

ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO: ACESSANDO OS MODELOS MENTAIS DOS ESTUDANTES

Miguel Tobias Bahia¹, Gabriel Langaro Ortega², Lucas Cortez da Silva Tapajoz de Arruda³

¹Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Joinville / Departamento de Mecânica / migueltbahia@ifsc.edu.br

^{2,3}Instituição Federal de Santa Catarina – Campus Joinville / Curso Técnico Integrado de Mecânica

Resumo: O presente trabalho implementa-se o algoritmo de análise de concentração (RAO & REDISH, 2006) que é um método que permite investigar as concepções alternativas ou modelos mentais dos estudantes. O algoritmo possibilita analisar globalmente o desempenho de uma classe de alunos, fornecendo dados sobre os modelos mentais que os mesmos compartilham. Parte-se da aplicação de um questionário de múltipla escolha já validado internacionalmente, o FCI (HESTENES, 1995), como ferramenta para avaliar o conhecimento dos estudantes em conceitos de física mecânica básica. A análise da concentração das respostas indica a preferência dos estudantes em relação a determinado modelo (científico ou intuitivo). Esta preferência é mensurando através de um fator de concentração que juntamente com a pontuação ou score da classe permite analisar a consistência dos modelos mentais dos estudantes.

Palavras-Chave: Análise de concentração, Aprendizagem, Concepções Alternativas, Modelos mentais.

1 INTRODUÇÃO

A construção de interpretações para os fenômenos do mundo físico envolve um processo complexo de interação sensorial que vai se consolidando gradualmente de acordo com o desenvolvimento cognitivo e a interação com o meio ambiente. Os conceitos assim adquiridos sem a intervenção escolar formam uma base para todas as interpretações de nosso meio e são comumente conhecidos como concepções alternativas, conceitos intuitivos ou espontâneos, entre outros. Na área da mecânica, várias pesquisas (PFUNDT e DUIT, 2009) constataram a existência de concepções intuitivas para tópicos tais como força e movimento; trabalho, energia, velocidade, aceleração, gravidade, pressão, densidade, flutuação e afundamento.

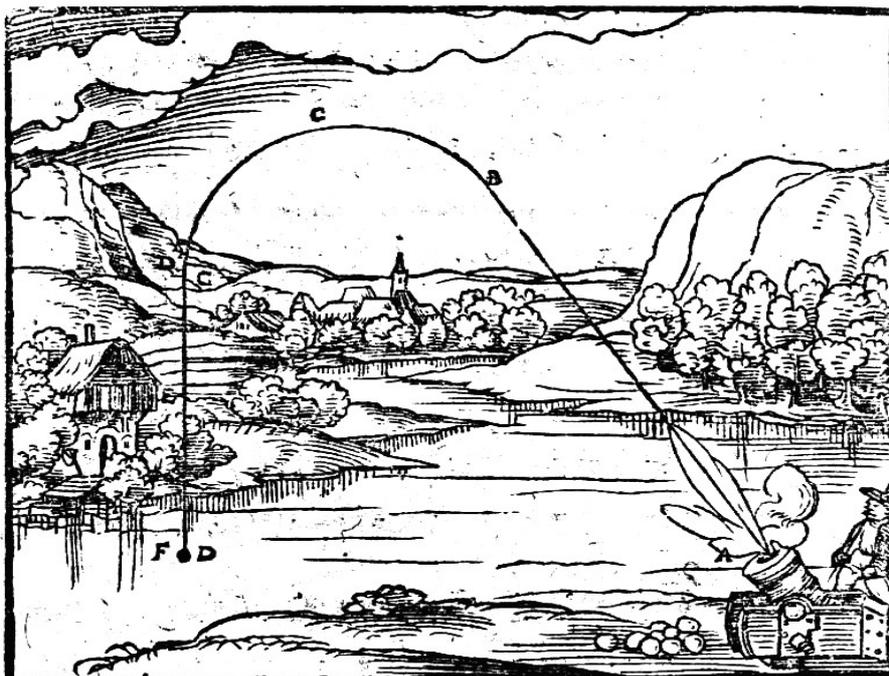
Pesquisas como a de Hewson *et. al.* (1999) apontam algumas características das concepções alternativas. Segundo os autores estas apresentam diferenças significativas em relação à concepção científica. Além disto, tais concepções são resistentes à mudança e concepções semelhantes podem ser encontradas em indivíduos de diferentes idades, estágios de escolarização e culturas.

As características das concepções alternativas podem ser justificadas pelo fato de que as mesmas baseiam-se na experiência sensorial individual, apresentam coerência com um conjunto de crenças e são dotadas de certa plausibilidade. A resistência a mudança conceitual encontra similaridade com os embates registrados na História da Ciência. Segundo Piaget (1970), há um paralelismo entre o progresso realizado pela organização lógica e racional do conhecimento e o processo psicológico formativo

correspondente. Outras pesquisas reforçam que as teorias científicas foram consolidadas mediante uma competição entre paradigmas rivais (KUHN; 1975).

Um exemplo historicamente importante refere-se ao movimento de um projétil. Na física de Aristóteles (384-322 a.C), tal movimento representa uma perturbação da ordem natural das coisas. O ar empurrado pelo projétil produziria uma impulsão no mesmo, visto que o ar tende a repelir a formação do vazio e retornar a sua posição original. Dada a imperfeição deste movimento, a impulsão começaria a se extinguir e o objeto cairia gradativamente. Diferindo desta interpretação, o filósofo Alberto da Saxônia (1316-1390), seguidor da teoria do Ímpeto de Jean Buridan (1300-1358), propõe que este movimento envolve a impressão de uma certa “força motriz” ou ímpeto ao corpo arremessado. Conforme ilustra a Figura 1, inicialmente este ímpeto é maior que o peso do corpo (trecho AB). À medida que o ímpeto vai se dissipando, o peso passa a ser maior que o ímpeto impresso (trecho BCD) e por fim, este se extingue completamente (trecho DF), ver Peduzzi e Zylbersztajn (1997).

Figura 1 – A teoria do ímpeto segundo Alberto da Saxônia (Século XIV)



Fonte: Autor desconhecido, provavelmente do Século XIV. Disponível em:

<<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buridan-impetus.jpg>>. Acesso em 27/09/2013.

A teoria do ímpeto obteve grande aceitação entre os estudiosos, pois explicava eventos comumente observáveis. Até mesmo Galileu (1564-1642) sentiu-se atraído por esta teoria em seus estudos sobre o movimento dos corpos. Pesquisas sobre concepções alternativas em Física como a de Clement (1982) e Viennot (1979) indicam que os estudantes costumam adotar intuitivamente a teoria do Ímpeto em suas próprias

explicações dos eventos físicos. Diante disto, um debate em torno da História da Ciência torna-se salutar em sala de aula. A apresentação historicamente contextualizada das idéias básicas de Aristóteles oportuniza um confronto com as idéias dos próprios estudantes.

O resgate das concepções alternativas dos estudantes subsidia a busca por alternativas para a mudança conceitual dos paradigmas pré-científicos dos alunos para os modelos cientificamente aceitos na atualidade. Várias abordagens e modelos de mudança conceitual têm sido estudados. Segundo Santos (1991, p.178), os principais pontos de convergência desses modelos são:

- Necessidade de partir sempre do que o aluno já sabe;
- Necessidade de haver mudança conceitual;
- Necessidade de o aluno desempenhar um papel ativo em tal mudança, traçando os degraus do familiar para o novo.

Os modelos de mudança conceitual, de um modo geral, valorizam os esquemas prévios dos alunos e encontram suporte na Filosofia da Ciência, onde se destacam trabalhos como os de Kuhn, Popper, Bachelard, entre outros.

Mais recentemente as pesquisas sobre concepções alternativas dos estudantes tem se direcionado para a busca de ferramentas mais sofisticadas de análise dos modelos mentais. Podem-se citar os trabalhos de Rao (1999), Rao e Redish (2006) e Fernandez (2011). No presente trabalho, o algoritmo de análise de concentração é implementado de modo a facilitar a análise dos dados referentes aos modelos mentais dos estudantes. Tal algoritmo fornece informações mais específicas que a análise estatística tradicional. Trata-se de uma primeira etapa para o desenvolvimento de uma análise ainda mais sofisticada conhecida como análise de modelos, já presente no trabalho de Fernandez (2011).

Os testes de múltipla escolha podem ser utilizados para acessar as concepções alternativas ou modelos mentais dos estudantes. Testes formulados para este fim incluem uma alternativa correta representando o modelo cientificamente aceito e demais alternativas representando os modelos intuitivos ou concepções alternativas dos estudantes. O FCI (*Force Concept Inventory*) (HESTENES; 1995) é um exemplo de teste que foi formulado na perspectiva de acessar os conhecimentos de física mecânica básica e concepções alternativas dos estudantes em relação à temática. Trata-se de um questionário reconhecido e validado internacionalmente e que foi adotado para auxiliar a realização deste trabalho.

2 ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO

Nesta seção introduz-se o fator de concentração, um valor que quantifica a preferência dos estudantes por determinada alternativa em um teste de múltipla escolha. Na estatística tradicional, esta informação envolveria o desenvolvimento de um histograma para cada questão que se deseja analisar. Na abordagem aqui apresentada, o fator de concentração será analisado conjuntamente com a pontuação ou escore dos estudantes. Assim, pode-se acessar de forma simples e global a consistência das concepções dos estudantes, mensurando matematicamente a adoção de modelos científicos ou intuitivos.

Considere uma questão de múltipla escolha composta por m alternativas e respondida por N estudantes. Um vetor m -dimensional $\vec{r}_k = [y_{k1} \ y_{k2} \ \dots \ y_{km}]$ representa a resposta do k -ésimo estudante, onde a componente i do vetor correspondente a resposta do estudante é $y_{ki} = 1$ e os demais componentes do vetor são nulas. Por exemplo, dada uma questão com 5 alternativas respondida por uma turma de 30 alunos. Se o estudante 3 tenha escolhido a alternativa 2 da respectiva questão, o vetor resposta correspondente ao estudante de número 3 será $\vec{r}_3 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$, ou seja

$$y_{3i} = \begin{cases} 1 & \text{para } i = 2 \\ 0 & \text{para } i \neq 2 \end{cases}$$

A soma dos vetores resposta de todos os estudantes da turma fornece o vetor resposta total para a questão:

$$\vec{r} = \sum_{k=1}^N \vec{r}_k = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_m] \quad (1)$$

sendo n_i é o número de estudantes que escolheram a alternativa i . Para o exemplo

proposto, obtêm-se $\vec{r} = \sum_{k=1}^{30} \vec{r}_k = [n_1 \ n_2 \ n_3 \ n_4 \ n_5]$. Além disto, $\sum_{i=1}^m n_i = N$ e para o

exemplo $\sum_{i=1}^5 n_i = 30$.

O módulo do vetor de resposta total $|\vec{r}|$ fornece informações sobre a magnitude da concentração das respostas. Nesta perspectiva, podem ocorrer três possibilidades:

- todos os estudantes escolheram a mesma alternativa, ou seja, $|\bar{r}| = \sqrt{N^2} = N$;
- um igual número de estudantes escolheu cada uma das alternativas da respectiva questão. Portanto, $|\bar{r}| = \sqrt{m\left(\frac{N}{m}\right)^2} = \frac{N}{\sqrt{m}}$;
- situações intermediárias entre as duas possibilidades apresentadas acima. Neste caso, os valores de concentração encontram-se entre $\frac{N}{\sqrt{m}}$ e N .

Portanto, vale a desigualdade $\frac{N}{\sqrt{m}} \leq |\bar{r}| \leq N$. Definindo-se $r_0 = \frac{|\bar{r}|}{N}$, temos:

$$\frac{1}{\sqrt{m}} \leq r_0 \leq 1 \quad (2)$$

que pode ainda ser reescrito como:

$$0 \leq \left(\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \right) \left(r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \leq 1 \quad (3)$$

Denominando o termo central da desigualdade de fator de concentração C , obtém-se:

$$0 \leq C \leq 1, \text{ sendo } C = \left(\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \right) \left(r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \text{ e } r_0 = \frac{|\bar{r}|}{N} \quad (4)$$

O fator de concentração C será utilizado neste trabalho para informar o quanto que as respostas dadas por uma classe de alunos a uma questão de múltipla escolha se concentram em determinada alternativa, considerando uma escala entre 0 e 1. A medida que o fator de concentração C se aproxima da unidade, maior é a concentração das respostas dos alunos em torno de determinada alternativa. Para esta avaliação obter maior robustez, o fator de concentração é analisado paralelamente à pontuação ou escore E obtido pela classe de alunos para a questão correspondente. Assim, obtém-se:

$$E = \frac{n}{N} \quad (5)$$

sendo n é o número de acertos da turma para determinada questão e N é o número de alunos da classe. Tradicionalmente, a freqüência de escolhas das alternativas para cada questão permite a geração de um histograma, no qual podem ser modelados os seguintes comportamentos:

- amodais, histograma sem pico, ou seja, as respostas distribuem-se aleatoriamente entre as alternativas não indicando alguma preferência nas respostas;

- modais, as respostas concentram-se em uma determinada alternativa, o que fornece uma importante informação sobre as concepções dos alunos;
- bimodais, quando as respostas distribuem-se em duas alternativas e assim por diante.

Seguindo a proposta de Bao (1999), definem-se três níveis de escore e de fator de concentração para fins de análise: baixo (B), médio (M) e alto (A), que são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Níveis de Escore e Fatores de concentração (BAO, 1999)

Escore	Nível	Fator de concentração	Nível
0 ~ 0,4	B	0 ~0,2	B
0,4 ~ 0,7	M	0,2 ~0,5	M
0,7 ~1,0	A	0,5 ~1,0	A

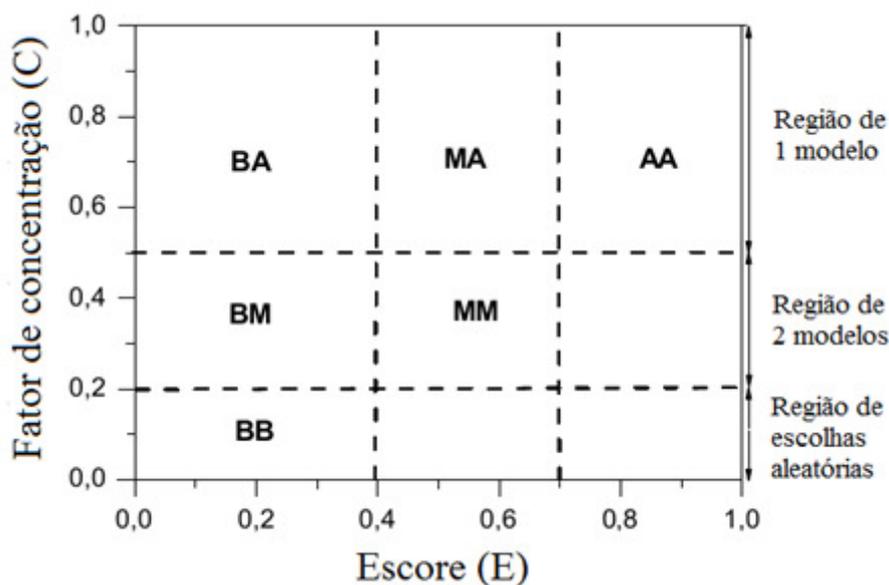
Fonte: Adaptado de Bao (1999)

O escore e o fator de concentração são dependentes um do outro e as seguintes combinações são factíveis:

- questões com baixo escore e baixa concentração (BB), quando os alunos fornecem respostas incorretas para determinada questão, e estas respostas não se concentram em determinada alternativa mas distribuem-se nas demais alternativas.
- questões com baixo escore e alta concentração (BA), quando os alunos concentram as respostas incorretas em determinada alternativa;
- alto escore e alta concentração (AA), quando ocorre grande número de acertos;
- situações intermediárias com baixo escore e média concentração (BM), médio escore e média concentração (MM) e médio escore e alta concentração (MA).

Obviamente, uma questão com alto escore e baixa concentração é impossível de existir, visto que o alto escore induz a uma alta concentração. A Figura 2 ilustra as regiões factíveis dos pares ordenados escore e fator de concentração.

Figura 2 – Regiões de concentração dos pares ordenados (escore, fator de concentração)

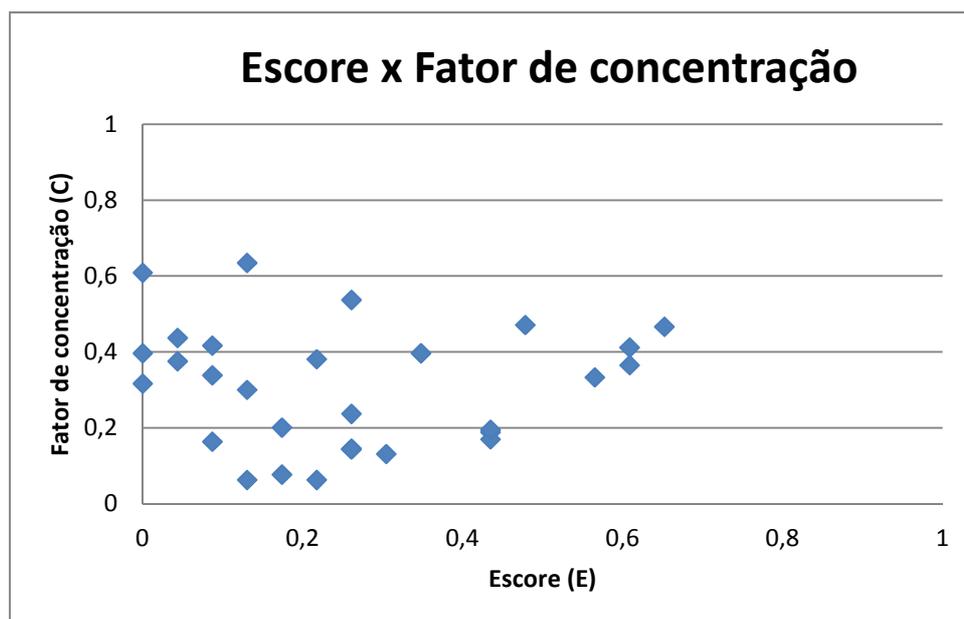


Fonte: Adaptado de Bao (1999).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em um universo de 60 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio foi aplicado o teste FCI, que mensura os conhecimentos de física mecânica básica. Trata-se de um questionário composto por 30 questões qualitativas e conceituais que não exigem cálculos, mas sim a interpretação de fenômenos físicos.

Os resultados da aplicação do algoritmo de análise de concentração estão ilustrados na Figura 3. O gráfico corresponde a um diagrama de dispersão, no qual cada marcador corresponde a um par ordenado (escore E; fator de concentração C) referente a cada questão do teste. Os dados mostram que as respostas dos estudantes ao questionário concentraram-se principalmente em duas regiões. A primeira região corresponde à adoção de dois modelos, com escores médios e fatores de concentração médios. A adoção de dois modelos revela outra característica interessante sobre as concepções alternativas ou modelos mentais dos estudantes. Quando uma questão é formulada dentro de um contexto típico dos problemas de física escolar, os estudantes costumam buscar explicações consistentes com o que o professor “ensina” em sala de aula. Por outro lado, quando a mesma questão (envolvendo os mesmos conceitos físicos) está contextualizada em uma situação cotidiana, o estudante costuma responder com a adoção de seus próprios modelos intuitivos, que muitas vezes conflitam com os modelos científicos.

Figura 3 - Regiões de concentração obtidas para o questionário FCI aplicado em uma classe de 60 alunos.

Fonte: Os autores.

O escore dos estudantes obteve resultados no nível médio conforme escala apresentada na Tabela 1 (BAO; 1999). Tal desempenho sugere a necessidade dos professores de buscar novas abordagens para tratar os modelos científicos em sala de aula. Deve-se ressaltar que o teste FCI é bastante diferente das avaliações tradicionais da Física escolar. Esta diferença explica em parte a pontuação dos estudantes em um teste qualitativo como o FCI. De um modo geral, constata-se que os estudantes apresentam dificuldades para correlacionar situações do cotidiano com o conhecimento escolar.

Outra observação que pode ser extraída do gráfico na Figura 3 é que muitas respostas se encontram em uma região de escolhas aleatórias. Nesta região não se pode identificar com clareza a adoção de um determinado modelo. Este resultado pode indicar inconsistência nos modelos mentais dos estudantes ou ainda que as questões foram respondidas adotando-se vários modelos, ativados conforme o contexto da pergunta.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de concentração pode fornecer dados importantes na direção de um maior entendimento sobre a efetividade da aprendizagem em sala de aula. Além disto, tal análise pode auxiliar na compreensão do progresso dos estudantes no processo de aprendizagem, visto que a mudança conceitual ocorre a partir de mudanças na forma de utilização de seus modelos mentais.

A combinação de escores com os fatores de concentração permite mensurar de forma prática o quanto os modelos cientificamente aceitos estão sendo adotados pelos estudantes em suas interpretações do mundo físico. Trata-se de uma primeira etapa para uma análise mais sofisticada conhecida como análise de modelos mentais, já presente no trabalho de Fernandez (2011).

A análise realizada neste trabalho pressupõe um trabalho posterior de intervenção em sala de aula utilizando estratégias pedagógicas voltadas para a mudança conceitual. Nesta perspectiva, o conhecimento prévio do aluno e suas concepções pré-científicas, precisam ser analisados com seriedade na construção de modelos mais consistentes do ponto de vista científico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pela concessão de bolsas de iniciação científica, ao Prof. David Koch, da Universidade do Estado do Arizona por permitir a utilização do FCI, e aos professores do IFSC Campus Joinville que permitiram a aplicação dos questionários.

REFERÊNCIAS

- BAO, L. **Dynamics of Student Modelling: the theory, algorithms and applications to Quantum Mechanics**. 1999. 260 f. Tese (PhD in Physics) – Department of Physics, University of Maryland, College Park, 1999.
- BAO, L. REDISH, E. F. **Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning**, Physical Review Special Topics – Physics Education research. v. 2, 2006.
- CLEMENT, J.J. **Students' preconceptions in introductory mechanics**. American Journal of Physics, 50(1), p. 66-71, 1982.
- FERNANDEZ, S. A. **Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre mecânica de estudantes de Ensino Médio**. 2011. 212p. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação. UFMG, Belo Horizonte, 2011.
- HESTENES, D., WELLS, M. & SWACKHAMER, G. **Force Concept Inventory**. The Physics Teacher, 30, p. 141-151, 1992.
- HEWSON, P. W. et al. **Educating prospective teachers of Biology: introduction and research methods**. Science Education, v.83, p. 247-273, 1999.
- SANTOS, M. E. V. M. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1975.

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSZTAJN, A. **La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica**. Enseñanza de las Ciencias, Espanha, v. 15, n. 3, p. 351-359, 1997.

PFUNDT, Helga; DUIT, Reinders. **Bibliography - Student's Alternative Frameworks and Science Education**. Disponível em <<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse>>. Acesso em 05 de setembro de 2013.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. Petrópolis: Vozes, 1970.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Ed. UNB, 1982.

VIENNOT, L. **Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics**. European Journal of Science Education, v. 1, Issue 2, p. 205 – 221, 1979.

WIKIMEDIA COMMONS. **Flight trajectory according to Buridian's theory of impetus**. Disponível em <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buridan-impetus.jpg>>. Acesso em 27 de setembro de 2013.