

## **OS ERROS DOS CANDIDATOS NOS ITENS DE FÍSICA DO ENEM E POSSÍVEIS RELAÇÕES COM A FALTA DE PROFESSORES**

### **THE ERRORS OF CANDIDATES IN ENEM PHYSICS AND POSSIBLE RELATIONS WITH THE LACK OF TEACHERS**

**Guilherme Stecca Marcom<sup>1</sup>, Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas/Programa de Pós-graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM)/E.E. Prof. Antonio Alves Aranha, gui.marcom@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas/IFGW/ kleinke@ifi.unicamp.br

#### **Resumo**

Nas questões de física presentes na prova do Enem existem itens cuja solução está associada à um domínio das ferramentas matemáticas por parte dos candidatos. Geralmente a matemática é considerada essencial para a compreensão dos fenômenos físicos, ao mesmo tempo em que é apresentada como uma das principais dificuldades dos alunos ao longo de seu processo de aprendizagem. Neste trabalho analisamos as questões de física que necessitam de algum conhecimento matemático para sua resolução como forma de identificar o desempenho dos candidatos nesses itens e os possíveis erros cometidos pelos mesmos, com o intuito de levantar hipóteses sobre suas origens. Para tanto, serão analisadas as questões de física classificadas no Domínio Algoritmo, da taxionomia de Smith et al (2010), para os anos de 2009 a 2012. Para cada item, serão analisados os Índices de Acerto (IA) e distratores (alternativas erradas) com as maiores taxas de resposta. Nosso universo de análise serão os estudantes concluintes do ensino médio. Observamos alguns erros vinculados a uma aplicação indiscriminada de fórmulas, como também erros associados às formas simbólicas e análise de gráficos. Levantamos como hipótese para a presença de tais erros a falta de professores com formação em física lecionando no Ensino Médio, o que acarretaria num reducionismo do conhecimento físico a aplicação de equações sem sua compreensão conceitual.

**Palavras-chave:** Enem, questões de física, distratores, erros, falta de professores

#### **Abstract**

In the questions of physics present in the test of the Enem there are some items that need mathematical knowledge for its resolution. Generally, mathematics is considered essential for the understanding of physical phenomena, at the same time it is presented as one of the main difficulties of students throughout their learning process. In this work, we analyze the physics questions that require some mathematical knowledge for its resolution as a way of identifying the performance of the candidates in these items and the possible errors made by them, to raise hypotheses about their origins. To do so, we will analyze the Physics questions classified in the Algorithm Domain, from the Smith et al (2010) taxonomy, for the years 2009 to 2012. For each item, the Hit and Distractor Indexes (wrong alternatives) with the highest response rates. Our universe of analysis will be high

school graduates. We observed some errors related to an indiscriminate application of formulas, as well as errors associated with symbolic forms and graphical analysis. We hypothesized as a hypothesis for the presence of such errors the lack of teachers with training in physics teaching in High School, which would entail in a reductionism of physical knowledge the application of equations without their conceptual understanding.

**Keywords:** Enem, physics issues, distractors, errors, teacher training

## **Introdução**

Uma das principais linhas de pesquisa na área de Ensino de Física são os processos de resolução de problemas, sendo que uma de suas vertentes é compreender as dificuldades apresentadas pelos indivíduos durante a resolução de um problema ou exercício (MALONEY, 2011).

Na maioria dos problemas de Física comumente propostos aos alunos, um dos principais passos a serem realizados pelos estudantes é transpor a situação problema para um formalismo matemático, seguido da manipulação da equação resultante. É inegável a importância que a Matemática tem para o Ensino de Física, segundo Lozada et al. (2006) a mesma é uma ferramenta necessária não apenas para compreensão do fenômeno físico como também para sua solução a contento.

Muitos trabalhos têm como enfoque a relação entre as expressões matemáticas e o conhecimento conceitual no Ensino de Física (SADAGHIANI e AGUILERA, 2013; SHERIN, 2001). Esses autores sugerem que as expressões matemáticas são partes da própria linguagem da Física (SHERIN, 2001), desta forma “as expressões matemáticas têm a função de induzir e transmitir aspectos fundamentais dos conteúdos físicos” (SHERIN, p. 480, 2001,). Ao mesmo tempo que uma expressão matemática transmite os conteúdos da física, o processo inverso ocorre, no qual o conteúdo físico é induzido, para o aluno, a partir da expressão matemática, demonstrando a relação biunívoca entre as duas áreas do conhecimento.

Contudo, o modelamento matemático necessita operar equações, o que costuma apresentar dificuldades aos alunos. Uma das interpretações possíveis para essas dificuldades é o conceito de forma simbólica (SHERIN, 2001), o qual está relacionado ao modelo mental que os alunos retêm das diferentes equações que tomam contato na educação básica. Outras dificuldades, relacionadas ao modelamento matemático, que podem ser destacadas com interpretar e analisar gráficos ou imagens (BEICHNER, 1994; KOHL; FINKELSTEIN, 2006), agir de forma imediatista na resolução do problema (MARCOM e KLEINKE, 2016) e utilizar raciocínios intuitivos, para evitar a utilização de algum tipo de formalismo matemático mais complexo (CLEMENT, 1994).

Esses erros interferem no desempenho de um candidato em avaliações, principalmente no Enem, que apresentam como característica conter alternativas erradas (conhecidas como distratores) associadas às etapas intermediárias da solução dos problemas ou ainda apresentarem alternativas com (MARCOM e KLEINKE, 2016). Essas dificuldades podem resultar em baixos índices de acerto nas questões de Física cuja solução apresente desenvolvimentos matemáticos.

Partindo do pressuposto que os microdados do Enem são uma fonte de informação para investigar as escolhas das alternativas como um indício do caminho trilhado nas soluções das questões propostas no exame. Investigamos quais são as escolhas das alternativas de resposta aos itens de física do Enem, entre os anos de 2009 e 2012, que necessitem de um processo matemático para sua solução. Como também busca levantar hipóteses da origem dessas dificuldades.

### **Metodologia**

Inicialmente identificamos as questões de física, dentro da prova de Ciências da Natureza, nos anos de 2009 a 2012, identificação essa realizada por dois especialistas em física. Utilizamos a classificação por pares (GONÇALVES JR. e BARROSO, 2014; MARCOM e KLEINKE, 2016), onde os autores classificaram de forma independente as questões e depois compararam os resultados. A amostragem apresentou discrepância de três questões dentre as 60 analisadas, com uma confiabilidade de 95%.

Esses itens foram novamente classificados através da taxionomia proposta por Smith et al. (2010), desta forma os itens foram classificados em três domínios do conhecimento: Definição, Algoritmo e Conceitual. O primeiro domínio Definição são os itens nos quais os alunos têm de lembrar, reconhecer e aplicar uma definição. Por outro lado, nos itens do domínio Algoritmo os alunos precisam utilizar informações dentro de uma estrutura lógica de resolução, que pode ser tanto matemática quanto conceitual. O último domínio o Conceitual representa as questões em que os alunos são induzidos a utilizar uma forma de pensamento não-algorítmica (SMITH et al, 2010). Novamente a classificação dos itens nesses três grupos foi feita a partir da classificação por pares, sendo que a amostragem teve como resultado 18 itens classificados no Domínio Algoritmo e 42 itens classificados no Domínio Conceitual, com uma confiabilidade de 85% na classificação.

Dentre todo o conjunto de questões, escolhemos trabalhar apenas com as questões do Domínio Algoritmo, sendo assim analisamos o Índice de Acerto (IA) que representa a taxa de acerto dos candidatos, normalizada entre zero e um. Segundo Primi, itens com um IA abaixo de 0,3 são considerados difíceis, entre 0,3 e 0,7 moderados e maiores que 0,7 fáceis (PRIMI, 2012). Além dos índices, analisamos a distribuição de candidatos nas alternativas, isso indica quais as alternativas incorretas mais atrativas aos candidatos, sugerindo possíveis erros.

Analisamos a distribuição de frequência nas alternativas utilizando os microdados fornecidos pelo INEP, sendo os microdados tratados utilizando o programa estatístico SAS 9.4. Separamos para essa análise os resultados dos candidatos que prestaram o Enem, e são concluintes do EM, nos quatro anos estudados, como também que estiveram presentes em todas as provas e que não tiveram a redação anulada, totalizando 4.623.346 candidatos.

### **Resultados**

Passamos a apresentar nossos resultados, a Tabela 1 indica o índice (IA) e a facilidade associada, como também o ano em que o item apareceu e o número de candidatos (N) amostrados.

**Tabela 1 – Índices de Acerto e Facilidade dos itens do Domínio Algoritmo em seus respectivos anos de aplicação.**

Ano	N	Item	IA	IF	Ano	N	Item	IA	IF
2009	940431	17	0,05	Difícil	2011	1271078	60	0,16	Difícil
		18	0,38	Moderado			63	0,28	Difícil
		24	0,2	Difícil			67	0,16	Difícil
		30	0,15	Difícil			73	0,23	Difícil
		35	0,12	Difícil	2012	1273769	54	0,28	Difícil
		38	0,20	Difícil			60	0,25	Difícil
2010	1138068	48	0,22	Difícil			72	0,43	Moderado
		68	0,16	Difícil			77	0,29	Difícil
		70	0,12	Difícil			78	0,28	Difícil

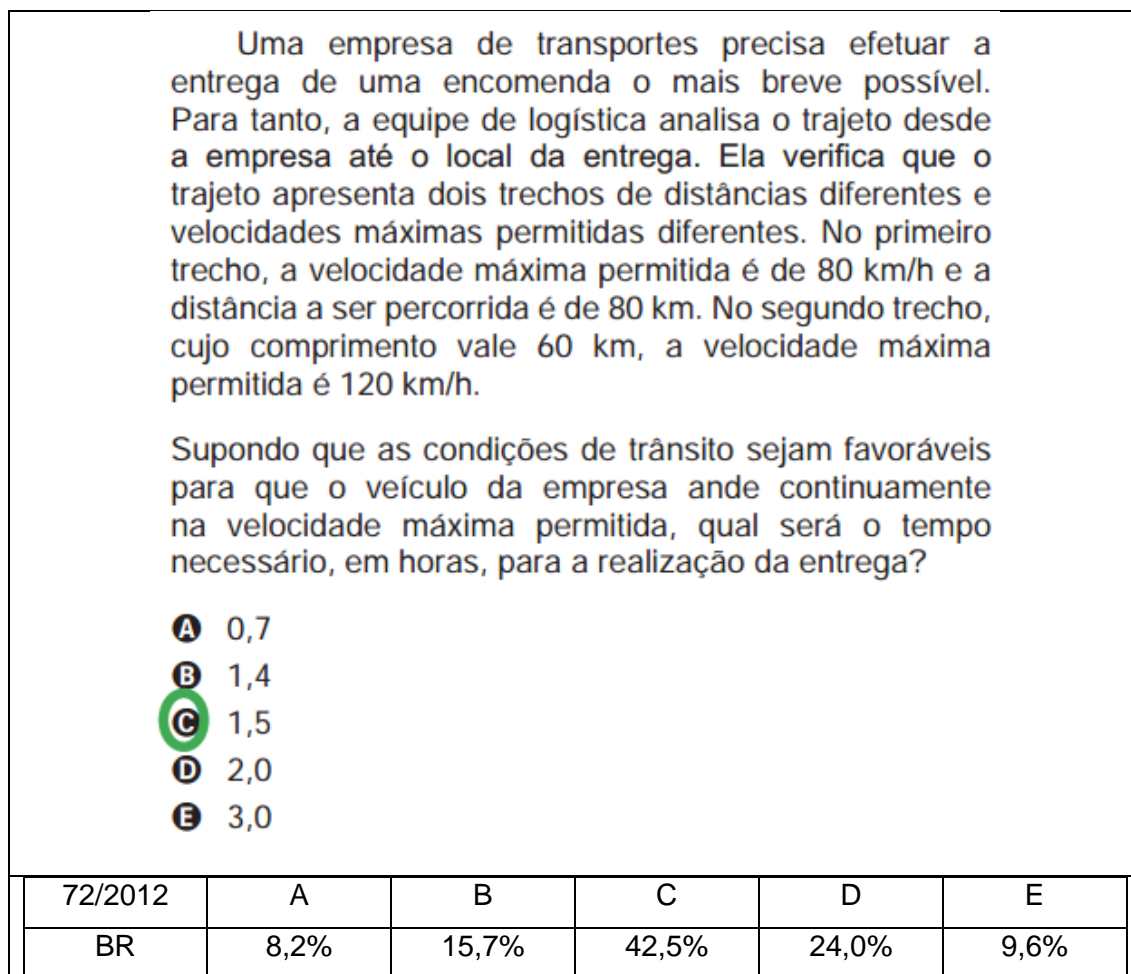
Apenas dois itens foram classificados como moderados na escala de facilidade, 18/2009 e 72/2012, sendo seus respectivos IA são 0,38 e 0,43. Esses resultados são fortes indicadores das dificuldades apresentadas pelos candidatos na resolução de questões que necessitam de algum conhecimento matemático para sua resolução. A seguir apresentaremos dois exemplos de análises dos distratores (alternativas errôneas) mais assinalados pelos candidatos. Cabe pontuar que diversos fatores podem influenciar na escolha por uma alternativa, como a própria escolha ao acaso, contudo como já mostrado em outros trabalhos as análises das distribuições nos distratores são bons indicativos dos possíveis erros que os candidatos cometem durante a realização do exame (MARCOM e KLEINKE, 2016, GONÇALVES JR. e BARROSO, 2014; BARROSO, RUBINI, e DA SILVA, 2018)

A primeira questão a ser analisada é uma aplicação simples de conceitos de mecânica, onde se solicita o tempo total gasto em uma viagem na qual o veículo percorre dois trechos com duas velocidades distintas, sendo a questão e a escolha das alternativas apresentada na Figura 1.

Cabe aqui observar que esse item foi respondido de forma correta por 42% dos candidatos, a maior porcentagem de acerto dentre todos os itens analisados. Supomos que esse item tem um dos maiores IA pelo fato de ser uma questão, na qual conceito físico exigido é a velocidade média.

Outro de nossos interesses são os distratores mais assinalados. No caso da alternativa (B) temos que – provavelmente – os candidatos consideraram que a velocidade média do percurso seria a média das velocidades, resultando em 100 km/h, conduzindo à um intervalo de tempo de 1,4 h.

Já os candidatos que optaram pela alternativa (D) provavelmente buscaram solucionar o problema utilizando alguma outra forma de raciocínio lógico ou ideia indutiva (CLEMENT, 1994). Um possível raciocínio estaria associado à observação dos números sem considerar as unidades, já que no problema são apresentados números como 60 e 120, sendo um o dobro do outro.



**Figura 1: Problema de logística de uma transportadora.**

A Figura 2, contém uma questão de dimensionamento de curvas a partir a ação da força centrípeta sobre um trem de alta velocidade. A resolução do problema prevê a construção de um algoritmo com base no conceito de força centrípeta e de sua expressão matemática. A porcentagem de candidatos que optam pela alternativa correta é menor que 5%. A dificuldade do item pode ser associada ao conjunto de passos pelos quais os candidatos deveriam passar, sendo que todos eles são compostos por uma série de passagens aritméticas e algébricas, onde qualquer erro em uma delas já poderia provocar a escolha por um distrator.

Um erro também comum é a dificuldade em interpretar, construir e lembrar, de forma correta, a fórmula da força centrípeta. Fato que se confirma devido a porcentagem (24,3%) de candidatos que assinalaram a alternativa (C). Uma das formas de chegar ao resultado numérico, presente na alternativa, é utilizar a fórmula da força centrípeta sem elevar a velocidade ao quadrado, isso representa uma dificuldade relacionada com o conceito de forma simbólica (SHERIN, 2001; KOU et al, 2013). Isso significa que os candidatos apresentam um conhecimento conceitual sobre o fenômeno, contudo apresentam dificuldade de transpor esse conhecimento para uma equação.

No distrator referente à alternativa A identificamos um erro na resolução do primeiro passo, quando o candidato determina qual é a velocidade do trem durante o percurso. Este erro está associado à uma compreensão errônea do papel das unidades de medida na resolução do problema. Por fim, destacamos o distrator escolhido pela maioria dos candidatos representado pela alternativa (B) para

responder o item 17/2009. Acreditamos que a escolha desse distrator representa uma estimativa criada a partir do cotidiano dos alunos. Propomos que essa escolha ocorra porque imaginar uma curva com um raio de 80m seria “muito fechada” para o trem de alta velocidade; ao mesmo tempo em que os valores maiores “são muito grandes para uma curva” gerando assim, a exclusão da maioria das alternativas.

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  $10 \text{ m/s}^2$ ), 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.

17/2009	A	B	C	D	E
BR	22,9%	28,5%	24,3%	18,5%	4,7%

**Figura 2: Construção de uma ferrovia para um trem de alta velocidade.**

De acordo com análise das outras questões identificamos erros vinculado às formas simbólicas (SHERIN, 2001), raciocínios intuitivos (CLEMENT, 1994) na resolução dos problemas, um imediatismo matemático na resolução da questão, conceitos não científicos (KOU et al, 2013) e a análise incorreta de imagens presentes na situação proposta (BEICHNER, 1994).

Diferentes explicações poderiam justificar esses erros, contudo levantamos como uma nova hipótese: que as dificuldades apresentadas pelos alunos estão, também, relacionadas ao baixo número de professores com formação em física que atuam nas escolas. De acordo dados apresentados pelo Observatório do Plano Nacional de Educação (PNE) em 2016 28,3% dos professores que lecionam física no Brasil apresentavam formação inicial em Licenciatura em Física ou Bacharelado em Física com complementação pedagógica, perfazendo um total de 14.637 professores (BRASIL, 2013). Esse baixo número de professores com formação em Física pode comprometer a qualidade dos conteúdos apresentados, sendo assim para compreender as dificuldades apresentadas pelos alunos é necessário entender quem são os professores desses candidatos, qual sua formação e suas condições de trabalho.

## Conclusão

Nesse trabalho buscamos identificar o desempenho dos candidatos nas questões de física da prova do Enem, entre os anos do 2009 e 2012, as quais fossem necessárias algum desenvolvimento matemático para resolvê-las, como também os possíveis erros na resolução dessas questões. Identificamos que essas questões apresentam um IA médio de 0,21, isso significa que elas foram difíceis de serem resolvidas. Esse resultado é corroborado pelo fato de apenas duas questões apresentaram um IA superior à 0,30.

Identificamos também um conjunto de erros cometidos pelos candidatos, a saber: formas simbólicas (SHERIN, 2001), raciocínios intuitivos (CLEMENT, 1994) na resolução dos problemas, um imediatismo matemático na resolução da questão, conceitos não científicos (KOU et al, 2013) e a análise incorreta de imagens e gráficos presentes na situação proposta (BEICHNER, 1994).

Como forma de explicar esses erros criamos como hipótese o fato de aproximadamente 70% dos professores que lecionam física no ensino médio não apresentam formação de licenciados ou bacharéis em Física (BRASIL, 2013), tais dados são corroborados pelos resultados do Prof. Dr. José M. de Rezende Pinto (2014), onde o autor indica que para a disciplina de Física há uma grande falta de professores com formação para lecionar em relação a oferta de vagas (DE REZENDE PINTO, 2014).

Acreditamos que a formação diversa dos professores, que estão lecionando física, pode interferir no aprendizado dos alunos. Uma possível consequência seria um reducionismo o conhecimento físico à simples aplicações de fórmulas pré-estabelecidas. Esse tipo de situação pode provocar erros como os observados nos itens do Enem, onde por exemplo a aplicação indiscriminada de fórmulas leva aos candidatos a assinalarem alternativas que indicam um imediatismo matemático.

Apesar de nossos apontamentos, sobre as relações entre a falta de professores com formação em física e as dificuldades apresentadas pelos candidatos no Enem, não serem conclusivos. Acreditamos que é necessário ampliarmos os trabalhos sobre essa perspectiva, englobando também questões sobre formação inicial de professores, condições de trabalho e outros temas que interferem nas relações de aprendizagem dos alunos.

## Referências

- BARROSO, M. F.; RUBINI, G.; DA SILVA, T. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem/Physics learning difficulties from the perspective of ENEM results. **arXiv preprint arXiv:1802.09880**, 2018.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, v.62, n. 8, p. 750 - 762. 1994.
- BRASIL. **Plano Nacional de Educação** - PNE/Ministério da Educação. Brasília, DF: INEP, 2013. Disponível em: < <http://www.observatoriodopne.org.br/metas-pne/15-formacao-professores/indicadores#porcentagem-de-professores-do-ensino-medio-que-tem-licenciatura-na-area-em-que-atuam>>. Acesso em 01 abr. 2018.

CLEMENT, J. Use of physical intuition and imagistic simulation in expert problem solving. In Tirosch, D. (Org.), **Implicit and explicit knowledge** pp. 204–244. New Jersey: Ablex, 1994. pp. 204 – 244.

DE REZENDE PINTO, J. M. O que explica a falta de professores nas escolas brasileiras?. **Jornal de Políticas Educacionais**, v. 8, n. 15, 2014.

GONÇALVES JR, W. P.; BARROSO, M. F.. As questões de física e o desempenho dos estudantes no ENEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 36, n. 1, p. 1 – 11. 2014.

KOHL, P. B.; FINKELSTEIN, N. D. Effects of representation on students solving physics problems: A fine-grained characterization. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 2, n. 1, p. 010106-1 – 010106-12. 2006.

KOU, E. et al. How Students Blend Conceptual and Formal Mathematical Reasoning in Solving Physics Problems. **Science Education**. v. 97, n. 1, p. 32 – 57. 2013.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S.T.; MARRONE, W.; AMARAL, L.H.. A Modelagem Matemática Aplicada Ao Ensino De Física No Ensino Médio. **Revista Logos**, N. 14, P. 2 – 12. 2006.

MALONEY, D. P. An Overview of Physics Education Research on Problem Solving. **Physic Educational Research**, v. 2, n. 2, p. 1 – 33. 2011.

MARCOM, G.S. e KLEINKE. M.U. Análises dos distratores das questões de Física em Exames de Larga Escala. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 72-91, 2016.

PRIMI, R. Psicometria: fundamentos matemáticos da teoria clássica dos testes. **Avaliação Psicológica**, v.11, n.2, p. 297 – 307. 2012.

SADAGHIANI, H; AGUILERA, N. Mathematical vs. Conceptual Understanding: Where Do We Draw The Line?. In: **Physics Education Research Conference 2012**. Philadelphia, v. 1513, p. 358 – 361. 2012.

SHERIN, B. L. How Students Understand Physics Equations. **Cognition and Instruction**, v. 19, n.4, p. 479–541. 2001.

SMITH, K. C.; NAKHLEHB, M. B.; BRETZC, S. L. An expanded framework for analyzing general chemistry exams. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, p. 147 – 153. 2010.