

Solução de Problemas em Física: Um Estudo sobre a Influência da Estrutura Cognitiva*

LUIZ O. Q. PEDUZZI

Departamento de Física, UFSC, 88000 Florianópolis, SC

e

MARCO A. MOREIRA

Instituto de Física, UFRGS, 90000 Porto Alegre, RS

Recebido em 27 de Maio de 1981

Following a study carried out by the same authors in order to investigate the effect of a strategy taught to the students, on their ability to solve problems in physics, a second study was designed to investigate the influence of cognitive structure on student's performance in problem solving. This experiment was conducted in 1980 with engineering students enrolled in the Physics I Course of the Physics Department of the Federal University of Santa Catarina. The research findings, in this case, suggested that different cognitive structures have a different influence on students' performance in problem solving.

Em continuidade a um estudo conduzido pelos mesmos autores para investigar o efeito de uma estratégia ensinada ao aluno, no seu desempenho na solução de problemas de Física, foi realizado um segundo estudo que procurou investigar a influência da estrutura cognitiva sobre a habilidade do aluno em resolver problemas. Este experimento foi desenvolvido em 1980 por alunos de Engenharia matriculados na disciplina Física I do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Os resultados, neste caso, sugeriram que diferentes estruturas influenciam diferentemente o desempenho dos alunos na solução de problemas.

* Trabalho parcialmente financiado pela FINEP.

1. INTRODUÇÃO

A solução de problemas é um importante objetivo a ser alcançado pelo aluno na sua aprendizagem em Física. Entretanto, muitos estudantes encontram dificuldades para atingir esse objetivo, em especial aqueles que recém ingressam na Universidade.

Em estudo anterior⁷ os autores deste trabalho elaboraram uma estratégia para a solução de problemas em nível universitário básico e a aplicaram a um grupo de alunos de Engenharia. No entanto, em que pese a boa receptividade aos itens da estratégia esta, em termos estatísticos, aparentemente não se mostrou muito eficaz como meio de auxiliar os alunos na solução de problemas. Diz-se aparentemente porque talvez a suposição inicial de que os grupos selecionados para a pesquisa eram equivalentes não fosse válida uma vez que as variâncias diferiram (a do grupo de controle foi maior em um pré-teste de conhecimento e em uma escala de atitudes em relação ao curso¹⁵) e os escores médios também, embora a diferença não fosse estatisticamente significativa. Isto é, talvez o grupo de controle fosse "superior" ao experimental no início da instrução.

Para testar a hipótese acima poder-se-ia tentar o uso da análise de covariância⁴, uma técnica estatística que levaria em conta diferenças iniciais (seu houvesse) e trabalharia com médias ajustadas de modo a compensar tais diferenças. No entanto, ao invés disso, optou-se, em um segundo estudo, por investigar a solução de problemas sob outro ponto de vista, isto é, procurou-se investigar aspectos relativos à estrutura cognitiva de estudantes e à possível influência dessa estrutura no desempenho em solução de problemas.

2. O ACESSO A ESTRUTURA COGNITIVA

Shavelson¹⁴ definiu estrutura cognitiva como um constructo hipotético referindo-se à organização (inter-relações) de conceitos na memória.

Segundo Santos e Moreira¹¹, esta organização conceitual pode, numa primeira aproximação, ser visualizada através de um modelo geométrico simples onde conceitos são representados por pontos numa configuração espacial. As distâncias entre os pontos dessa configuração são proporcionais aos graus de relacionamento entre os conceitos. Assim, conceitos bastantes relacionados são representados por pontos bem próximos enquanto que conceitos pouco relacionados são representados por pontos afastados.

Outra propriedade de um modelo simples para a estrutura cognitiva poderia ser a organização hierárquica sugerida por Ausubel¹. Assim, os conceitos mais gerais, mais inclusivos, ficariam no topo dessa hierarquia. Outra característica importante do modelo referir-se-ia à hierarquia na formação de aglomerados de conceitos. Isto é, em primeiro lugar agrupar-se-iam os conceitos mais importantes e esses aglomerados "atrairiam" outros conceitos a eles relacionados. Essa "atração" diminuiria com a diminuição da importância do conceito no contexto do conteúdo apresentado¹⁰.

A solução de problemas é, sem dúvida, uma das formas de acesso à estrutura cognitiva. Ao solucionar um problema o estudante relaciona idéias e opera com os conceitos que ele aprendeu (através das equações de definição, leis e princípios), evidenciando, com isso, que está de posse de mais do que simples entidades isoladas. Segundo Ausubel e outros², "a solução de problemas é um método válido e prático de medir a compreensão significativa de idéias. Entretanto, isto não equivale dizer que o aluno que é incapaz de solucionar um conjunto representativo de problemas não tenha *necessariamente*, compreendido, e sim apenas memorizado mecanicamente, os princípios e conceitos envolvidos nestes problemas. A solução de problemas bem sucedida requer muitas *outras* capacidades e qualidades, assim como poder de raciocínio, flexibilidade, improvisação, sensibilidade ao problema e astúcia tática para compreender os princípios subjacentes. Conseqüentemente, o fracasso em solucionar os problemas em questão pode refletir mais precisamente deficiências nestes últimos fatores do que falta de compreensão real".

Assim, ítems de solução de problemas, embora freqüentemente usados para testar a transferência do conhecimento, representam, sem dú-

vida, uma forma bastante drástica de medida da estrutura cognitiva, pois envolvem diversas variáveis não controláveis.

Para uma exploração inicial da estrutura cognitiva, técnicas que façam uso basicamente da capacidade de memória talvez sejam mais indicadas. Dentre estas técnicas^{8,11,9} optou-se pela de Associação Escrita Dirigida de Conceitos.

A técnica de Associação Escrita Dirigida de Conceitos⁹ investiga a estrutura cognitiva através das associações que um estudante faz de um conceito com outros conceitos dados. Esta técnica emprega como instrumento de medida um teste denominado Teste de Associação Escrita Dirigida de Conceitos (TAEDC). Cada conceito selecionado para a pesquisa é escrito no topo de uma folha e abaixo dele existem espaços (linhas) para as associações a serem feitas. Os alunos são instruídos para escreverem no primeiro espaço (primeira linha) o nome da quantidade física que consideram a mais relacionada com o conceito dado; no segundo espaço a que consideram a segunda mais relacionada com a quantidade dada e assim por diante. Diferentemente do procedimento empregado por Preece⁹, não se limitou em número as associações produzidas por conceito estímulo. Para completarem o teste os alunos dispõem de uma folha contendo uma lista de conceitos entre os quais se encontram também os próprios conceitos selecionados para a pesquisa.

Os dados obtidos a partir de um TAEDC são transformados numa matriz de similaridades onde os elementos são os coeficientes de relacionamento entre os conceitos. Este coeficiente, definido por Garskof e Houston³, varia entre 0 e 1 e depende do número de respostas para uma dada palavra estímulo (conceito) e da superposição entre as distribuições de respostas para pares de palavras estímulos.

As matrizes de similaridades obtidas são então analisadas por uma técnica estatística capaz de estabelecer uma configuração de n pontos a partir das distâncias entre eles: a análise multidimensional (Refs.5,16,12). Uma técnica alternativa é a análise de agrupamentos hierárquicos¹³.

3. ANÁLISE MULTIDIMENSIONAL E ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS HIERÁRQUICOS

3.1. Análise multidimensional

O que se segue sobre análise multidimensional está baseado na referência Santos¹⁰.

Análise multidimensional (AMD) é uma técnica estatística capaz de fornecer uma representação espacial de um conjunto de estímulos psicológicos a partir das medidas de similaridade entre eles. Esses estímulos podem, em princípio, ser de qualquer natureza, particularmente conceitos de uma determinada área do conhecimento.

Sob o ponto de vista de análise numérica, a AMD consiste basicamente em ajustar uma configuração de n pontos num espaço r dimensional, tal que as distâncias nesse espaço e as medidas de similaridade sejam monotonicamente relacionadas.

A AMD pode ser dividida em dois tipos: métrico e não métrico. O tipo métrico se caracteriza pela necessidade de usar os valores das similaridades; no processo de ajuste.

O tipo não métrico não usa os valores das similaridades no processo de ajuste. Tudo de que ele necessita é da ordenação ("rank") dessas medidas. Isto é, dada apenas a ordem crescente ou decrescente das similaridades, o algoritmo determina a configuração que melhor se ajusta aos valores experimentais. Esse ajuste é tal que a ordem ("rank") das distâncias entre os pontos da Configuração é tão próximo quanto possível da ordem das similaridades.

Outra característica que distingue um algoritmo de AMD é sua capacidade de ajustar apenas uma matriz de similaridades, ou várias delas simultaneamente. No primeiro caso diz-se que o algoritmo é de uma fonte, enquanto denomina-se de várias fontes o outro caso.

A matriz de entrada para um algoritmo de uma fonte é a média das matrizes de todos os sujeitos do grupo pesquisado.

Nos algoritmos de várias fontes, as matrizes individuais são

os dados de entrada e o ajuste final permite que se faça uma análise das diferenças apresentadas pelos indivíduos quando solicitados a estimarem similaridades entre conceitos (ou qualquer outro estímulo psicológico).

Utilizou-se neste estudo, o algoritmo de Guttman e Lingo, o MINISSA-I ("Michigan Israel Netherlands Integrated Smallest Space Analysis")⁶, que é um algoritmo não métrico e de uma fonte. A matriz de entrada para esse programa, quando se está interessado no mapeamento de um grupo de estudantes é a média das matrizes dos sujeitos do grupo pesquisado. Este algoritmo pode também ser usado para a obtenção do mapeamento cognitivo individual de estudantes: nesse caso, a matriz de entrada é a matriz dos coeficientes por aluno.

3.2. ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS HIERÁRQUICOS

O que se segue sobre análise de agrupamentos hierárquicos está baseado nas referências 10 e 13.

O mapeamento cognitivo de conceitos físicos pode também ser obtido através da aplicação da análise de agrupamentos hierárquicos às medidas de similaridades fornecidas pelo teste de associação escrita dirigida de conceitos.

Diferentemente da análise multidimensional (AMD), onde se supõe que a organização conceitual possa ser representada por uma configuração euclidiana, a análise de agrupamentos hierárquicos (AAH) supõe apenas a existência de uma organização hierárquica nas medidas de similaridade. Isto é, enquanto a AMD supõe que os conceitos possam ser representados por pontos em um espaço euclidiano, a AAH supõe apenas a existência de uma organização hierárquica nas medidas de similaridade. Assim, enquanto a AMD supõe que os conceitos possam ser representados por pontos em um espaço euclidiano, a AAH supõe apenas a existência de uma estrutura com uma métrica particular, não necessariamente em um espaço físico concreto. Nesse espaço não se pode, evidentemente, visualizar as posições dos pontos ou conceitos, como no caso da AMD, mas pode-se saber como eles se agrupam, ou seja, a ordem na qual eles formam agrupamentos ("clusters"), o que não deixa de ser um dado relevante sobre a organização espacial.

4. DESCRIÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo teve por objetivo investigar a influência da estrutura cognitiva na resolução de problemas de física em nível universitário básico. Frente a este objetivo, fez-se a seguinte indagação: diferentes estruturas cognitivas, tais como evidenciadas pelo mapeamento cognitivo provido por um teste de associação escrita de conceitos causariam diferentes desempenhos na solução de problemas? Para responder a essa questão, tomada como hipótese de pesquisa, foi delineado um experimento que teve como população alvo alunos do curso de Engenharia que ingressaram na universidade no primeiro semestre letivo de 1980 e se matricularam na disciplina FSC 1101 (Física I) oferecida pelo Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Fizeram parte do experimento alunos de Engenharia Elétrica, Civil e Mecânica distribuídos pelo processo de matrícula em três turmas.

O estudo compreendeu as quatro primeiras unidades do curso (Introdução à Física e Vetores, Cinemática da Partícula, Dinâmica da Partícula e Trabalho e Energia) e para a avaliação dos alunos foram utilizadas três verificações de aproveitamento. A partir dos conceitos obtidos nestas avaliações selecionou-se, por um processo de amostragem aleatória estratificada, uma amostra de 24 estudantes que obtiveram conceitos A (9,0 - 10,0), B (7,5 - 8,9), C (6,0 - 7,4), D (5,0 - 5,9) e E (0,0 - 4,9) ao final do experimento.

Utilizou-se, na pesquisa, dez conceitos de mecânica: aceleração (a), distância (d), energia cinética (k), energia potencial (U), força (F), massa (m), potência (P), tempo (t), trabalho (v) e velocidade (v).

A estrutura cognitiva dos estudantes foi determinada pela técnica de Associação Escrita Dirigida de Conceitos. A partir das medidas de similaridades obtidas aplicou-se a análise multidimensional e a análise de agrupamentos hierárquicos a fim de obter-se o mapeamento cognitivo dos conceitos selecionados.

Iniciou-se com a investigação individual da estrutura cognitiva de bons estudantes (conceitos A-B) e de estudantes fracos (conceito

E). Uma primeira análise exploratória não revelou aspectos comuns às estruturas apresentadas pelos alunos de cada grupo, fato que impossibilitou uma comparação clara entre alunos A-B e alunos E. Decidiu-se, então, por uma mudança no enfoque inicialmente dado ao experimento optando-se por analisar estruturas de grupo ao invés de individuais.

Para isso, dividiu-se os alunos da amostra em três grupos:

Grupo I - alunos bons - conceitos A e B

Grupo II - alunos regulares - conceito C

Grupo III - alunos fracos - conceitos D e E

e aplicou-se, novamente, a análise multidimensional e a análise de agrupamentos hierárquicos a fim de se obter o mapeamento cognitivo desses grupos de alunos.

5. RESULTADOS

5.1. Resultado da AMD

Os resultados da AMD para os três grupos de alunos apresentaram significado estatístico em mais de uma dimensão. A dimensão mais apropriada para cada grupo foi a dimensão 3. No entanto, como os resultados na dimensão 2 também apresentaram significado estatístico, optou-se por apresentar as configurações em duas dimensões com o propósito de facilitar a visualização e também a comparação entre elas.

Assim, as Figuras 5.1a, 5.1b e 5.1c apresentam o mapeamento cognitivo dos três grupos de alunos após a instrução. Através de uma análise qualitativa preliminar destas figuras poderão observar que:

Comparando-se os mapas dos Grupos I e II (Figuras 5.1a - 5.1b) verifica-se uma semelhança acentuada entre eles. Os conceitos \underline{d} , \underline{v} e \underline{t} , em ambos os mapas, situam-se ao longo de uma mesma "linha". Também os conceitos \underline{F} , \underline{a} e \underline{W} se agrupam nos dois mapas tendo próximos de si os conceitos \underline{K} e \underline{P} . O conceito \underline{K} situa-se próximo do agrupamento $\{U, m\}$ em ambos os mapas. Assim, em termos de agrupamentos de conceitos, a prin-

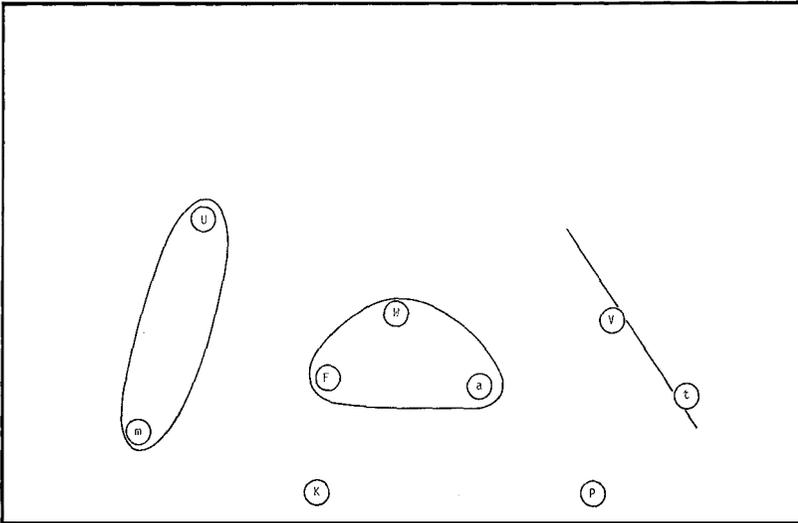


Fig. 5.1a - Hapeamento cognitivo do Grupo I. Resultado do TAEDC após a instrução.

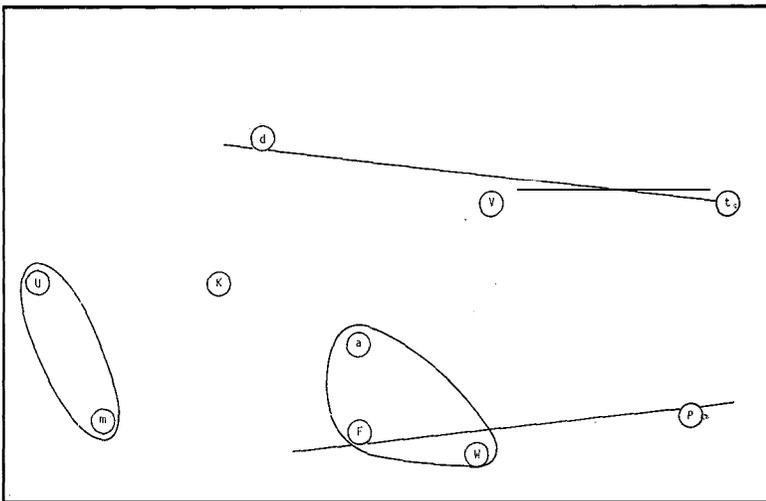


Fig. 5.1b - Hapeamento cognitivo do Grupo II. Resultado do TAEDC após a instrução.

principal diferença parece residir nos conceitos \underline{d} e \underline{k} que se encontram próximos um do outro no mapa do Grupo II mas não no mapa do Grupo I.

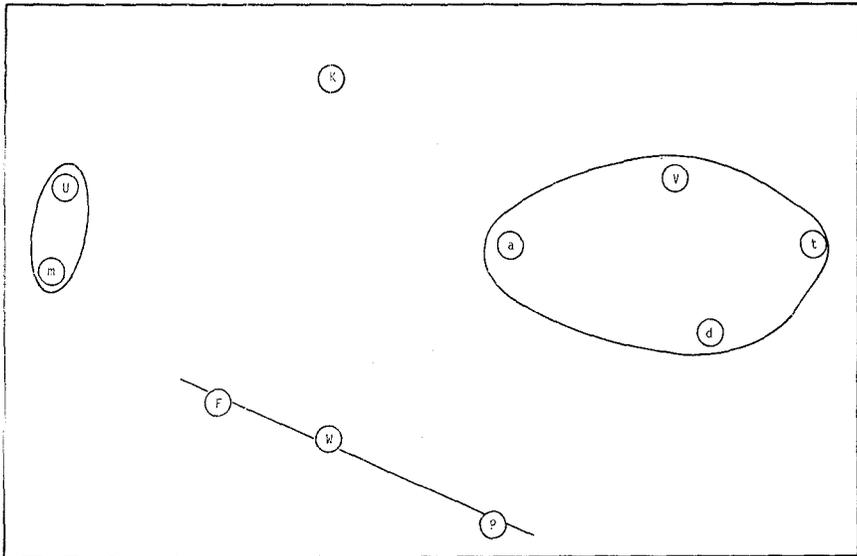


Fig.5.1c - Hapeamento cognitivo do Grupo III. Resultado do TAEDC após a instrução.

Comparando-se as configurações apresentadas pelos Grupos II e III (Figuras 5.1b e 5.1c) constata-se que as suas estruturas são diferentes. Para o Grupo III os conceitos \underline{F} e \underline{W} aparecem juntos (como para o Grupo II) porém não mais acompanhados do conceito \underline{a} que se reúne com os conceitos \underline{v} , \underline{t} e \underline{d} constituindo o agrupamento de conceitos da cinemática. Parece haver, portanto, uma diferença fundamental nas estruturas dos dois grupos. Existem, no entanto, algumas semelhanças como o agrupamento $\{U, m\}$ que tem em sua vizinhança o conceito \underline{K} nos mapas dos dois grupos, embora na Figura 5.1c \underline{K} esteja mais "afastado" deste agrupamento.

Por outro lado, os conceitos \underline{F} , \underline{W} e \underline{P} situam-se ao longo de uma "linha" nos mapas dos Grupos II e III mas não no mapa do Grupo I.

5.2. Resultados da AAH

Os agrupamentos hierárquicos dos Grupos I, II e III, após a instrução, são apresentados nas Figuras 5.2a, 5.2b e 5.2c. As estruturas desses grupos mostram-se diferentes.

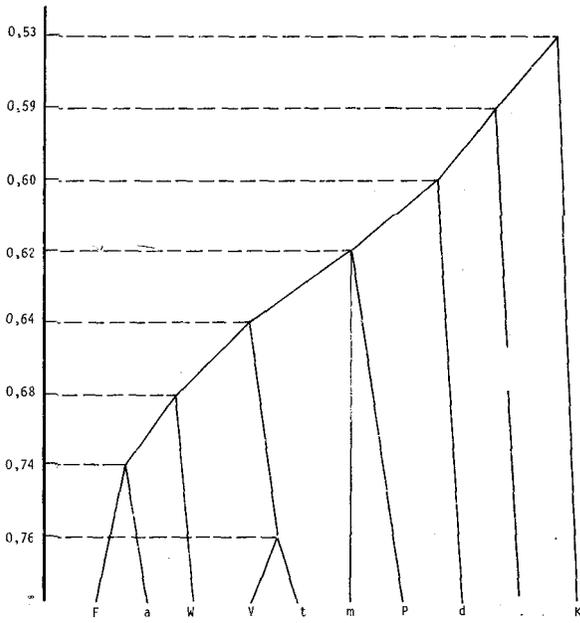


Fig.5.2a - Agrupamentos Hierárquicos do Grupo I: resultado do TAEDC após a instrução

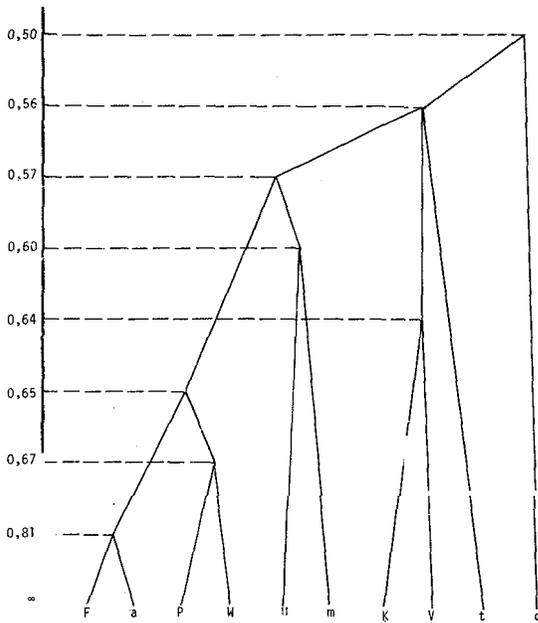


Fig.5.2b - Agrupamentos Hierárquicos do Grupo II: resultado do TAEDC após a instrução

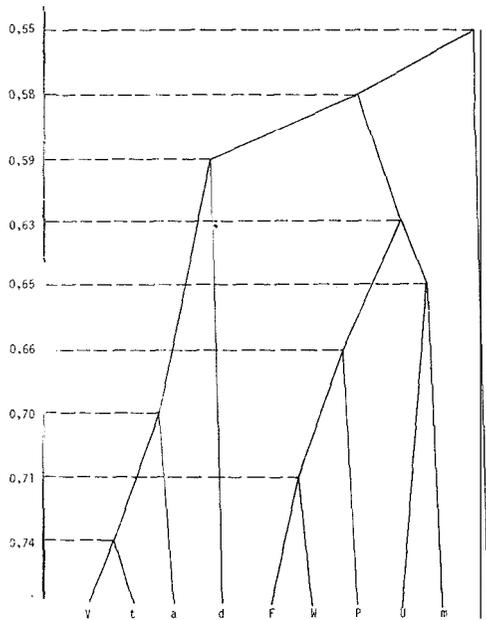


Fig. 5.2c - Agrupamentos Hierárquicos do Grupo III: resultado do TACDC após a instrução.

A tendência evidenciada pelos alunos do Grupo I (Figura 5.2a) parece ser a de constituir um "corpo de conceitos" e ir agregando a ele os demais. Este "corpo de conceitos" seria o formado pelos agrupamentos $\{V, t\}$ e $\{F, a, W\}$.

Já os alunos do Grupo II parecem estabelecer pequenos subgrupos de conceitos antes de reunir estes subgrupos a um corpo conceitual (Figura 5.2b). Os subgrupos são constituídos pelos pares $\{F, a\}$, $\{P, W\}$, $\{K, V\}$ e $\{U, m\}$ os quais sugerem, de imediato, equações bem definidas da Mecânica.

$$\begin{aligned}
 F, a &\rightarrow F = ma \\
 P, W &\rightarrow P = W/t \\
 k, V &\rightarrow K = mV^2/2 \\
 U, m &\rightarrow U = mgh
 \end{aligned}$$

Os agrupamentos formados pelos alunos do Grupo III apresentam-se, por sua vez, com uma forma bem diferente da dos dois agrupamentos recém comentados, como se pode ver na Figura 5.2c. Existem dois "corpos

de conceitos", isto é, dois aglomerados bem diferenciados: um constituído pelos conceitos de cinemática $\{V, t, a, d\}$ e outro constituído pelos conceitos $\{F, W, P, U, m\}$ que se reúnem, juntamente com o conceito K , apenas ao final da hierarquia.

5.3. Compatibilização entre resultados da AMD e resultados da AAH

Um outro ponto a ser explorado é o de tentar verificar nos mapas fornecidos pela AMD, os agrupamentos sugeridos pela AAH:

A Figura 5.3a (Figura 5.1a)* apresenta o mapeamento cognitivo do grupo I fornecido pela AMD. Envolto em linha cheia encontram-se os agrupamentos $\{V, t\}$ e $\{F, W, a\}$ que estão fortemente ligados de acordo com a AAH da Figura 5.2a. Estes cinco conceitos são envolvidos por uma linha tracejada por representar, de acordo com a AAH, o "corpo conceitu-

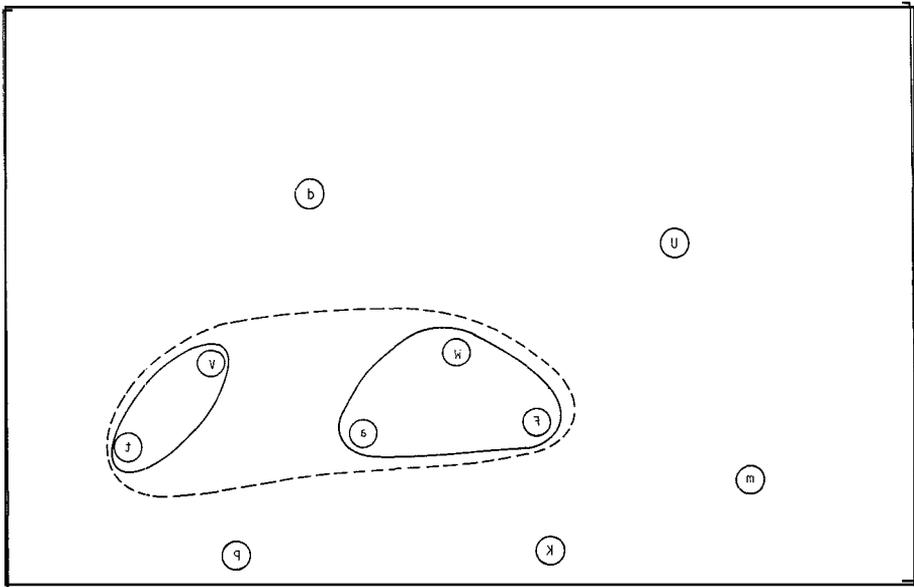


Fig.5.3a - Compatibilização entre os resultados da AMD e da AAH - Grupo I.

* As figuras 5.3a, 5.3b e 5.3c são iguais às Figuras 5.1a, 5.1b e 5.1c, respectivamente, porém chamando atenção para agrupamentos que tentam compatibilizar os resultados da AMD e da AAH.

al'' ao qual vão se agregando os demais conceitos. Observa-se também neste mapa, que os conceitos \underline{m} , \underline{P} , \underline{d} , \underline{U} e \underline{K} estão "distribuídos" ao redor do "corpo de conceitos" $\{V, \tau, F, W, a\}$. Parecem, portanto, ser compatíveis os resultados fornecidos pelas duas técnicas

Para o Grupo III, de acordo com a AAH (Figura 5.2c) encontram-se reunidos em dois subgrupos distintos os conceitos de cinemática $\{a, V, \tau, d\}$ de um lado e os conceitos $\{F, W, P, U, m\}$ de outro, como já foi salientado na seção anterior. A Figura 5.3c (Figura 5.1c) que apresenta o mapeamento cognitivo do Grupo III fornecido pela AMD, mostra esses subgrupos, os quais estão circundados por uma linha tracejada para uma melhor visualização dos mesmos. As linhas cheias envolvendo pares de conceitos refletem certos agrupamentos sugeridos pela AAH. Como se vê, é também possível conciliar, para este grupo, os resultados da AAH e da AMD.

Quanto ao Grupo II, a compatibilização das figuras correspondentes a AMD e AAH é um pouco mais difícil. Pode-se, no entanto, embora talvez "forçando um pouco" identificar na Figura 5.3b (Figura 5.1b) o agrupamento $\{F, a, P, W\}$ que corresponderia aos primeiros agrupamentos da AAH

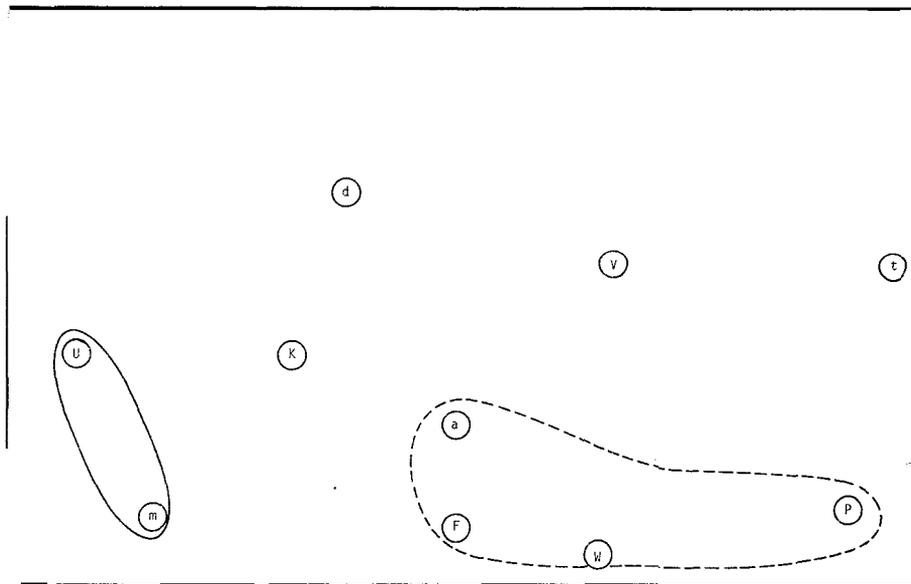


Fig.5.3b - Compatibilização entre os resultados da AMD e da AAH - Grupo II.

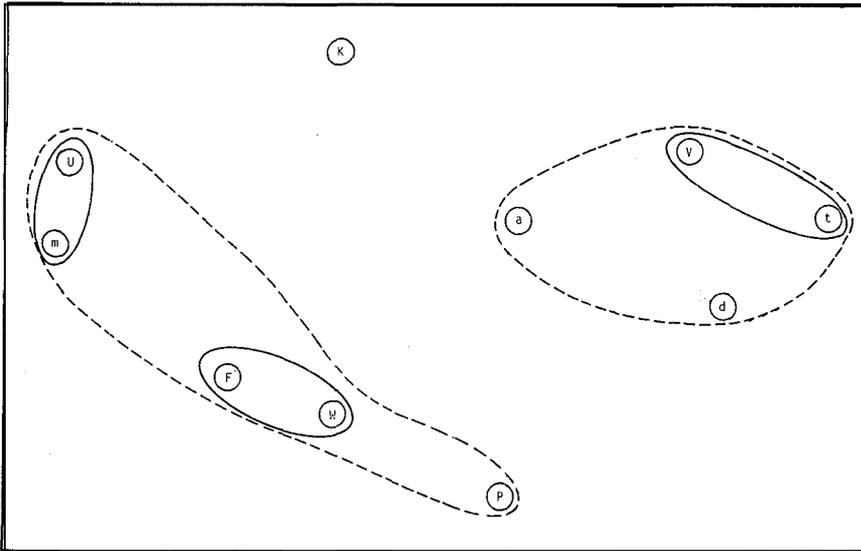


Fig.5.3c - Compatibilização entre os resultados da AMD e da AAH - Grupo III.

na figura 5.2b. Pode-se também identificar claramente na figura 5.3b o agrupamento $\{U, m\}$ que também aparece na AAH (Figura 5.2b). Já o agrupamento $\{K, V\}$ da AAH é mais difícil de ser identificado na configuração & AMD face a sua proximidade ao conceito \underline{a} .

6. CONCLUSÃO

Semelhanças e diferenças foram notadas no mapeamento cognitivo e nos agrupamentos realizados por três grupos de alunos reunidos em função de seus desempenhos em três verificações de aproveitamento. Talvez as diferenças encontradas principalmente entre o Grupo III e os dois primeiros, expliquem o fraco desempenho deste grupo nas verificações de aproveitamento e, conseqüentemente, na solução de problemas (visto que estas eram constituídas primordialmente, cerca de 80% de questões do tipo problema). Isso confirmaria a hipótese de que diferentes estruturas cognitivas causaríam diferentes desempenhos na solução de problemas. Esta conclusão, no entanto, é apenas tentativa, devendo, pois, ser tomada com cautela, pois, entre outras eventuais falhas metodológicas, destaca-se o tamanho reduzido das amostras.

Assim, este trabalho, juntamente com o anteriormente realizado⁷ representa apenas um primeiro estudo, em nosso meio, sob dois ângulos diferentes, de um aspecto extremamente importante do processo ensino-aprendizagem que é o da solução de problemas.

A questão de uma estratégia que possibilite uma orientação do aluno no encaminhamento de problemas deve ser melhor e mais profundamente estudada. Talvez para alunos como os do Grupo III que evidenciaram a formação de dois corpos distintos de conceitos se pudesse, quem sabe por meio de uma estratégia que se detivesse mais na própria compreensão das equações aprendidas, aproximar os conceitos uns dos outros, evitando a formação de aglomerados como os do Grupo III que parecem influenciar negativamente no desempenho em solução de problemas.

Em termos de continuação do trabalho iniciado com os dois estudos realizados, talvez se pudesse investigar melhor a influência da estrutura cognitiva na solução de problemas. Este tipo de habilidade envolve, sem dúvida, transferência do conhecimento adquirido. Assim, na medida em que o aluno adquirir, ao longo do curso, uma estrutura cognitiva clara, estável e diferenciada, melhores condições terá de usá-la na solução de problemas, ou seja, de transferir o conhecimento adquirido, aplicando-o a situações novas. Não se está, no entanto, supondo a existência de uma "estrutura cognitiva padrão" sem a qual o indivíduo não será capaz de resolver problemas. Embora se possa identificar, no mapeamento cognitivo, certos agrupamentos conceituais que "fazem sentido" (tal como foi feito neste estudo) e, quase que inevitavelmente, se pense que um ou outro agrupamento favorece a solução de problemas numa certa área, é necessário levar-se sempre em consideração que a estrutura cognitiva tem fortes componentes idiossincráticos. Ou seja, provavelmente não é a existência de agrupamentos conceituais específicos que tem maior ou menor influência na transferência de aprendizagem (solução de problemas), e sim a estabilidade, clareza e organização hierárquica da estrutura cognitiva (estrutura conceitual e proposicional) do indivíduo em uma determinada área do conhecimento. Este é o aspecto que deve talvez dar continuidade ao estudo iniciado. Isto é, até que ponto a clareza, estabilidade e organização dos conceitos na mente do indivíduo, numa certa área, influencia sua habilidade em resolver problemas nessa área, independentemente da existência de determinados agrupamentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ausubel, D.P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
2. Ausubel, D.P., Novak, J.D. & Hanesian, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, Interamericana, 1980.
3. Garskof, B.E. & Houston, J.P. "Measurement of verbal relatedness; an idiographic approach". *Psychological Review*, 70(3): 277-88, 1963.
4. Glass, G.V. & Stanley, J.C. *Statistical method in education and psychology*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1970.
5. Kruskal, J.B. & Wish, M. *Multidimensional scaling*. Beverly Hills, Sage Publications, 1978.
6. Lingoes, J.C. *The Guttman-Lingoes nonmetric program series*. Michigan, Mathesis, 1973. p.39-79.
7. Peduzzi, L.O.Q. & Moreira, M.A. "Solução de problemas em Física: um estudo sobre o efeito de uma estratégia". Submetido à publicação na Revista Brasileira de Física.
8. Posner, G.J. *The assessment of cognitive structure*. Ithaca, N. Y., Cornell University, 1977. (Research Report n? 5).
9. Preece, P.F.W. "Mapping cognitive structure: a comparison of methods!" *Journal of Educational Psychology*, 68(1):1-8, 1976.
10. Santos, C.A. "Aplicação da análise multidimensional e da análise de agrupamentos hierárquicos ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos". Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, 1978.
11. Santos, C.A. & Moreira, M.A. "Instrumentos de medida para o mapeamento cognitivo de conceitos físicos". *Revista Brasileira de Física*, 9 (3) 835-848, 1979a.
12. Santos, C.A. & Moreira, M.A. "Aplicação da análise multidimensional ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos". *Revista Brasileira de Física*, 9 (3): 849-858, 1979b.
13. Santos, C.A. & Moreira, M.A. "Aplicação da análise de agrupamentos hierárquicos ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos". *Revista Brasileira de Física*, 9(3): 859-869, 1979c.
14. Shavelson, R.J. "Some aspects of the relationship between content structure and cognitive structure in physics instruction." (Doctoral Dissertation, Stanford University), Ann Arbor, Michigan, University Microfilms, 1971.

15. Silveira, F.L. "Construção e validação de uma escala de atitude em relação a disciplinas de Física em geral." *Revista Brasileira de Física*, *9*(3): 871-878, 1979.
16. Subkoviak, M.J. "The use of multidimensional scaling in educational research." *Review of Educational Research*, *45*(3): 387-423, 1975.