que após o agrupamento ini-

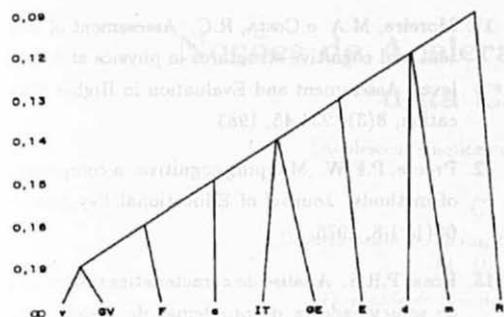


Figura 7. Diagrama AAH, para  $p = 3$ , grupo mau solucionador de problemas.

cial, grandeza vetorial e velocidade, na seqüência são associados força e aceleração. Essa associação pode indicar a 2ª lei de Newton, bem como pode evidenciar uma concepção espontânea: força proporcional a velocidade, por agrupar velocidade e força antes de força e aceleração. Na figura 8, por outro lado, aceleração e força formam um agrupamento distinto. Em todos os diagramas desse grupo, os últimos conceitos a serem incorporados ao agrupamento são os conceitos de energia, deslocamento, massa e referencial. Chama a atenção o fato de o conceito de massa em todos os diagramas do grupo mau solucionador de problemas estar tão afastado dos conceitos de força e aceleração sempre próximos ao conceito de energia, unindo-se ao mesmo tempo que ele ao diagrama principal. Essa relação, embora correta, é muito pouco trivial e mais útil em problemas que envolvem conservação de energia do que em problemas que envolvem cinemática e as leis de Newton, como os das provas utilizadas como teste de solução de problemas. Em todos os diagramas para esse grupo o conceito de intervalo de tempo ocupa uma posição intermediária na ordem dos aglomerados formados.

A título de conclusão dessa seção, poderíamos dizer que a AAH do TAEC sugere que o critério ordenador para a formação dos aglomerados no grupo dos bons solucionadores de problemas é a operacionalidade das relações estabelecidas entre os conceitos. Por outro lado, a AAH do TAEC do grupo mau solucionador parece sugerir a existência, nesse grupo, da concepção espontânea força proporcional velocidade e existência de associações mais úteis para a resolução de problemas sobre conservação da energia.

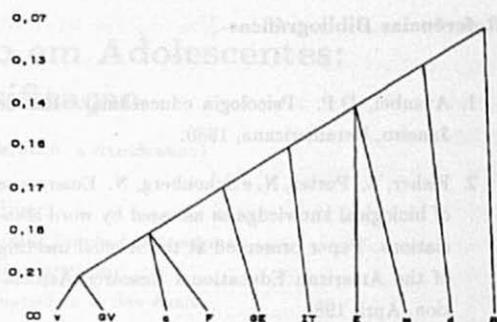


Figura 8. Diagrama AAH, para  $p = 2$ , grupo mau solucionador de problemas.

## V. Conclusão

Neste trabalho foi investigada a caracterização de alunos bons solucionadores de problemas de Física, em contraste com alunos maus solucionadores de problemas de Física, através da comparação da estrutura cognitiva dos dois grupos estudados, utilizando-se para isto testes de associação de conceitos e três tipos de análise: a análise estatística do número de associações, o escalonamento multidimensional (EMD) e a análise de agrupamentos hierárquicos (AAH).

Tanto a análise estatística como o EMD não revelaram diferenças significativas entre os dois grupos. A AAH, por sua vez, sugeriu uma caracterização que distingue dois grupos. O grupo de bons solucionadores de problemas é aquele cuja estrutura cognitiva parece apresentar agrupamentos onde o critério de agregação é operacional. Já o grupo mau solucionador faz associações que não são erradas mas que são menos operacionais, em termos de solução de problemas do tipo apresentado em provas, como as por nós analisadas.

Pode-se concluir daí que o que torna os dois grupos diferentes não é a presença de mais conceitos e/ou conceitos diferentes na estrutura cognitiva de ambos mas talvez a forma na qual estes conceitos são armazenados e recuperados pelos algoritmos que gerenciam a inserção e recuperação de informação na estrutura cognitiva. Naturalmente, essas conclusões são limitadas pelo modelo de estrutura cognitiva usado neste estudo, pelos instrumentos de acesso à estrutura cognitiva e pelos mecanismos de análise utilizados.

## Referências Bibliográficas

1. Ausubel, D.P. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, Itaramericana, 1980.
2. Fisher, L., Porter, N. e Schonberg, N. Emergence of biological knowledge as assessed by word associations. Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association, April 1984.
3. Gabel, D.L., Sherwood, R.D. e Enochs, L. Problem solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, **21**(2): 221-233, 1984.
4. Garskoff, B.E. e Houston, J.P. Measurement of verbal relatedness, an idiographic approach. *Psychological Review*, **70**(2): 277-288, 1963.
5. Johnson, P.E. Word relatedness and problem-solving in high school physics. *Journal of Educational Psychology*, **56**(4): 217-224, 1965.
6. Johnson, P.E. Some psychological aspects of a subject matter structure. *Journal of Educational Psychology*, **58**(2): 75-83, 1967.
7. Johnson, P.E. On the communication of concepts in science. *Journal of Educational Psychology*, **60**(1): 32-40, 1969.
8. Kempa, R.F. e Nicholls, C.E. Problem solving ability and cognitive structure - an exploratory investigation. *European Journal of Science Education*, **5**(2): 171-184, 1983.
9. Larkin, H.J. e Reif, F. Understanding and teaching problem-solving in physics. *European Journal of Science Education*, **1**(2): 191-203, 1979.
10. Moreira, M.A. Concept mapping as a strategy to detect and to deal with misconceptions in physics. Trabalho apresentado no II International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Cornell University, Ithaca, N.Y., U.S.A., julho de 1987.
11. Moreira, M.A. e Costa, R.C. Assessment of content and cognitive structures in physics at college level. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, **8**(3): 234-45, 1983.
12. Preece, P.F.W. Mapping cognitive: a comparison of methods. *Journal of Educational Psychology*, **68**(1):1-8, 1976.
13. Rosa, P.R.S. Análise de características cognitivas de solucionadores de problemas de Física. Dissertação de Mestrado, IFUFRGS, Porto Alegre, 1987.
14. Santos, C.A. Aplicação da análise multidimensional e da análise de agrupamentos hierárquicos ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos. Dissertação de Mestrado, IFUFRGS, Porto Alegre, 1978.
15. Santos, C.A. e Moreira, M.A. Instrumentos de medida para o mapeamento cognitivo de conceitos físicos. *Revista Brasileira de Física*, **9**(3): 835-48, 1979.
16. Santos, C.A. e Moreira, M.A. *Escalonamento multidimensional e análise de agrupamentos hierárquicos*. Porto Alegre, Editora da Universidade, 1991. 172 p.
17. Takane, Y., Young, F.W. e de Leew, J. Nonmetric individual differences multidimensional scaling: an alternating least squares method with optional scaling features. *Psychometrika*, **42**(1): 7-67, 1977.
18. Winer, B.J. *Statistical principles in experimental design*. New York, MacGraw Hill, 1971. 907 p.