ESTUDO DE UM ITEM QUANTITATIVO NA PROVA DE FÍSICA DO ENEM 2009[1]

Lucas Porto Alegre de Almeida Duarte[1], Wanderley Paulo Gonçalves Junior[2] , Marta Feijó Barroso[3]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Física, lucasufrjif@gmail.com
[2] Universidade Federal do Rio de Janeiro – Colégio de Aplicação, wpgjunior@if.ufrj.br
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Física, marta@if.ufrj.br

Resumo

O ENEM foi modificado em 2009, passando a ser um exame com grande importância para os estudantes de ensino médio que desejam ingressar em universidades públicas ou obter financiamento estudantil para as instituições privadas. Com isso, a análise de seus dados torna-se relevante para entender em detalhes a aprendizagem em física no ensino médio no país. Neste trabalho, partiu-se de um estudo anterior sobre as características das questões de física desta prova no período de 2009 a 2011, no qual as questões foram classificadas em termos de uso de conceitos físicos e de relações matemáticas, e foram feitas comparações com os percentuais de acerto das questões em cada uma dessas categorias no exame aplicado em 2009. Selecionou-se então um item específico da prova do ENEM 2009 que revelava características de grande dificuldade e aplicou-se esse item a alunos do terceiro ano do ensino médio de um colégio privado. As resoluções dos alunos foram analisadas para compreensão das dificuldades apresentadas.

Palavras-chave: Ensino de Física, ENEM, questões quantitativas, aceleração centrípeta.

Introdução

A avaliação é parte fundamental do desenvolvimento e aprimoramento dos processos de ensino e aprendizagem [Black 1998; Perrenoud 1999]. A partir da análise de informações levantadas em processos avaliativos internos e externos, é possível planejar e construir projetos políticos-pedagógicos, selecionar conteúdos a serem abordados, planejar e reestruturar as aulas. Principalmente, é possível corrigir os rumos do processo de ensino e aprendizagem.

De uma forma geral, professores tendem a reproduzir os processos de avaliações vividos por eles em sua formação, quase nunca refletindo sobre eles. Mas avaliações externas começam a ter grande importância na educação básica e superior [Gonçalves Jr 2012; Britton e Schneider 2007], e torna-se necessário ao menos compreender seus métodos e procedimentos.

A partir de 2009, o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) torna-se a principal porta de entrada de muitas universidades públicas e passa a definir o acesso ao financiamento público aos estudantes das instituições privadas. Com isso, o exame passa a ter uma grande importância para os alunos que cursam o ensino

[1] Este trabalho foi financiado pela CAPES/MEC, Projeto Observatório da Educação 2010.

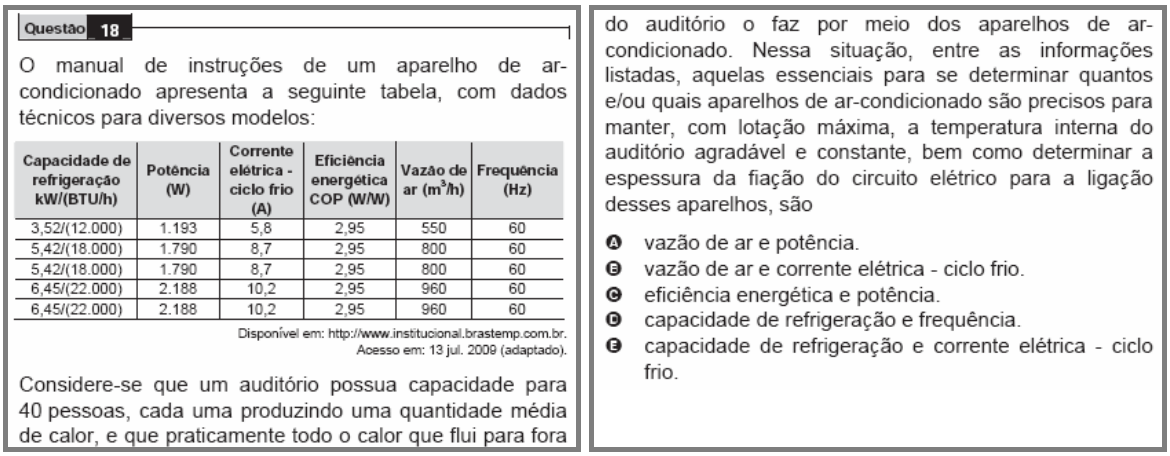
médio, e consequentemente fornece uma importante ferramenta na avaliação da qualidade de ensino e da aprendizagem [Gonçalves Jr e Barroso 2012].

Para que as informações obtidas nesse exame possam ser utilizadas pelo professor como diagnóstico e ferramenta de melhoria de seu trabalho em sala de aula, é fundamental o acesso a materiais que possibilitem a reflexão sobre o exame. Entendendo-se avaliar como "*interpretar os dados quantitativos e qualitativos para obter um parecer ou julgamento de valor, tendo por base padrões ou critérios*" [Haydt 1997], neste trabalho analisamos uma questão específica da prova do ENEM 2009 que se revelou uma questão com um padrão de respostas dos estudantes diferenciado. Com esse estudo, pode-se inferir algumas dificuldades no processo de aprendizagem do tema abordado na questão.

Justificativa e resultados anteriores

Em estudo anterior, [Gonçalves Jr 2012, Gonçalves Jr e Barroso 2012] foi estabelecido um conjunto de categorias para classificar qualitativamente os itens, ou questões, de Física das provas de Ciências da Natureza do ENEM. A análise foi feita para os exames posteriores às mudanças metodológicas e de objetivos do exame, ocorridas em 2009.

Em 2009, há duas provas (2009/1, a prova não aplicada por ter ocorrido um vazamento, 2009/2 a prova aplicada); em 2010 há também duas provas (2010/1, a prova aplicada; 2010/2, a prova extra para o pequeno grupo com defeitos de impressão); e em 2011 há apenas uma prova aplicada.



Questão 18

O manual de instruções de um aparelho de ar-condicionado apresenta a seguinte tabela, com dados técnicos para diversos modelos:

Capacidade de refrigeração kW/(BTU/h)	Potência (W)	Corrente elétrica - ciclo frio (A)	Eficiência energética COP (W/W)	Vazão de ar (m^3/h)	Frequência (Hz)
3,52/(12.000)	1.193	5,8	2,95	550	60
5,42/(18.000)	1.790	8,7	2,95	800	60
5,42/(18.000)	1.790	8,7	2,95	800	60
6,45/(22.000)	2.188	10,2	2,95	960	60
6,45/(22.000)	2.188	10,2	2,95	960	60

Disponível em: http://www.institucional.brastemp.com.br. Acesso em: 13 jul. 2009 (adaptado).

Considere-se que um auditório possua capacidade para 40 pessoas, cada uma produzindo uma quantidade média de calor, e que praticamente todo o calor que flui para fora do auditório o faz por meio dos aparelhos de ar-condicionado. Nessa situação, entre as informações listadas, aquelas essenciais para se determinar quantos e/ou quais aparelhos de ar-condicionado são precisos para manter, com lotação máxima, a temperatura interna do auditório agradável e constante, bem como determinar a espessura da fiação do circuito elétrico para a ligação desses aparelhos, são

A vazão de ar e potência.
B vazão de ar e corrente elétrica - ciclo frio.
C eficiência energética e potência.
D capacidade de refrigeração e frequência.
E capacidade de refrigeração e corrente elétrica - ciclo frio.

Figura 1. *A questão 18 da prova de Ciências da Natureza aplicada no ENEM 2009, classificada como qualitativa.*

Uma das categorias de classificação utilizada foi o tipo de raciocínio matemático exigido para resolver o item. Os itens foram classificados como de natureza quantitativa, qualitativa ou semiquantitativa. São itens quantitativos os que obrigatoriamente exigem a realização de algum cálculo matemático para a obtenção de resposta, sendo esta geralmente representada por um valor ou intervalo numérico; é um item semiquantitativo o que pode ser resolvido utilizando relações de proporcionalidade ou relações como "maior que", "menor que", "igual", etc; e, finalmente, são considerados qualitativos os itens que para sua solução necessita-se

somente do conhecimento, compreensão ou análise do conceito físico, sem necessidade de utilização de raciocínio ou relações matemáticos. Como exemplo dessa classificação, apresentamos na Figura 1 um exemplo de uma questão qualitativa, na qual não há exigência de nenhum raciocínio matemático.

A partir da classificação de todos os itens de Física da prova de Ciências da Natureza, conclui-se que esses itens são predominantemente qualitativos, conforme indicado na Figura 2. Em geral, a leitura mais atenta desses itens indica que quase sempre eles também não avaliam a capacidade do candidato em resolver problemas.

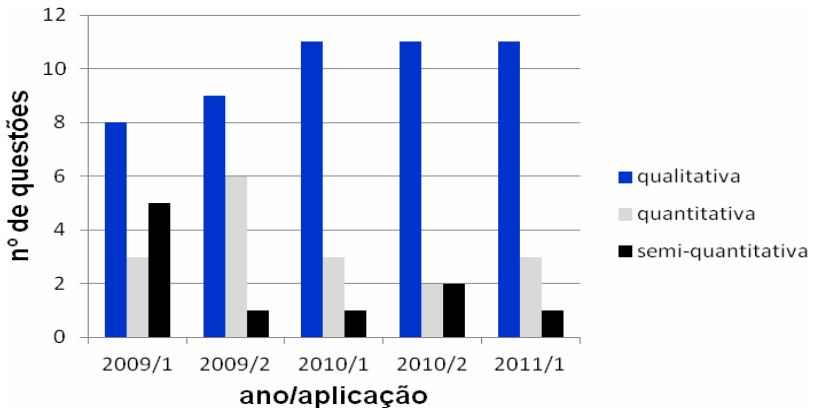


Figura 2. *A distribuição por classificação das questões: quantitativas ou qualitativas.*

Utilizando os microdados disponibilizados pelo INEP em sua página (www.inep.gov.br) em janeiro de 2012, foi possível obter o percentual de acertos em cada uma das questões da prova de Ciências para os concluintes do ensino médio do ENEM 2009. O gráfico com a indicação do percentual de acertos por questão da da prova de Ciências da Natureza de 2009 está apresentado na Figura 3, na qual as questões de Física são destacadas.

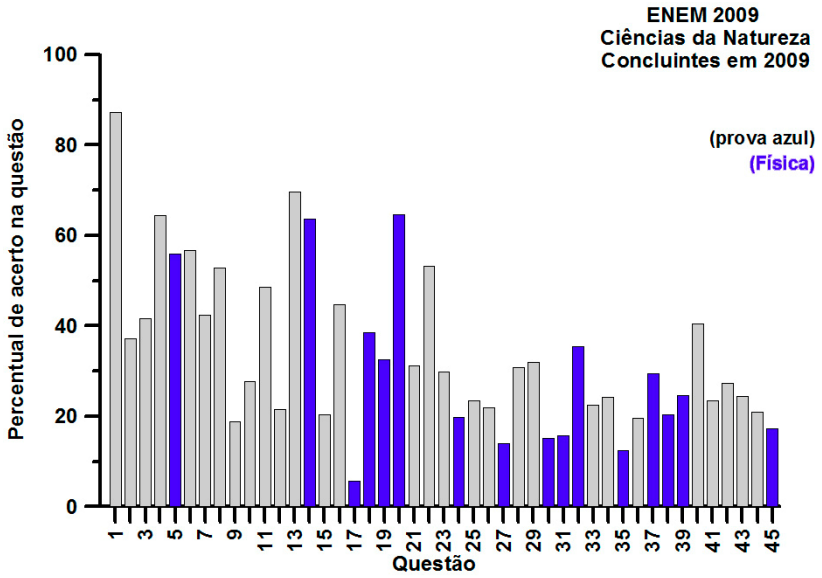


Figura 3. *Percentual de acertos nas questões de Ciências da Natureza do ENEM 2009 – concluintes em 2009.*

No Quadro 1, são separadas as questões classificadas como qualitativas e como quantitativas; indica-se o percentual de acerto entre os concluintes e entre todos os participantes para as questões de Física para cada uma dessas classificações. Pode-se observar que, em média, o desempenho dos candidatos na resolução dos itens que exigem algum tipo de raciocínio matemático, classificados como quantitativos, é mais fraco do que o dos itens qualitativos.

Quadro 1. Percentuais de acerto nas questões de física do ENEM 2009 para os itens classificados como qualitativos e para os itens quantitativos.

Itens qualitativos		
Item	Concluintes	Todos
5	55.9	57.5
14	63.6	68
18	38.5	39.5
20	64.6	65.5
24	19.7	19.4
27	14	14.1
31	15.8	15.4
32	35.5	35.5
37	29.5	30.7
39	24.7	22.5
45	17.2	17.1
MÉDIA	34.5	35.0

Itens quantitativos		
Item	Concluintes	Todos
17	5.7	6.4
19	32.6	34.4
30	15.2	15.4
35	12.4	12.8
38	20.3	20.8
MÉDIA	17.2	18.0

O item 17 da Prova Azul do ENEM Ciências da Natureza em 2009

Da Figura 3 e do Quadro 1, o item de número 17 da Prova Azul revela-se o com menor índice de acerto entre todos. Com isso, resolveu-se analisar com maior detalhe o que esse item avaliava. O texto deste item está apresentado na Figura 4.

Questão 17

O Brasil pode se transformar no primeiro país das Américas a entrar no seleto grupo das nações que dispõem de trens-bala. O Ministério dos Transportes prevê o lançamento do edital de licitação internacional para a construção da ferrovia de alta velocidade Rio-São Paulo. A viagem ligará os 403 quilômetros entre a Central do Brasil, no Rio, e a Estação da Luz, no centro da capital paulista, em uma hora e 25 minutos.

Disponível em: http://oglobo.globo.com. Acesso em: 14 jul. 2009.

Devido à alta velocidade, um dos problemas a ser enfrentado na escolha do trajeto que será percorrido pelo trem é o dimensionamento das curvas. Considerando-se que uma aceleração lateral confortável para os passageiros e segura para o trem seja de 0,1 g, em que g é a aceleração da gravidade (considerada igual a 10 m/s^2), e que a velocidade do trem se mantenha constante em todo o percurso, seria correto prever que as curvas existentes no trajeto deveriam ter raio de curvatura mínimo de, aproximadamente,

A 80 m.
B 430 m.
C 800 m.
D 1.600 m.
E 6.400 m.

Figura 4. *Questão 17 da prova aplicada no ENEM 2009.*

Foi feita inicialmente a estatística descritiva do item. No Quadro 2, apresenta-se a porcentagem de respostas, da alternativa correta e de cada um dos distratores, para os candidatos concluintes em 2009 e para o total de candidatos que realizaram o exame.

Quadro 2. Percentuais de respostas da questão 17 da prova de física do ENEM para os concluintes e para todos os candidatos do ano de 2009.

Concluintes 2009	Porcentagem de Respostas
A	22,8
B	27,4
C	25,1
D	18,6
E	5,7
Branco	0,3
Inválido	0,1
Total	100,0

Todos	Porcentagem de Respostas
A	22,4
B	26,3
C	25,1
D	19,5
E	6,4
Branco	0,3
Inválido	0,1
Total	100,0

Além de não haver discrepância entre os resultados dos concluintes e do resultado de todos respondentes, pode-se observar uma proximidade das porcentagens de respostas dos distratores, em contraposição ao baixo valor obtido na escolha da letra E, a resposta correta.

Construiu-se a curva característica do item empírica [Hambleton 1991]. A curva está apresentada na Figura 5; desta figura, o item revela-se de dificuldade bastante alta – a probabilidade de acerto deste item para estudantes com escore abaixo de 800 pontos (3 desvios padrão acima da média) é inferior a 50%.

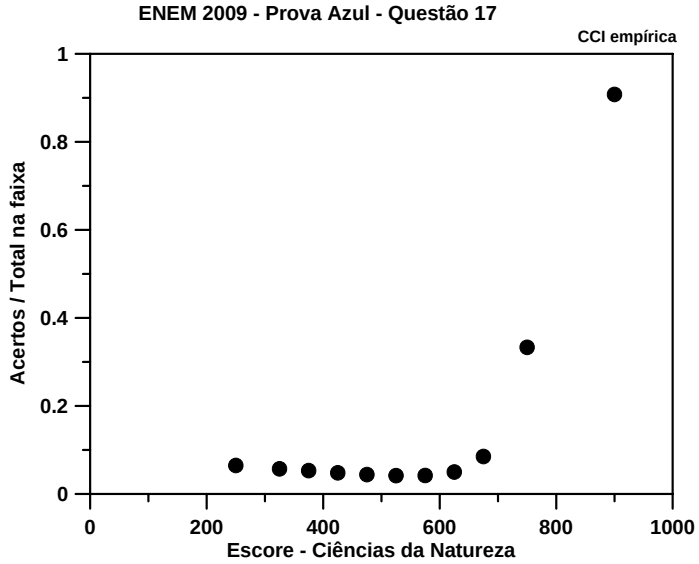


Figura 5. *Curva Característica do Item Empírica do Item 17 da prova de Ciências da Natureza do ENEM 2009 – concluintes em 2009*

A separação dos estudantes por tipo de escola (dependência administrativa) – escolas federais, estaduais, municipais ou privadas – não revela grandes diferenças em seus desempenhos. Os resultados são apresentados nos Quadros 3 e 4. A maioria dos respondentes do exame estava na rede estadual de ensino, e há um resultado um pouco pior para esta rede do que para as redes federal e privada.

Quadro 3. Distribuição de respondentes por dependência administrativa.

Instituição	Número de respondentes	Percentual
Federal	15943	1,7 %
Estadual	707745	75,0 %
Municipal	15544	1,7 %
Privado	204862	21,7 %

Quadro 4. Percentuais de respostas da questão 17 por dependência administrativa dos concluintes.

	Federal	Estadual	Municipal	Privado
A	19,3	23,7	23,4	19,9
B	24,4	28,3	27,6	24,2
C	28,7	24,1	23,8	28,4
D	17,4	18,7	19,6	18,2
E	9,8	4,7	5,1	8,9
Branco	0,1	0,1	0,2	0,0
Inválido	0,4	0,3	0,3	0,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

A separação do percentual de respostas dos alunos concluintes de 2009 também revelou que não existe diferença significativa nas respostas dadas pelos estudantes das áreas urbanas e rurais, como apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Percentuais de respostas da questão 17 separados por região urbana e rural.

	Urbana	Rural
A	22,8	23,3
B	27,3	27,9
C	25,2	23,9
D	18,6	19,0
E	5,7	5,6
Branco	0,1	0,1
Inválido	0,3	0,2
Total	100	100,0

No Quadro 6, apresenta-se o percentual de acertos por região do país. Não há grandes diferenças, bem como não há diferenças se é feita a separação dos resultados por estado da federação.

Quadro 6. Percentuais de respostas corretas da questão 17 separados por Região Brasileira.

Região	Percentagem de Respostas Corretas
Norte	5,3
Nordeste	5,9
Centro-Oeste	5,7
Sudeste	5,9
Sul	5,1

É fato que a não marcação da alternativa E, a resposta correta, foi generalizada para os estudantes. Os distratores B e C são assinalados por um número um pouco maior do que os distratores A e D, mas todos são muito mais assinalados do que a resposta correta E. Isso se repete em estados, em unidades administrativas.

Em função dos resultados obtidos para o item 17, resolveu-se analisar qualitativamente as respostas de um grupo de alunos de ensino médio para essa questão, com o objetivo de entender o padrão de respostas observado.

Metodologia e Análise

O trabalho desenvolvido consistiu na aplicação do item 17 da prova azul de Ciências da Natureza do ENEM 2009 a 45 alunos da 3ª série do Ensino Médio de um colégio privado do Estado do Rio de Janeiro. Solicitou-se aos alunos que eles apresentassem a resolução do item junto à resposta escolhida como correta.

As respostas dos estudantes foram analisadas, buscando-se identificar, nelas, os possíveis erros que os conduziram a marcar algum dos distratores.

O Quadro 7 apresenta o número de acertos e erros na solução do item 17 dentro do universo dos 45 alunos testados.

Quadro 7. Número de alunos que acertaram/erraram o item 17.

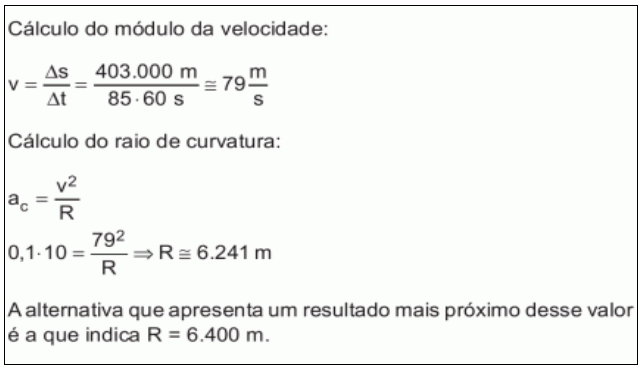
Respostas	Total de Alunos	Percentagem
Corretas	27	60
Erradas	18	40
Total	45	100

As respostas obtidas distribuíram-se nas alternativas de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8. Distribuição de respostas dos alunos para o item 17.

Respostas	Total de Alunos	Percentagem
A	4	9 %
B	1	2 %
C	1	2 %
D	2	4 %
E	27	60 %
Não Concluíram	10	22 %

Os 27 alunos que acertaram o item apresentaram, em geral, solução semelhante ao apresentado na Figura 6.


Cálculo do módulo da velocidade:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{403.000\ m}{85 \cdot 60\ s} \cong 79 \frac{m}{s}$$

Cálculo do raio de curvatura:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$0{,}1 \cdot 10 = \frac{79^2}{R} \Rightarrow R \cong 6.241\ m$$

A alternativa que apresenta um resultado mais próximo desse valor é a que indica R = 6.400 m.

Figura 6. *Solução do Item 17 da prova de Ciências da Natureza do ENEM 2009 – concluintes em 2009*

A solução exige do respondente principalmente o conhecimento da expressão matemática (“fórmula”) da aceleração centrípeta, e também a conversão de unidades de distância e tempo e o conhecimento do conceito de velocidade média. Sob o ponto de vista da aprendizagem de estudantes no ensino médio, este é um item difícil.

Nas resoluções apresentadas pelos estudantes, foi possível identificar os seguintes erros para a escolha dos distratores:

1º) Os que optaram pelo distrator A fizeram corretamente a conversão de unidades e o cálculo da velocidade média; no entanto, ao calcular a aceleração centrípeta, utilizaram erroneamente a sua fórmula, não elevando a velocidade ao quadrado;

2º) Os que encontraram como resposta o distrator C calcularam a velocidade média corretamente, fazendo a transformação de unidades também de forma correta; demonstraram conhecer a expressão matemática para a aceleração centrípeta, mas em vez de utilizar para “aceleração confortável” o valor de 0,1 g, utilizaram o valor de g, 10 m/s^2.

Também observa-se que a alternativa B costuma ser assinalada pelos estudantes que, ignorando o conceito de aceleração centrípeta e a conversão de unidades, calculam a velocidade média do movimento ($\frac{403}{1,25} = 322,4$), escolhendo o valor mais próximo deste resultado. Ou seja, manipulam-se os números presentes no enunciado de forma acrítica.

Não foi possível, a partir das respostas e erros dos alunos, obter uma justificativa para o valor expresso no distrator D.

Conclusões

O item 17 da prova azul de Ciências da Natureza do ENEM 2009 apresenta um alto grau de dificuldade que pode ser atribuído ao fato de exigir conhecimento específico de física e memorização de relação matemática que expressa uma grandeza física para sua solução.

A utilização do valor errado da aceleração centrípeta que levou alguns alunos a escolher o distrator “C” como resposta revela uma dificuldade destes em ler

e interpretar o texto do item, tendo assim como consequência a extração errada do texto de informações para a solução do item.

A escolha do distrator “A” indica o não conhecimento da relação matemática que expressa a grandeza física aceleração centrípeta.

Por fim, a resolução do item dos alunos que escolheram como resposta o distrator “B” indica uma completa falta de conhecimento conceitos físicos, uma vez que a única ação destes é utilizar a razão entre dois valores quaisquer do texto para encontrar uma resposta, não se atendo a qual grandeza eles se referem, nem a que a razão dos mesmos fornecem.

Em resumo, o resultado surpreendente apresentado no Quadro 2 para este item revela que as dificuldades com raciocínio mais complexo, envolvendo resolução de problemas e conexão entre conceitos, estão presentes de maneira uniforme nos estudantes ao final do ensino médio que fizeram o ENEM 2009.

A análise mais detalhada dos resultados do ENEM possibilita a identificação das dificuldades na aprendizagem dos conceitos e temas da física no ensino médio, e constituem-se em ponto de partida para o desenvolvimento de estratégias metodológicas e de novos materiais didáticos.

Bibliografia

BLACK, P. *Testing: Friend or Foe? The theory and pratice of assessment and testing*. London: RoutledgeFalmer, 1998.

BRITTON, E.D.; SCHNEIDER, S.A. Large-Scale Assessments in Science Education. In: Abell, S.K. e Lederman, N.G. (ed.). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2007. p. 1007-1040.

GONÇALVES JUNIOR, W.G. *Avaliações em Larga Escala e o Professor de Física*. 2012. 220 f. Dissertação de Mestrado do Programa de Ensino de Física – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012. Disponível em www.if.ufrj.br/~pef.

GONÇALVES JUNIOR, W. P.; BARROSO, M. F. *ENEM: os Itens e o Desempenho dos Estudantes em 2009.* In: XIV ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2012, Maresias.

HAMBLETON, Ronald K.; SWAMINATHAN, H.; ROGERS, H. Jane. Fundamentals *of Item Response Theory*. Newbury Park: SAGE Publications, 1991.

HAYDT, R. C. C. *Curso de Didática Geral*, 4 edição. São Paulo: Editora Ática, 1997.

PERRENOUD, P. *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas*, trad. Patrícia Chittoni Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.