



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



**MNPEF**

**Como usar as questões do Enem para avaliar o ensino de física:  
aplicação às questões de Física da prova de CN de 2013**

Bruno Bernardo Rinaldi

Marta Feijó Barroso

Gustavo Rubini

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Rio de Janeiro

Dezembro de 2017

## **Como usar as questões do Enem para avaliar o ensino de física: aplicação às questões de Física da prova de CN de 2013.**

Esse estudo pretende apresentar a professores de física e de ciências uma ferramenta de diagnóstico da aprendizagem dos estudantes ao final do ensino médio a partir dos resultados do ENEM. Especificamente, nesse material abordamos a prova de Ciências da Natureza de 2013 do ENEM (a numeração refere-se à prova azul) e as questões de Física que a compõem.

O objetivo é fornecer um recurso de diagnóstico baseado em dados empíricos que possa auxiliar os professores em relação ao que seus alunos aprendem em Física e quais são suas dificuldades nesse processo.

O uso dos dados do ENEM nos permite observar a situação de forma mais ampla do que a de nossas salas de aula: são todos os alunos concluintes do ensino médio no país, cerca de 1 milhão e 300 mil respostas, que são tabuladas e analisadas, questão a questão, tanto em relação ao que pretendem avaliar quanto ao desempenho dos alunos ao respondê-las.

O estudo dos aspectos qualitativos das questões corresponde a analisar o seu texto, as habilidades e competências que pretende avaliar, a resolução e o que indicam os distratores (do ponto de vista do erro que o estudante comete ao escolhê-lo), entre outros.

Os aspectos quantitativos referem-se aos dados de desempenho dos candidatos em cada questão, a frequência de respostas corretas e das alternativas incorretas (chamadas de distratores), a análise da distribuição das respostas por faixas estratificadas de notas (os candidatos são classificados em dez faixas com a mesma quantidade numérica, desde os dez por cento de menores notas aos 10 por cento de maiores notas), o que nos permite identificar a tendência de opção por certa resposta em função da nota do candidato, isto é, do que ele aprendeu.

Essa análise combinada revela muito sobre o que se ensina e o que se aprende em Física, com dados confiáveis e bastante expressivos. O processo de diagnóstico que pretendemos estabelecer passa pela observação dos aspectos qualitativos e quantitativos de cada um dos itens.

Este estudo propõe aos colegas professores uma forma de analisar os dados relativos as questões de Física da prova de 2013. O trabalho

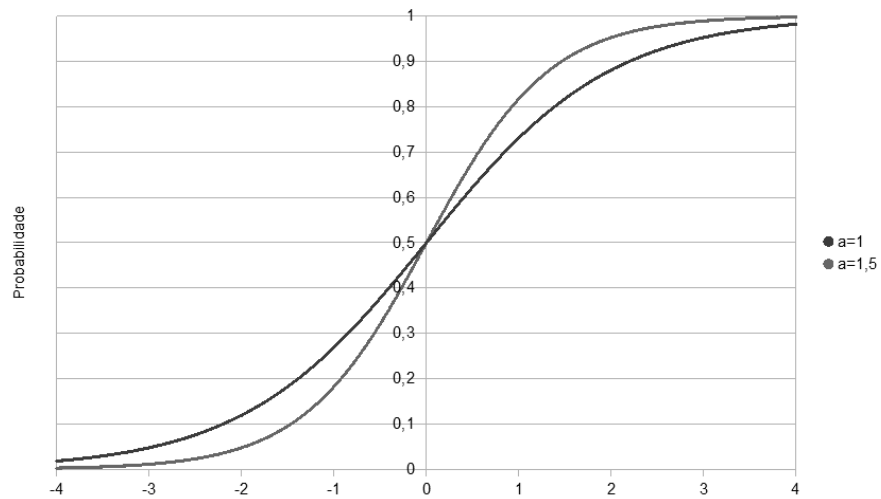
apresentado aqui pode ser aplicado em outras avaliações, tanto em larga escala como na sala de aula, e nos ajuda a refletir a respeito dos resultados e a dar subsídios para um melhor fazer pedagógico.

O ENEM utiliza um modelo de correção que não mede diretamente o número de acertos no exame, a chamada Teoria de Resposta ao Item. Trata-se de um modelo psicométrico usado para medir as competências e habilidades de um candidato com foco em cada um dos itens do exame e não no exame como um todo. Sua principal vantagem em relação ao modelo clássico (Teoria Clássica de Testes – TCT) é a capacidade de estabelecer uma nota com independência do grau de dificuldade do exame e do grau de proficiência dos candidatos. Em outras palavras, candidatos de diferentes habilidades podem ser comparados entre si mesmo que tenham sido submetidos a exames de dificuldades diferentes.

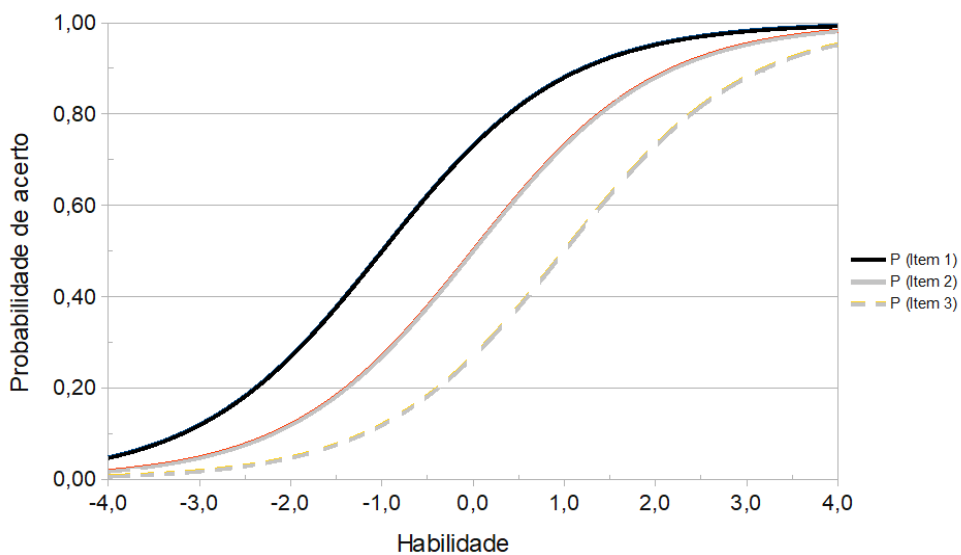
O modelo de TRI que o ENEM utiliza é o modelo logístico de três parâmetros, que determina uma curva característica de cada item da prova com os parâmetros: Dificuldade, discriminação e pseudo-azar.

A discriminação ( $a$ ) indica a capacidade de um item em distinguir candidatos de maior e menor habilidade. Seu valor é tomado como sendo a inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão da curva característica do item. Na Figura 1, apresentamos um gráfico de dois itens com diferentes discriminações. O item representado pela curva mais escura tem discriminação menor do que o item apresentado pela curva mais clara.

A dificuldade do item ( $b$ ) corresponde ao valor em que a probabilidade de acerto no item ultrapassa o valor médio do item, e pode ser medido pelo valor da habilidade que corresponde ao ponto de inflexão da curva. Na Figura 2, apresentamos três curvas características com diferentes dificuldades (mas com as mesmas discriminações e os mesmos parâmetros de pseudo-azar). A curva mais escura representa uma questão cuja dificuldade é baixa, a curva clara contínua é média e a curva clara tracejada é alta.

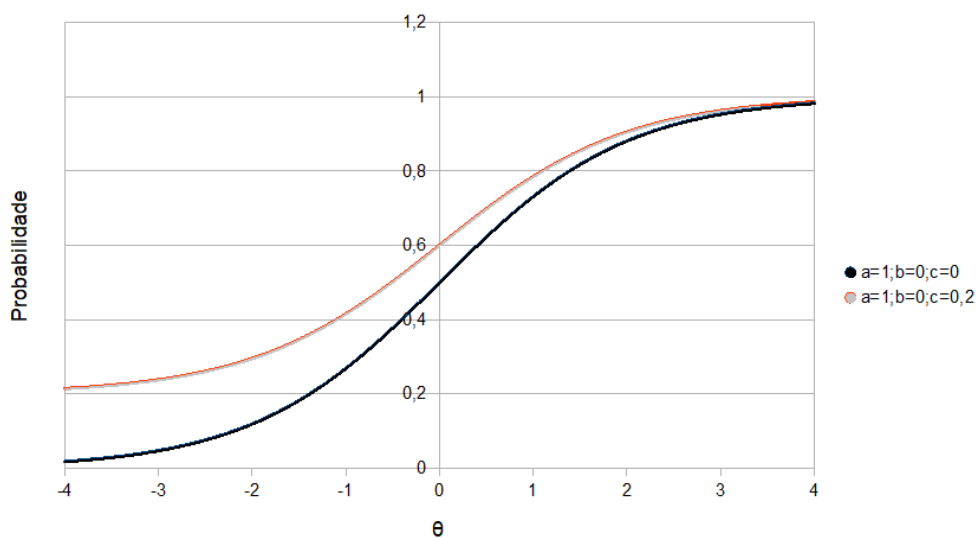


**Figura 1.** Curvas características de dois itens com diferentes discriminações.



**Figura 2.** Curvas características de itens com diferentes dificuldades.

O parâmetro denominado de pseudo-azar ( $c$ ) descreve a probabilidade de um candidato com habilidade muito baixa acertar a questão. Corresponde ao valor da probabilidade de acerto dado pela assíntota inferior da curva característica do item. Na Figura 3, apresentamos duas curvas características com diferentes parâmetros de pseudo-azar. A curva mais escura tem parâmetro  $c$  nulo, e a curva mais clara tem o parâmetro correspondente a uma probabilidade de acerto de 20% para alunos com habilidade muito baixa.



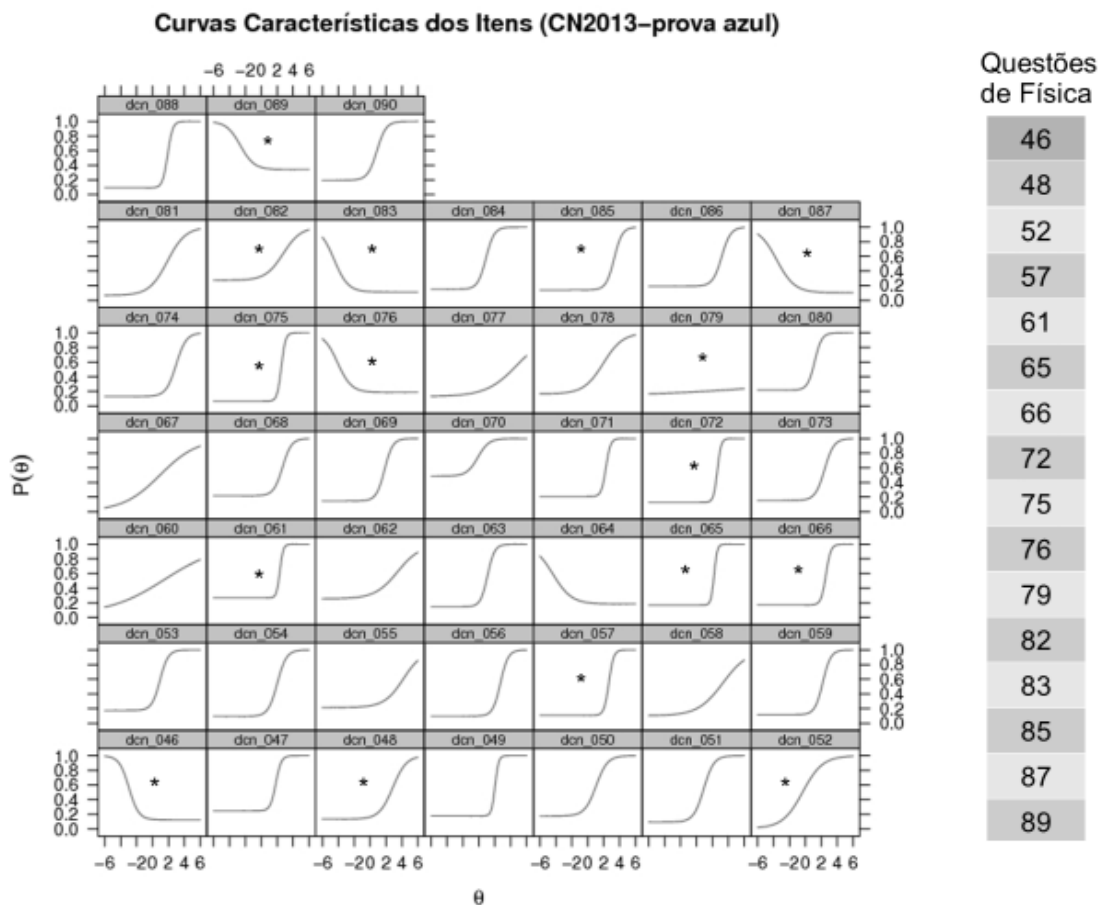
**Figura 3.** Curvas características de itens com diferentes parâmetros de pseudo-azar.

A seguir, apresentamos uma visão geral da prova. Na Figura 4 podemos ver o conjunto de curvas características de todos os itens da prova do Enem 2013<sup>1</sup>. Estão assinaladas, com asterisco, as questões de Física.

Observa-se que o modelo utilizado não está adequado (apresentando discriminação negativa), para 6 questões, 5 delas de Física. Há mais uma questão de Física cuja curva revela que a questão não discrimina os alunos (uma reta praticamente constante).

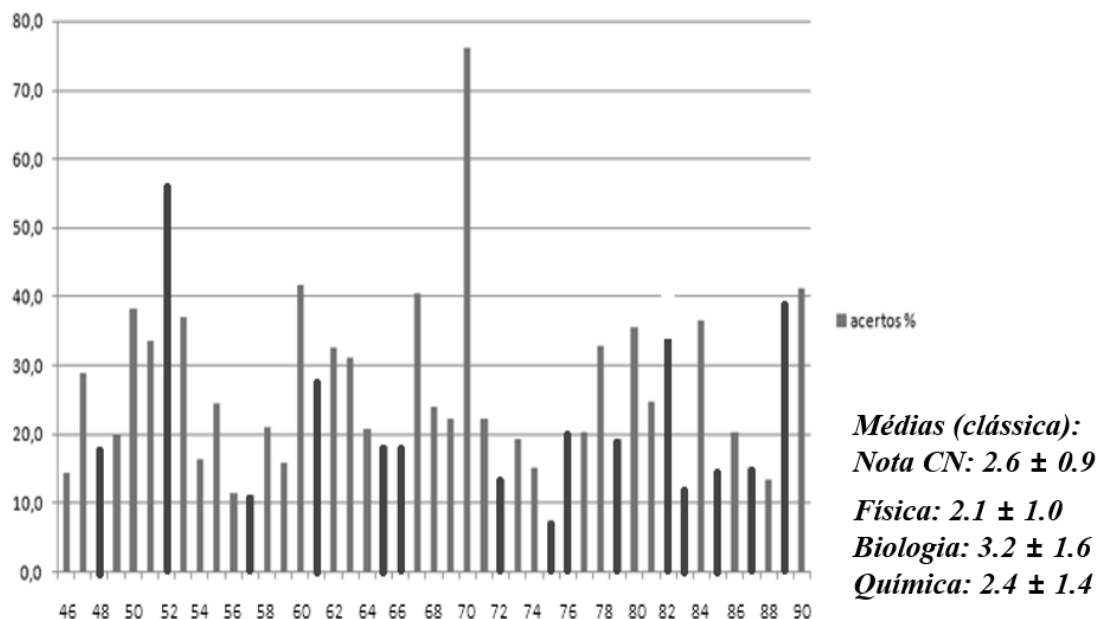
---

<sup>1</sup> G. Rubini, comunicação privada. Resultados obtidos como parte dos trabalhos de doutoramento, a partir da utilização dos dados do INEP manipulados dentro do ambiente estatístico R e seus pacotes.



**Figura 4.** Curvas características de todas as questões da prova de Ciências da Natureza do ENEM 2013; estão assinaladas as questões de Física (fonte: G. Rubini).

Na Figura 5, apresentamos um gráfico que indica, para cada uma das questões da prova de Ciências da Natureza do ENEM 2013, o percentual de acerto na questão. As questões de Física estão destacadas em tonalidade mais escura. À direita do gráfico, são apresentados os totais de acerto em cada uma das disciplinas (normalizadas para valores entre 0 e 10). Destas informações, observa-se que o total de acertos na prova é muito pequeno (inferior a um terço das questões estão corretas), e que o total de acertos das questões de Física é inferior às demais, sendo que o total de acertos em Biologia é superior a todas as demais disciplinas.



**Figura 5.** Curvas características de todas as questões da prova de Ciências da Natureza do ENEM 2013; estão assinaladas as questões de Física.

Em cada uma das seções a seguir, apresentamos as questões de Física da prova de Ciências da Natureza do Enem 2013, com as seguintes informações:

- o texto e as alternativas da questão, ou seja, a resposta correta (gabarito), as alternativas incorretas (distratores),
- a competência e habilidade da questão, usando a informação divulgada pelo INEP, embora o processo de identificar a habilidade a partir da questão seja difícil e muitas vezes surjam divergências entre classificações.
- a resolução da questão e sua coerência do ponto de vista da Física, a frequência da escolha das alternativas pelos concluintes do ensino médio em 2013 e o percentual de acerto na questão.
- A curva característica do item, que expressa a probabilidade de acerto na questão em função do score do aluno.
- O gráfico por faixa que mostra a frequência percentual de cada alternativa escolhida pelos alunos para dez grupos de alunos, as faixas. Cada faixa possui igual número de alunos. A primeira faixa agrupa os

10% dos alunos de menor aptidão e assim por diante até a faixa 10, que agrupa os 10% com maior aptidão.

- Ao final, apresenta-se uma discussão sobre o que a questão revela a respeito da aprendizagem pelos alunos do tema da questão.

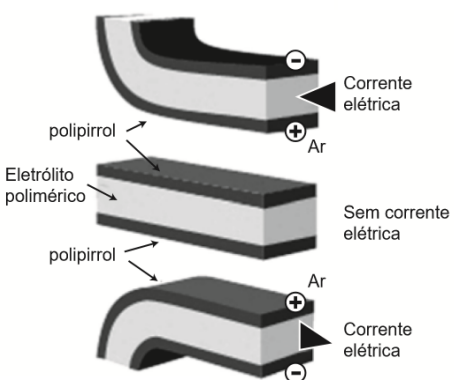
Apresentamos abaixo as questões, suas resoluções, discussões e dados estatísticos.



## 1. Questão 46

A questão 46 propõe uma discussão sobre músculos artificiais. Na Figura 6, apresentamos o texto da questão, na Figura 7 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 8 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 9 apresentamos a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

Músculos artificiais são dispositivos feitos com plásticos inteligentes que respondem a uma corrente elétrica com um movimento mecânico. A oxidação e redução de um polímero condutor criam cargas positivas e/ou negativas no material, que são compensadas com a inserção ou expulsão de cátions ou ânions. Por exemplo, na figura os filmes escuros são de polipirrol e o filme branco é de um eletrólito polimérico contendo um sal inorgânico. Quando o polipirrol sofre oxidação, há a inserção de ânions para compensar a carga positiva no polímero e o filme se expande. Na outra face do dispositivo o filme de polipirrol sofre redução, expulsando ânions, e o filme se contrai. Pela montagem, em sanduíche, o sistema todo se movimenta de forma harmônica, conforme mostrado na figura.



A camada central de eletrólito polimérico é importante porque

- Ⓐ absorve a irradiação de partículas carregadas, emitidas pelo aquecimento elétrico dos filmes de polipirrol.
- Ⓑ permite a difusão dos íons promovida pela aplicação de diferença de potencial, fechando o circuito elétrico.
- Ⓒ mantém um gradiente térmico no material para promover a dilatação/contração térmica de cada filme de polipirrol.
- Ⓓ permite a condução de elétrons livres, promovida pela aplicação de diferença de potencial, gerando corrente elétrica.
- Ⓔ promove a polarização das moléculas poliméricas, o que resulta no movimento gerado pela aplicação de diferença de potencial.

Figura 6. O texto da questão 46.

### Competência e habilidade

C6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

### Resolução

- Segundo o texto da questão, o músculo artificial, assim como qualquer músculo, responde à presença de corrente elétrica com sua contração. O eletrólito polimérico é constituído por um sal inorgânico. O fluxo de cargas em meios desse tipo ocorre através de íons e não por elétrons

livres, como o que ocorre em condutores metálicos. Portanto a corrente elétrica se estabelece através do fluxo de íons.

- O distrator D (de maior frequência entre as respostas) apresenta a informação de corrente elétrica através do fluxo de elétrons livres.
- O gabarito do Inep corresponde à letra B.

### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,1
A	18,6
B	14,5
C	19,6
D	30,0
E	17,0
Total	100,0

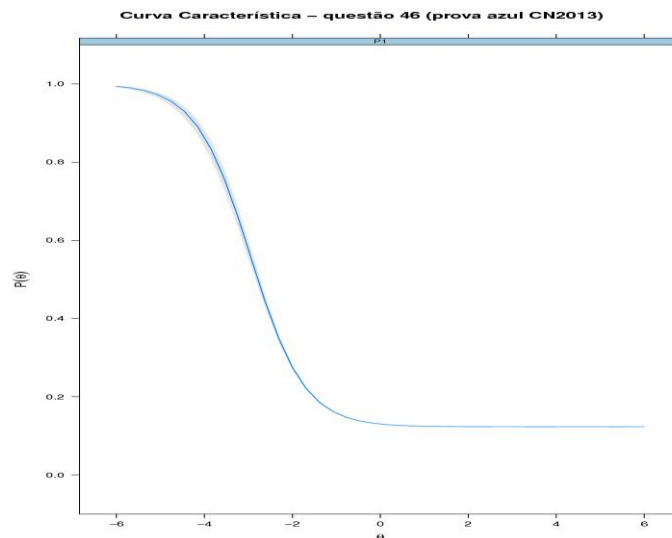
A camada central de eletrólito polimérico é importante porque

- A absorve a irradiação de partículas carregadas, emitidas pelo aquecimento elétrico dos filmes de polipirrol.
- B permite a difusão dos íons promovida pela aplicação de diferença de potencial, fechando o circuito elétrico.
- C mantém um gradiente térmico no material para promover a dilatação/contração térmica de cada filme de polipirrol.
- D permite a condução de elétrons livres, promovida pela aplicação de diferença de potencial, gerando corrente elétrica.
- E promove a polarização das moléculas poliméricas, o que resulta no movimento gerado pela aplicação de diferença de potencial.

**Figura 7.** A frequência das respostas por distratores

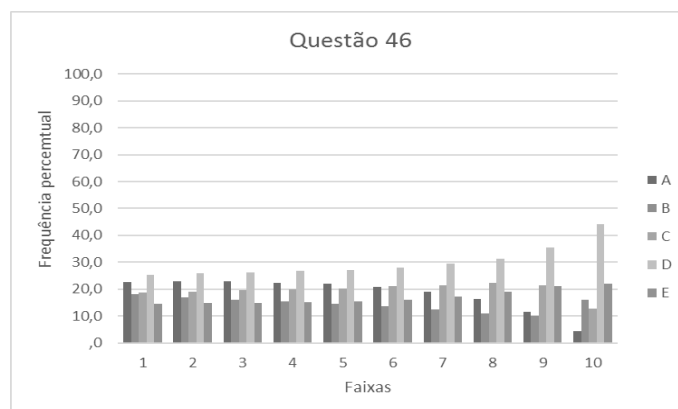
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = -1,63$ ;  $b = -2,96$ ;  $c = 0,12$ .



**Figura 8.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

## Frequência dos distratores por faixa



**Figura 9.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas.

## Discussão do item

- Na escolha da disciplina associada ao item, observaram-se alguns traços interdisciplinares, pois são mencionados conhecimentos de Física, Química e Biologia. No entanto, o objeto de conhecimento utilizado para a resolução adequada é o associado a fenômenos elétricos (carga e corrente elétrica), constante no 5º objeto de conhecimento de Física na Matriz de Referência.
- Na curva característica do item, na Figura 4.5, há uma inclinação negativa, indicando uma probabilidade maior de acerto para alunos de baixa aptidão, o que revela que a questão não é adequada.
- O gráfico da Figura 4.6 indica que alunos de maior aptidão tiveram pior desempenho na questão, e também que há um percentual de escolha similar para as cinco alternativas até o grupo da faixa 7.

## Diagnóstico

- Verificamos que a maior parte dos candidatos e os de melhores desempenho escolhem a opção D, que mostra a situação de fluxo de cargas em condutores a partir de elétrons livres, que é o caso mais discutido na literatura sobre eletrodinâmica no ensino médio e justifica que os candidatos de melhor desempenho errem a questão.

## 2. Questão 48

A questão 48 aborda temas de física térmica. Na Figura 10, apresentamos o texto da questão, na Figura 11 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 12 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 13 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

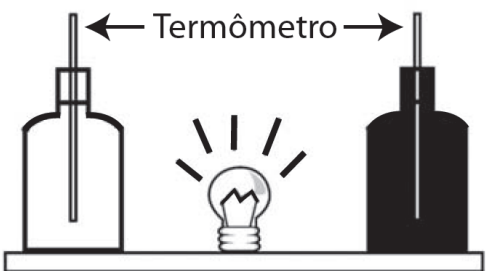
<p>Em um experimento foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.</p> 	<p>A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi</p> <p><input type="radio"/> A igual no aquecimento e igual no resfriamento.</p> <p><input type="radio"/> B maior no aquecimento e igual no resfriamento.</p> <p><input type="radio"/> C menor no aquecimento e igual no resfriamento.</p> <p><input type="radio"/> D maior no aquecimento e menor no resfriamento.</p> <p><input checked="" type="radio"/> E maior no aquecimento e maior no resfriamento.</p>
---	---

Figura 10. O texto da questão 48.

### Competência e habilidade

C6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H22 – Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

### Resolução:

- A lâmpada incandescente irradia calor igualmente para as duas garrafas; as duas absorvem esse calor em taxas específicas segundo a lei de Stefan-Boltzmann.
- A absorção desse calor depende de características do material, que nesse caso é o mesmo (Polietileno Tereftalato – PET) para as duas garrafas, e também de sua cor. A que está pintada de preto tem maior taxa de absorção que a garrafa pintada de branco.
- Por consequência a garrafa preta apresenta maior variação de temperatura no aquecimento.

- No resfriamento, ambas voltam às condições iniciais de equilíbrio com o ambiente; assim a variação da temperatura da garrafa preta também será maior.
- O gabarito fornecido pelo Inep indica como correta a resposta E.

Frequência das respostas por alternativas:

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulo	0,2
A	10,3
B	18,2
C	9,5
D	43,5
E	18,3
Total	100,0

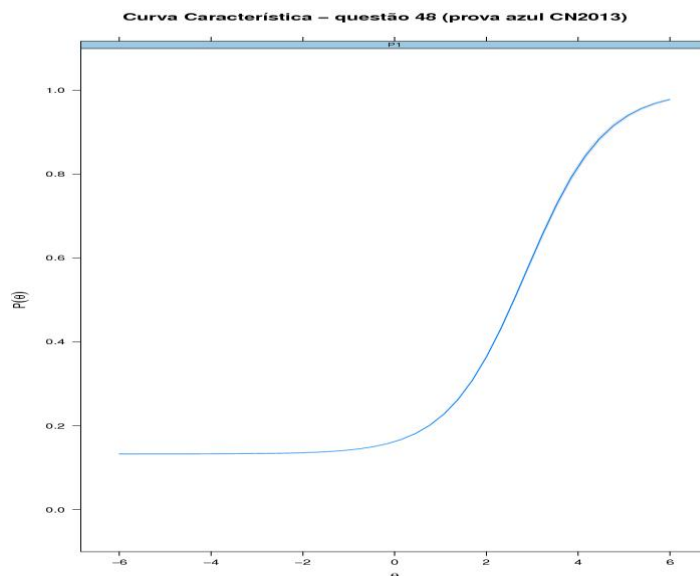
A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi

- A igual no aquecimento e igual no resfriamento.
- B maior no aquecimento e igual no resfriamento.
- C menor no aquecimento e igual no resfriamento.
- D maior no aquecimento e menor no resfriamento.
- E maior no aquecimento e maior no resfriamento.

**Figura 11.** A frequência das respostas por alternativas.

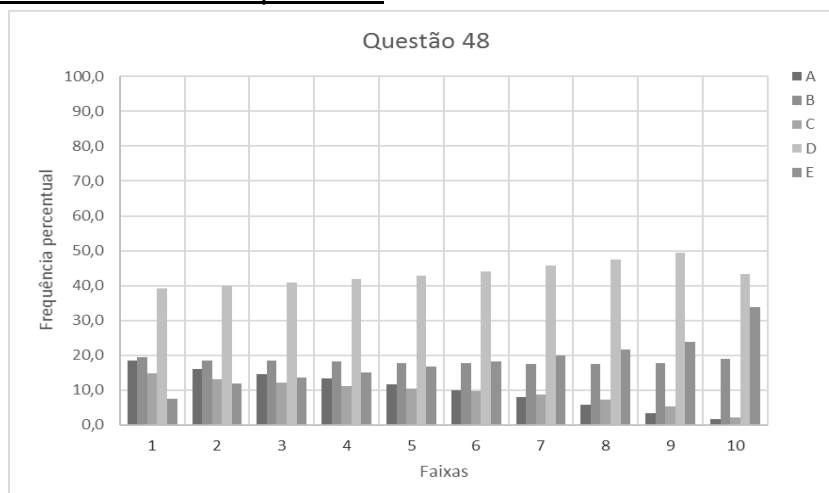
Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 1,17$ ;  $b = 2,86$ ;  $c = 0,13$ .



**Figura 12.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

### Frequência das alternativas por faixa



**Figura 13.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas.

### Discussão do item

- A pergunta feita na questão solicita a relação entre as taxas de variação da temperatura, o que seria impossível de estabelecer com esses dados; a pergunta deveria ser sobre as variações de temperatura.
- As variações de temperatura ocorrem entre dois momentos diferentes, aquecimento e resfriamento até a temperatura ambiente (temperatura inicial).
- A opção D indica que corpos escuros “retêm mais calor” por mais tempo do que corpos claros; isso justifica uma preferência por esse distrator, tanto na análise geral, quanto na análise por faixas de aptidão dos estudantes.
- Pode-se observar que a partir da faixa 6 o gabarito passa a ser a segunda opção mais marcada pelos candidatos, o que mostra que boa parte dos alunos de maior proficiência conseguem identificar a relação correta.

### Diagnóstico

- As respostas que indicam maior aquecimento para o corpo escuro do que para o corpo claro (opções B, D e E) são escolhidas por 81% dos concluintes.
- Não parece existir a compreensão que um bom receptor será também um bom emissor de calor; se o corpo escuro absorve mais calor e, por consequência, tem uma maior variação de temperatura, isso ocorrerá tanto no aquecimento quanto no resfriamento.

- O desempenho dos alunos neste item indica que há uma percepção entre os estudantes que corpos escuros tendem a “acumular” mais calor do que corpos claros. A compreensão do conceito de calor não é de uma forma de energia em fluxo entre os corpos mas de algo que pode ser acumulado por eles, como o “fluido calórico” de Lavoisier.

### 3. Questão 52

A questão 52 explora propriedades de ondas eletromagnéticas. Na Figura 14, apresentamos o texto da questão, na Figura 16 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 17 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 18 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle.</p>	<p>A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> A terem fases opostas.</li><li><input type="radio"/> B serem ambas audíveis.</li><li><input type="radio"/> C terem intensidades inversas.</li><li><input type="radio"/> D serem de mesma amplitude.</li><li><input checked="" type="radio"/> E terem frequências próximas.</li></ul>
---	---

Figura 14. O texto da questão 52.

#### Competência e Habilidade

C5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

#### Resolução

- Os efeitos da superposição de ondas (interferência) são observadas de forma mais efetiva quando as frequências das ondas envolvidas são próximas, pois aparelhos emissores e receptores de ondas eletromagnéticas utilizam filtros de frequência de ondas portadoras.
- Alguns estudos indicam que celulares e assemelhados, ou *portable electronic devices (PED's)*, podem gerar interferência eletromagnética em aviônicos. Segundo Librantz e Librantz (2006),

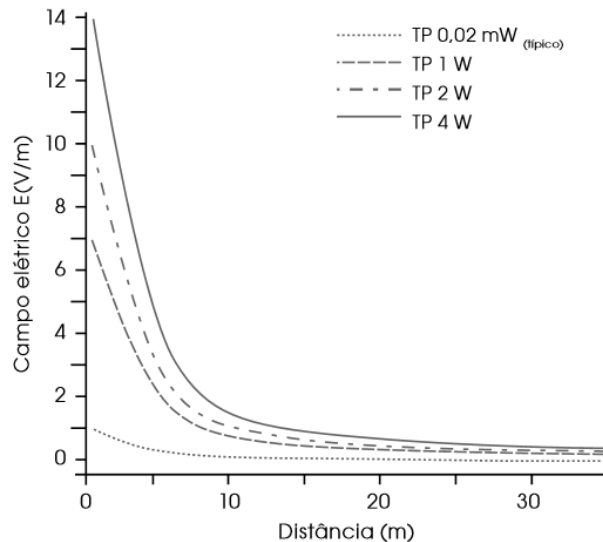
Entre os aparelhos suspeitos, estão laptops e palmtops, reprodutores e gravadores de áudio, jogos e brinquedos eletrônicos, laser pointers, celulares, rádios de comunicação e pagers. Desacoplamentos ou desvios de pilotos automáticos, indicações erráticas em displays e, até mesmo, o desligamento inadvertido da aviação ou variações não comandadas nas superfícies de comando.

Ainda nesse estudo, defendem que a relação entre a potência típica dos aparelhos e os campos elétricos gerados por eles não criam variações significativas em função da distância dos aviônicos; na Figura 4.12, é mostrada a dependência do campo elétrico com a distância para



aparelhos com diferentes potências, e os autores atestam que (LIBRANZ 2006):

Embora muitos casos de EMI, relatados no decorrer de anos, sejam creditados a esses PEDs, é muito difícil a confirmação do efeito, em razão da dificuldade de reprodução dos eventos.



**Figura 15.** Intensidade do campo elétrico em função da distância p/ potências típicas (fonte: LIBRANZ 2006)

- O estudo não é conclusivo quanto à responsabilidade dos PED's em gerar interferência eletromagnética nos equipamentos de navegação, mas indica que isso pode ocorrer independentemente da existência de contato entre esses PED's e antenas externas.
- A comunicação entre pilotos e torres de comando se dá na faixa de 118 a 136 MHz; aparelhos que operem nessa faixa podem gerar interferências e conseqüentemente falhas na comunicação. No entanto é interessante observar que telefones celulares 3G ou 4G, mais recentes no país, operam em faixa de frequência superior (entre 800 e 2500 MHz).
- A propriedade das ondas emitidas que pode justificar a solicitação de desligamento dos PED's dentro de aviões é, portanto, a frequência e a eventualidade da frequência ser próxima à utilizada pelos aviões.
- O gabarito apresentado pelo Inep corresponde à letra E.

## Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,1
Nulo	0,2
A	8,4
B	9,1
C	12,4
D	13,7
E	56,1
Total	100,0

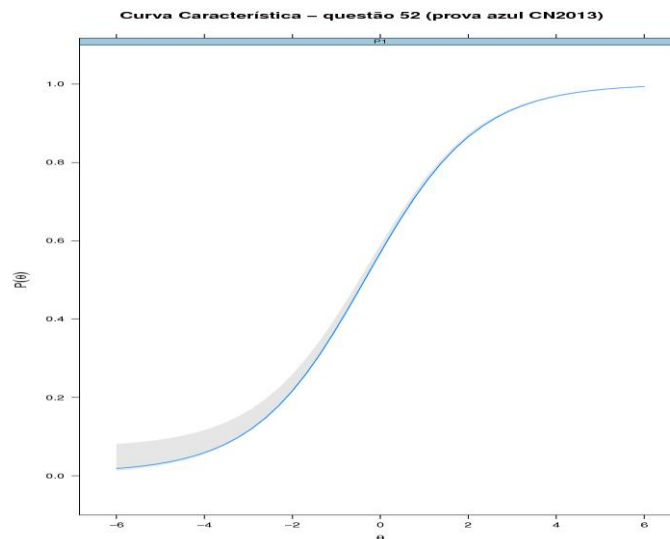
A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de

- A terem fases opostas.
- B serem ambas audíveis.
- C terem intensidades inversas.
- D serem de mesma amplitude.
- E terem frequências próximas.

**Figura 16.** A frequência das respostas por alternativas.

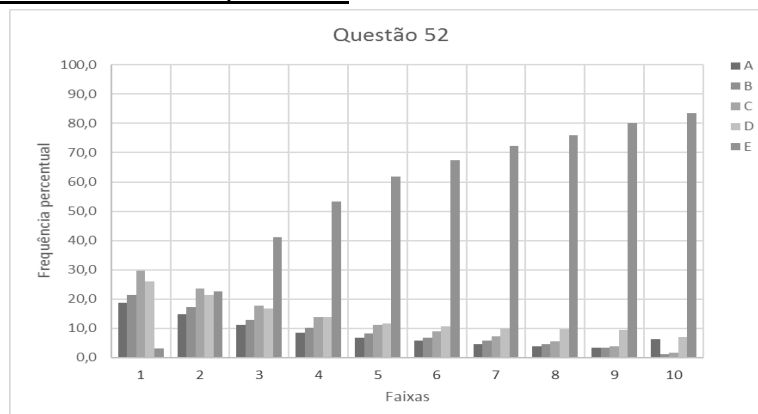
## Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 0,79$ ;  $b = -0,34$ ;  $c = 0,01$ .



**Figura 17.** A curva característica do item.

## Frequência das alternativas por faixa



**Figura 18.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item

- A correlação entre transmissões de rádio e frequência é objeto de muito debate e é difundida na educação básica, tornando o item de baixa dificuldade, como indicado na CCI.
- As características mais mencionadas em relação a fenômenos ondulatórios são frequência e intensidade.

### Diagnóstico

- Verificamos no gráfico de escolha das alternativas por faixas, na Figura 4.15, que a partir da segunda faixa a opção correta (letra E) atrai mais de 40% dos candidatos. À medida que observamos o desempenho de alunos com escores mais altos (faixas mais elevadas), o percentual de acertos aumenta.
- Essa análise sugere que os alunos percebem a relação entre o fenômeno de interferência ondulatória e a frequência, mesmo que não tenham amplo entendimento desses conceitos.

#### 4. Questão 57

A questão 57 propõe uma discussão relativa a efeitos experimentais em hidrodinâmica elementar. Na Figura 19, apresentamos o texto da questão, na Figura 20 uma foto do experimento realizado correspondente à questão, na Figura 21 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 22 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 23 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.


<p>Para realizar um experimento com uma garrafa PET cheia d'água, perfurou-se a lateral da garrafa em três posições a diferentes alturas. Com a garrafa tampada, a água não vazou por nenhum dos orifícios, e, com a garrafa destampada, observou-se o escoamento da água conforme ilustrado na figura.</p> 	<p>Como a pressão atmosférica interfere no escoamento da água, nas situações com a garrafa tampada e destampada, respectivamente?</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="radio"/> A Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.</li><li><input type="radio"/> B Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.</li><li><input type="radio"/> C Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.</li><li><input type="radio"/> D Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; regula a velocidade de escoamento, que só depende da pressão atmosférica.</li><li><input type="radio"/> E Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.</li></ul>
--	---

Figura 19. O texto da questão 57.

#### Competência e habilidade

C5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

#### Resolução

- A questão está incorreta, tanto no que se refere à garrafa destampada quanto à garrafa tampada.
- Quando a garrafa está tampada, e há mais de um furo, há escape de água, conforme apresentado nas imagens do experimento [LANG 2014b] e discutido cuidadosamente no artigo de Rodrigues [RODRIGUES 2014].

- Com a garrafa destampada, a imagem apresentada na questão sugere que o alcance dos jatos emitidos em diferentes alturas teriam valores proporcionais à sua pressão hidrostática. Isso não é correto.
- A pressão em cada ponto do líquido depende da sua pressão hidrostática, mas isso não assegura uma maior velocidade de lançamento. Existem diversas variáveis que podem influenciar nesse valor, tal como a área de seção transversal do furo, a viscosidade do líquido e a altura do furo no lançamento, considerado horizontal. O assunto foi analisado em uma dissertação de mestrado da UFRJ [PLAUSKA 2013].
- A foto apresentada na Figura 4.17, feita por S. Benvenuti [LANG 2014b], mostra o comportamento dos jatos na prática.



**Figura 20.** Jatos de água em garrafa PET [LANG 2014]

- Ainda nesses comentários, Lang [2014b] afirma:  
 NÃO há diferença de pressão entre pontos de um fluido estático se tais pontos estiverem no mesmo nível, isto é, se estiverem sobre uma superfície equipotencial gravitacional (neste caso uma superfície horizontal). Portanto se a pressão externa à garrafa junto a um orifício for maior do que a pressão interna, o ar seria forçado para dentro da garrafa. E sendo menor, a água é forçada para fora da garrafa. Para a água não sair por um orifício, a pressão externa e a pressão interna no orifício devem ter o mesmo valor. Entretanto não existe uma única pressão interna à garrafa pois a pressão dentro da garrafa é variável espacialmente, ao longo da coluna de água. Entre dois pontos em níveis diferentes de um fluido, o ponto superior se encontra a uma pressão MENOR que o ponto inferior.
- Em resumo, a questão não possui resposta correta, e apresenta uma incorreção no seu texto base.

## Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,1
Nulo	0,1
A	11,4
B	28,4
C	26,3
D	18,9
E	14,7
Total	100,0

Como a pressão atmosférica interfere no escoamento da água, nas situações com a garrafa tampada e destampada, respectivamente?

- A Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.
- B Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- C Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- D Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; regula a velocidade de escoamento, que só depende da pressão atmosférica.
- E Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.

Figura 21. A frequência das respostas por alternativas.

## Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 3,42$ ;  $b = 2,66$ ;  $c = 0,11$ .

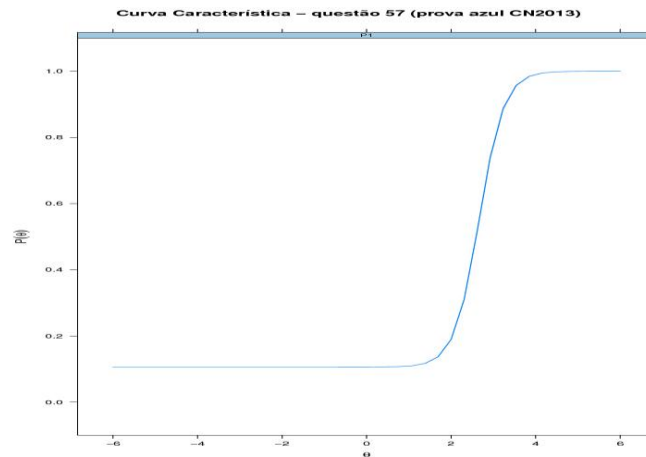


Figura 22. A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

## Frequência das alternativas por faixa

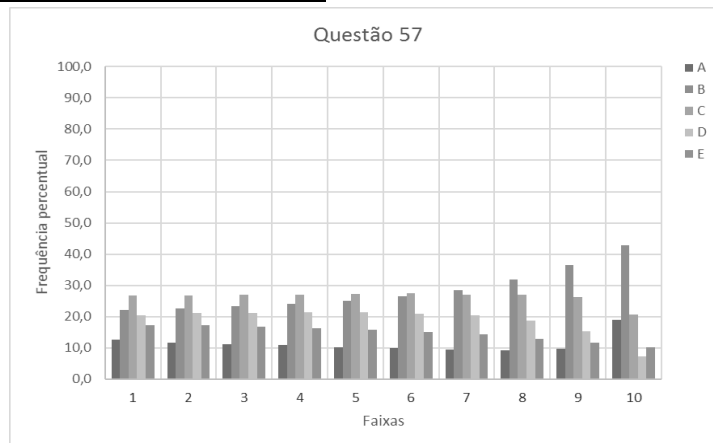


Figura 23. A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas.

### Discussão do item

- Todas as opções apresentam basicamente a mesma ideia, que a pressão atmosférica pode impedir a saída da água.
- As alternativas apresentam a ideia que a pressão atmosférica se altera significativamente em pequenas variações de altura, e que a pressão hidrostática é tanto maior quanto maior for a profundidade. Justificativa que fica alinhada à figura apresentada, onde o jato teria um alcance maior por ter maior pressão hidrostática.

### Diagnóstico

- Apesar da questão estar incorreta, podemos identificar alguns aspectos sobre a aprendizagem em hidrostática.
- Os distratores escolhidos com maior frequência apresentam a ideia de que a *“velocidade de escoamento é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo”*, totalizando 55% das marcações, evidenciando a ideia de que a pressão atmosférica se altera de forma significativa ao longo de pequenas variações de alturas, como a altura da garrafa.
- Isso indica que os candidatos não entendem bem como funciona a pressão atmosférica.

## 5. Questão 61

A questão 61 propõe uma discussão relativa ao funcionamento de elevadores hidráulicos. Na Figura 24, apresentamos o texto da questão, na Figura 25 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 26 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 27 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Para oferecer acessibilidade aos portadores de dificuldades de locomoção, é utilizado, em ônibus e automóveis, o elevador hidráulico. Nesse dispositivo é usada uma bomba elétrica, para forçar um fluido a passar de uma tubulação estreita para outra mais larga, e dessa forma acionar um pistão que movimentará a plataforma. Considere um elevador hidráulico cuja área da cabeça do pistão seja cinco vezes maior do que a área da tubulação que sai da bomba. Desprezando o atrito e considerando uma aceleração gravitacional de <math>10 \text{ m/s}^2</math>, deseja-se elevar uma pessoa de <math>65 \text{ kg}</math> em uma cadeira de rodas de <math>15 \text{ kg}</math> sobre a plataforma de <math>20 \text{ kg}</math>.</p>	<p>Qual deve ser a força exercida pelo motor da bomba sobre o fluido, para que o cadeirante seja elevado com velocidade constante?</p> <p><input type="radio"/> A 20 N</p> <p><input type="radio"/> B 100 N</p> <p><input checked="" type="radio"/> C 200 N</p> <p><input type="radio"/> D 1 000 N</p> <p><input type="radio"/> E 5 000 N</p>
--	---

Figura 24. O texto da questão 61.

### Competência e habilidade

C1– Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H2 – Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

### Resolução

- Em um elevador hidráulico, supõe-se que um fluido conecta dois extremos de uma tubulação; um desses extremos sustenta uma plataforma de apoio para cadeira de rodas. Pelo princípio de Pascal sabemos que a pressão hidrostática depende exclusivamente da altura; se os dois lados do tubo estão à mesma altura, e como a pressão corresponde à razão entre o módulo da força aplicada e a área, tem-se

$$\frac{|\vec{F}_1|}{A_1} = \frac{|\vec{F}_2|}{A_2}$$

- Para que o elevador que porta um cadeirante suba com velocidade constante é necessário que o somatório das forças sobre o conjunto plataforma mais cadeirante seja nulo. Aplicando os valores dados,



escrevendo  $\vec{F}_c$  para a força do fluido sobre a plataforma e  $\vec{P}_c$  para o peso do conjunto,

$$\vec{F}_c + \vec{P}_c = 0;$$

e, em módulo,

$$|\vec{F}_c| = (65 + 15 + 20) \cdot 10 = 1000N$$

- Se  $\vec{F}_b$  representa a força do pistão sobre a bomba, voltando ao princípio de Pascal com razão entre as áreas  $A_c/A_b = 5$ ,

$$\frac{|\vec{F}_b|}{5} = \frac{|\vec{F}_c|}{1} \Rightarrow 5|\vec{F}_b| = 1000 \Rightarrow |\vec{F}_b| = 200N.$$

- O gabarito apresentado pelo Inep corresponde à resposta C.

#### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,1
A	7,9
B	22,3
C	27,6
D	33,2
E	8,7
Total	100,0

Qual deve ser a força exercida pelo motor da bomba sobre o fluido, para que o cadeirante seja elevado com velocidade constante?

- A 20 N
- B 100 N
- C 200 N
- D 1 000 N
- E 5 000 N

Figura 25. A frequência das respostas por alternativas.

#### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 4,98$ ;  $b = 2,34$ ;  $c = 0,27$ .

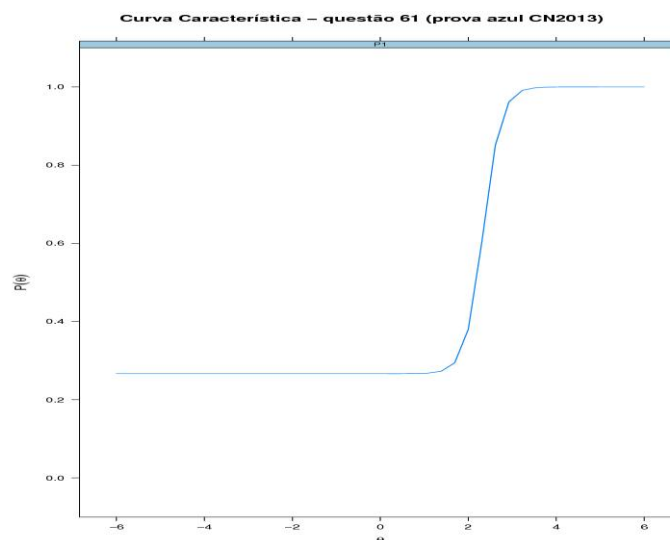
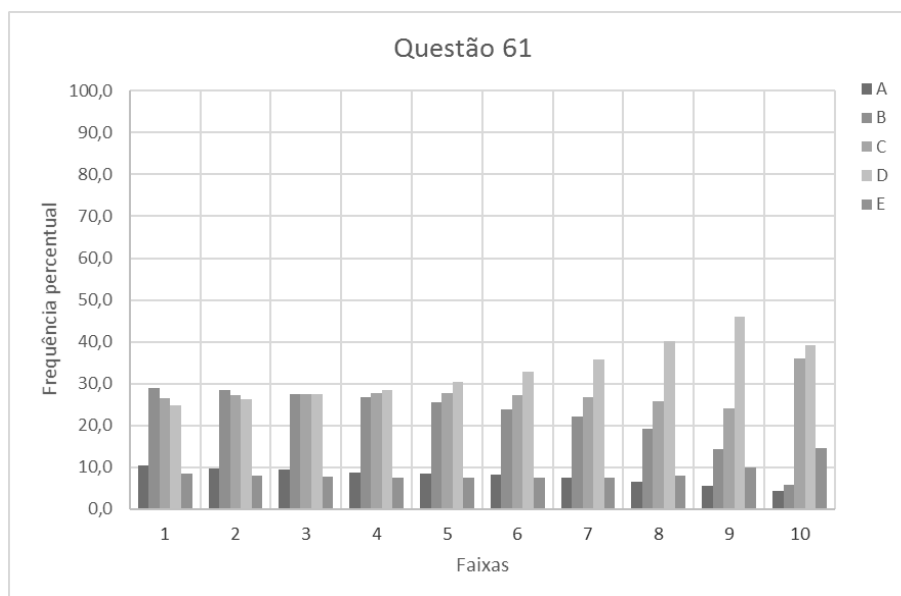


Figura 26. A curva característica do item (fonte: G.Rubini).

## Frequência das alternativas por faixa



**Figura 27.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

## Discussão do item

- As alternativas apresentam respostas numéricas.
- Questões que requerem conhecimentos específicos e manipulações algébricas em geral apresentam percentual de acerto mais baixo [GONÇALVES JR 2014] do que questões conceituais.

## Diagnóstico

- Verificamos que as alternativas mais escolhidas foram as opções que apresentavam a soma dos pesos, (D), escolhida por um terço dos concluintes, e a massa total, (B), escolhida por 22%. Nessas alternativas, não foi levado em consideração o princípio de Pascal, indicando a possibilidade que os estudantes façam uma manipulação algébrica direta dos dados numéricos.

## 6. Questão 65

A questão 65 refere-se a propriedades de ondas, a partir de uma “ola”. Na Figura 28, apresentamos o texto da questão, na Figura 29 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 30 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 31 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

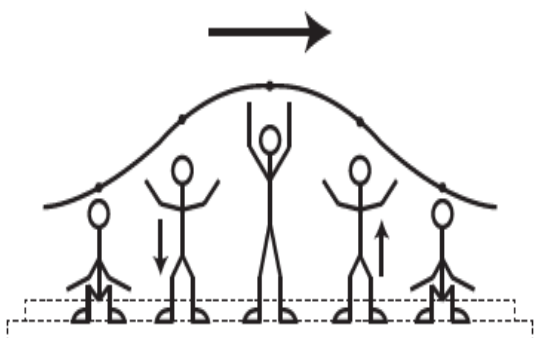
<p>Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a <i>ola mexicana</i>. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.</p> 	<p>Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é 45 km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80 cm.</p> <p>Disponível em: <a href="http://www.ufsm.br">www.ufsm.br</a>. Acesso em: 7 dez. 2012 (adaptado).</p> <p>Nessa <i>ola mexicana</i>, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de</p> <p><input type="radio"/> A 0,3. <input type="radio"/> B 0,5. <input checked="" type="radio"/> C 1,0. <input type="radio"/> D 1,9. <input type="radio"/> E 3,7.</p>
---	---

Figura 28. O texto da questão 65.

### Competência e habilidade

C1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H1 – Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

### Resolução

- Trata-se de uma questão de física ondulatória básica, na qual basta encontrar a frequência. Para isso, deve-se inicialmente determinar o comprimento da onda. É dada a informação que a onda completa um ciclo a cada 16 pessoas distanciadas 0,8m entre si; assim a onda terá comprimento de onda  $\lambda = (16 - 1) \cdot 0,8 = 12m$ . Se a velocidade de propagação da onda é de  $45km/h = 45 \times 10^3 m / 3,6 \times 10^3 s = 12,5m/s$ , podemos escrever para a frequência

$$f = v/\lambda \Rightarrow f = 12,5/12 s^{-1} = 1,04 Hz$$

- O gabarito apresentado pelo Inep corresponde à alternativa C.

### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,3
Nulos	0,1
A	11,5
B	22,0
C	18,3
D	30,3
E	17,4
Total	100,0

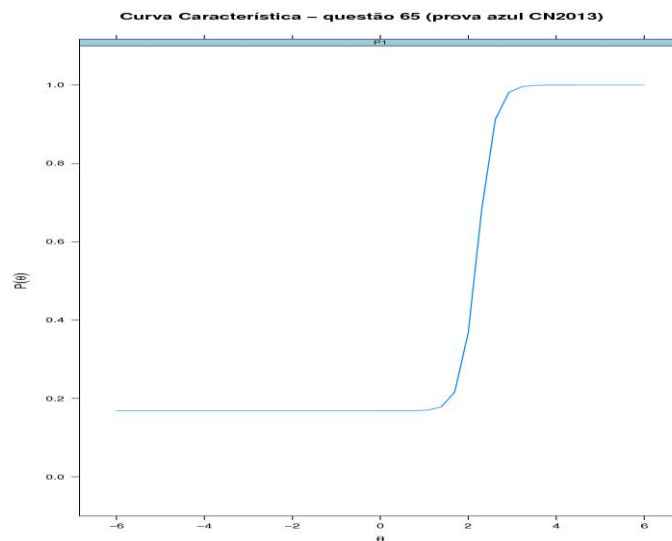
Nessa *ola* mexicana, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de

- A 0,3.
- B 0,5.
- C 1,0.
- D 1,9.
- E 3,7.

**Figura 29.** A frequência das respostas por alternativas.

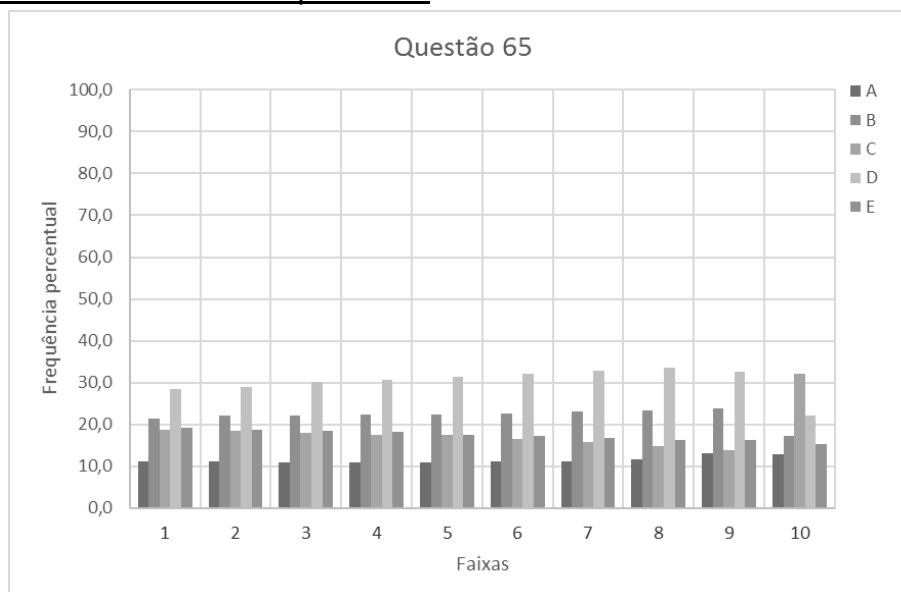
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 5,34$ ;  $b = 2,22$ ;  $c = 0,17$ .



**Figura 30.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

### Frequência das alternativas por faixa:



**Figura 31.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item

- As alternativas apresentam respostas numéricas.
- É possível observar que 52% das escolhas apresentam erros possíveis encontrados através de manipulações diretas com operações algébricas básicas dos valores apresentados.
- Na resposta D, o valor 1,9 é o mais próximo dentre as opções da divisão direta entre 80 cm e 45 km/h:  $80/45 = 1,78$ .
- Já na resposta B, o valor 0,5 é obtido na divisão direta dos valores 80 cm por de 16 pessoas, com erro na ordem de grandeza, muitas vezes ignorada pelos candidatos:  $80/16 = 5$ .

### Diagnóstico

- Observa-se que questões com mudanças de unidades e aplicações de fórmulas parecem ser muito difíceis para os estudantes. Nessa questão, o parâmetro de dificuldade corresponde a mais de 2 desvios padrão acima da média.
- A análise revela pouco, ou nenhum entendimento, relativo ao significado das grandezas, ou a relação entre elas, exigidos no item.

## 7. Questão 66

A questão 66 aborda a relação entre velocidades angular e linear, usando polias. Na Figura 32, apresentamos o texto da questão, na Figura 33 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 34 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 35 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

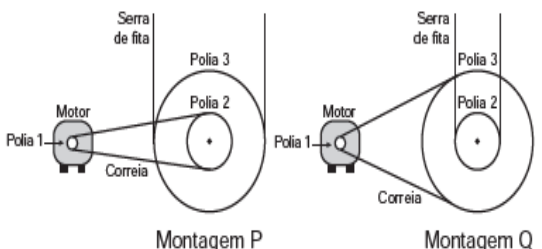
<p>Para serrar ossos e carnes congeladas, um açougueiro utiliza uma serra de fita que possui três polias e um motor. O equipamento pode ser montado de duas formas diferentes, P e Q. Por questão de segurança, é necessário que a serra possua menor velocidade linear.</p>  <p>Por qual montagem o açougueiro deve optar e qual a justificativa desta opção?</p>	<p><b>A</b> Q, pois as polias 1 e 3 giram com velocidades lineares iguais em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.</p> <p><b>B</b> Q, pois as polias 1 e 3 giram com frequências iguais e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.</p> <p><b>C</b> P, pois as polias 2 e 3 giram com frequências diferentes e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.</p> <p><b>D</b> P, pois as polias 1 e 2 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver menor raio terá maior frequência.</p> <p><b>E</b> Q, pois as polias 2 e 3 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.</p>
--	---

Figura 32. O texto da questão 66.

### Competência e habilidade

C2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H7 – Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

### Resolução

- Esse item apresenta um texto confuso, porém é possível entender a condição requerida na operação do equipamento: ele deve apresentar a menor velocidade linear possível na serra.
- Isso ocorrerá quando o motor (polia 1), de frequência constante, for acoplado por meio de uma correia à maior polia, gerando assim menor frequência de rotação nessa polia, já que todos os pontos da correia de transmissão apresentam mesma velocidade linear  $\omega_1 R_1$ , onde  $R_i$  é o raio

da polia  $i$  ( $i=1,2,3$ ). Na montagem P,  $\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$ , e na montagem Q,  $\omega_1 R_1 = \omega_3 R_3$ . As polias 2 e 3 são solidárias, com a mesma velocidade angular  $\omega_2 = \omega_3$  nas duas montagens.

- Na montagem P, a serra possui velocidade  $v = \omega_3 R_3 = \omega_2 R_3$  e  $v = \omega_3 R_3 = (\omega_1 R_1 / R_2) R_3 = \omega_1 R_1 (R_3 / R_2) > \omega_1 R_1$ .
- Na montagem Q, a serra possui velocidade  $v = \omega_2 R_2 = \omega_3 R_2$  e  $v = \omega_3 R_2 = (\omega_1 R_1 / R_3) R_2 = \omega_1 R_1 (R_2 / R_3) < \omega_1 R_1$ .
- Deve-se acoplar portanto a polia 1 à polia 3, com menor frequência de rotação, e a serra na polia 2, de menor raio e menor velocidade linear. Assim a montagem Q é a mais indicada.
- A resposta correta corresponde à alternativa A.

### Frequência das respostas por alternativas

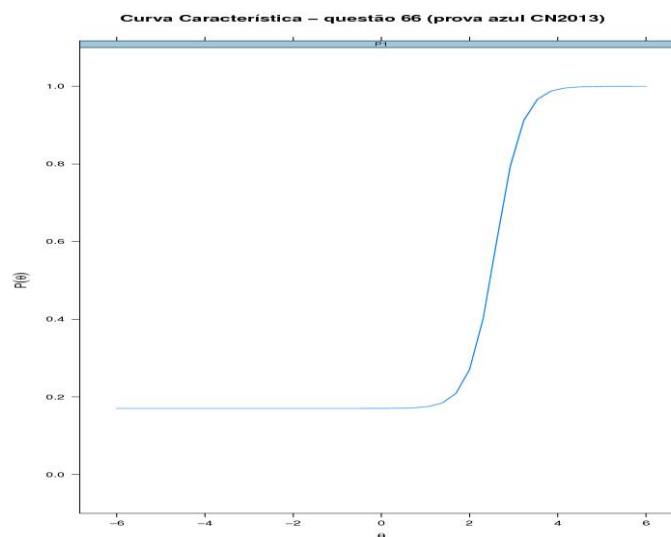
RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,1
A	17,9
B	21,3
C	22,9
D	16,9
E	20,5
Total	100,0

- Ⓐ Q, pois as polias 1 e 3 giram com velocidades lineares iguais em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.
- Ⓑ Q, pois as polias 1 e 3 giram com frequências iguais e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.
- Ⓒ P, pois as polias 2 e 3 giram com frequências diferentes e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.
- Ⓓ P, pois as polias 1 e 2 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver menor raio terá maior frequência.
- Ⓔ Q, pois as polias 2 e 3 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.

**Figura 33.** A frequência das respostas por alternativas.

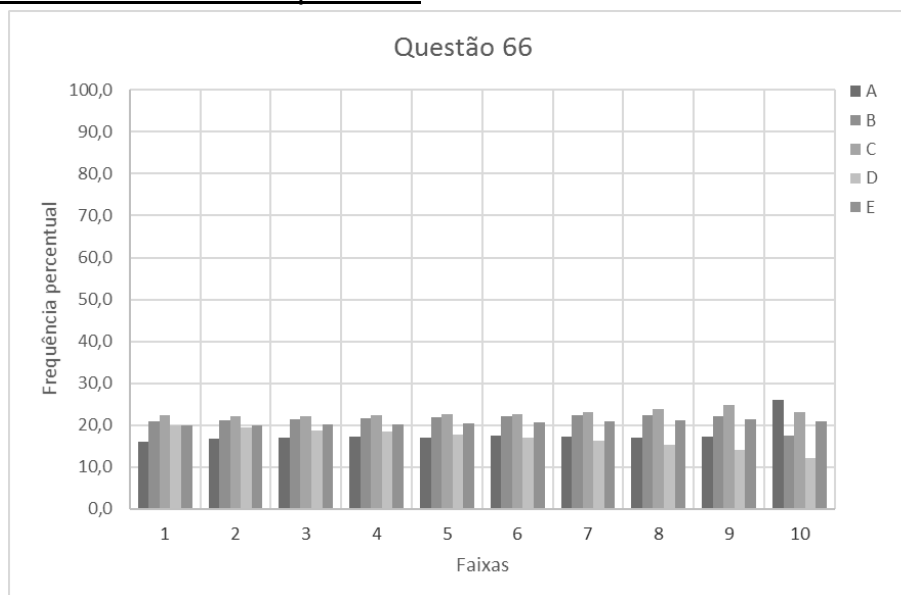
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 3,35$ ;  $b = 2,59$ ;  $c = 0,17$ .



**Figura 34.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

## Frequência das alternativas por faixa



**Figura 35.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item:

- A questão revela-se muito difícil (cerca de 2,5 desvios padrão acima da média), e a Figura 4.32 indica que todas as alternativas são marcadas de forma similar em praticamente todas as faixas de desempenho.
- A relação entre as velocidades em diferentes pontos da correia, a relação entre a velocidade e o raio da polia, e a relação entre velocidade e frequência são apresentados nas opções.

### Diagnóstico

- As opções mais marcadas, B e C (com 44,1% das escolhas), mencionam no texto “a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico”, sugerindo uma relação inversa entre velocidade angular e velocidade, o que sugere que a maior parte dos candidatos não entende adequadamente os conceitos associados à cinemática da rotação.
- Os resultados indicam uma tentativa de resolução do item por interpretação do texto desconsiderando conceitos físicos, ou seja, apenas observando o distrator que apresenta a expressão “menor velocidade”.
- Isso evidencia uma dificuldade na compreensão da relação entre velocidade linear, angular e frequência.



## 8. Questão 72

A questão 72 discute aspectos de instalações elétricas residenciais. Na Figura 36, apresentamos o texto da questão, na Figura 37 a configuração adequada para colocação dos instrumentos de medida na instalação elétrica, na Figura 38 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 39 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 40 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

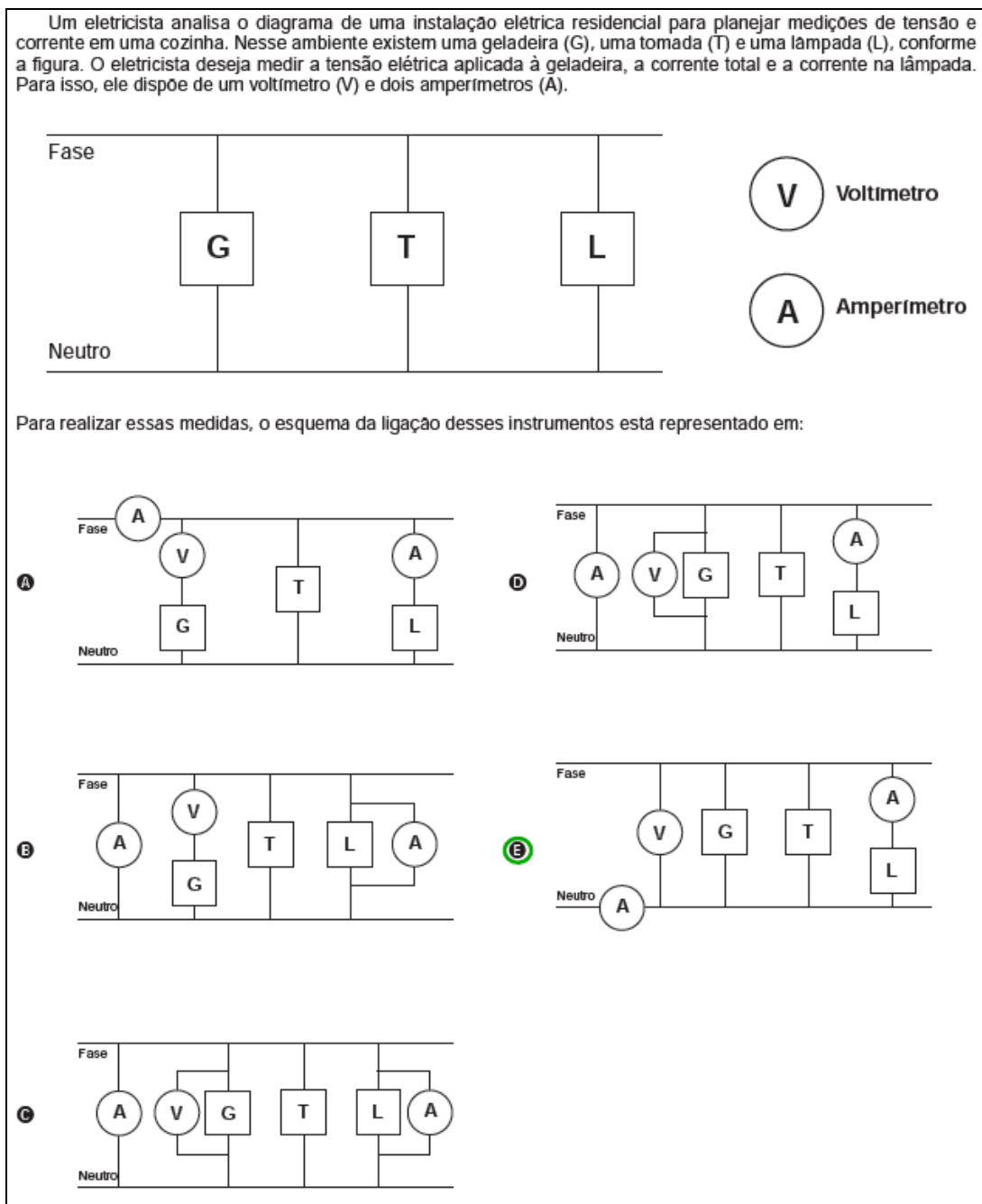


Figura 36. O texto da questão 72.

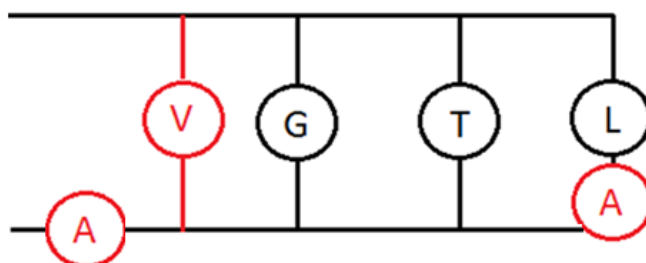
### Competência e habilidade

C2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

### Resolução

- A colocação correta de aparelhos de medidas nos circuitos elétricos pressupõe o conhecimento do funcionamento de voltmímetro e amperímetros, que devem ser colocados respectivamente em paralelo e em série aos elementos dos quais se quer obter a medida de tensão ou corrente.
- Para medir a tensão na geladeira G, a corrente da lâmpada L e a corrente total do circuito, a configuração adequada está indicada na Figura 37.



**Figura 37.** A configuração dos instrumentos de medida na instalação.

- O esquema que representa esse tipo de ligação está melhor representado na alternativa E.

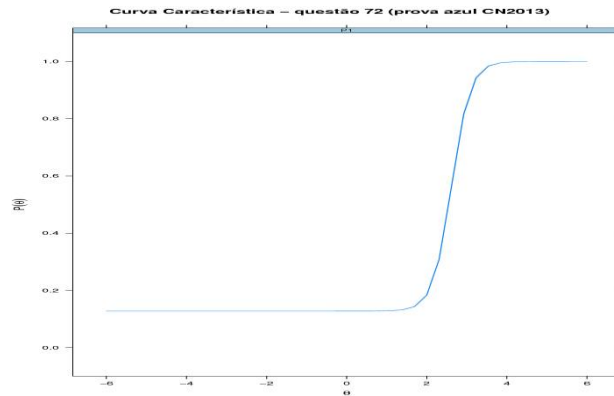
### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,1
A	15,1
B	16,8
C	34,6
D	19,7
E	13,4
Total	100,0

**Figura 38.** A frequência das respostas por alternativas.

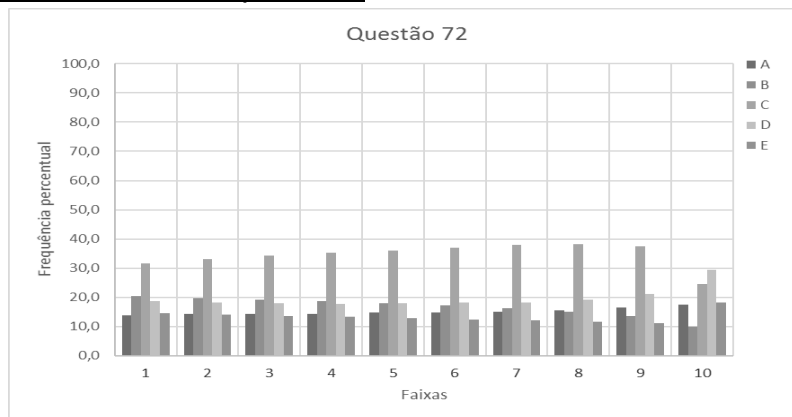
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 4,34$ ;  $b = 2,62$ ;  $c = 0,13$ .



**Figura 39.** A curva característica do item.

### Frequência das alternativas por faixa



**Figura 40.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item

- A opção E (o gabarito) foi menos marcada, e a opção C, com os instrumentos ligados em paralelo, foi a mais marcada (por faixa).
- As opções B, C e D indicam o amperímetro que mede a corrente total no circuito em paralelo, e foram escolhidas por mais de 70% dos estudantes. Nessas três opções, há um curto entre a fase e o neutro do circuito, o que evidencia a falta de entendimento que um amperímetro ideal (resistência nula) causaria esse efeito e que os aparelhos não funcionariam nessa configuração.

### Diagnóstico

- O desempenho na questão, evidenciado pela CCI, comprova a dificuldade dos candidatos com circuitos elétricos e suas representações.
- As escolhas mostram a falta de entendimento do tipo de ligação dos aparelhos, bem como dos conceitos de tensão e corrente elétrica.

## 9. Questão 75

A questão 75 propõe uma discussão a resistividade a partir de uma situação que menciona um chuveiro elétrico. Na Figura 41, apresentamos o texto da questão, na Figura 42 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 43 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 44 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>O chuveiro elétrico é um dispositivo capaz de transformar energia elétrica em energia térmica, o que possibilita a elevação da temperatura da água. Um chuveiro projetado para funcionar em 110 V pode ser adaptado para funcionar em 220 V, de modo a manter inalterada sua potência.</p> <p>Uma das maneiras de fazer essa adaptação é trocar a resistência do chuveiro por outra, de mesmo material e com o(a)</p>	<p><input type="radio"/> A dobro do comprimento do fio.</p> <p><input type="radio"/> B metade do comprimento do fio.</p> <p><input type="radio"/> C metade da área da seção reta do fio.</p> <p><input type="radio"/> D quádruplo da área da seção reta do fio.</p> <p><input checked="" type="radio"/> E quarta parte da área da seção reta do fio.</p>
--	--

Figura 41. O texto da questão 75.

### Habilidade e competência

C2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

### Resolução

- A pergunta refere-se a que a potência dissipada em calor nos dois casos seja a mesma; assim, devemos apresentar as características de uma resistência que satisfaça essa condição.
- Desconsiderando a variação da resistividade em função da temperatura e considerando as tensões com valores constantes nos dois casos, temos que  $P = U^2/R = U i$ . Com  $U_1 = 110V$  e  $U_2 = 220V$ , obtemos  $P_1 = P_2$  quando

$$\frac{110^2}{R_1} = \frac{220^2}{R_2} \Rightarrow R_2 = 4R_1$$

- Se a resistência na segunda situação deve ser quatro vezes maior que a resistência na primeira situação, usamos a relação entre resistência  $R$ , resistividade  $\rho$ , área  $A$  e comprimento  $\ell$

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

- Podemos afirmar que há duas formas da resistência na segunda situação cumprir essa exigência:
  - ter comprimento 4 vezes maior que a resistência da primeira situação; ou
  - ter área de seção transversal quatro vezes menor que a resistência da primeira situação; essa alternativa está apresentada na letra E, que é a opção correta nesse item.

### Frequência das respostas por alternativas

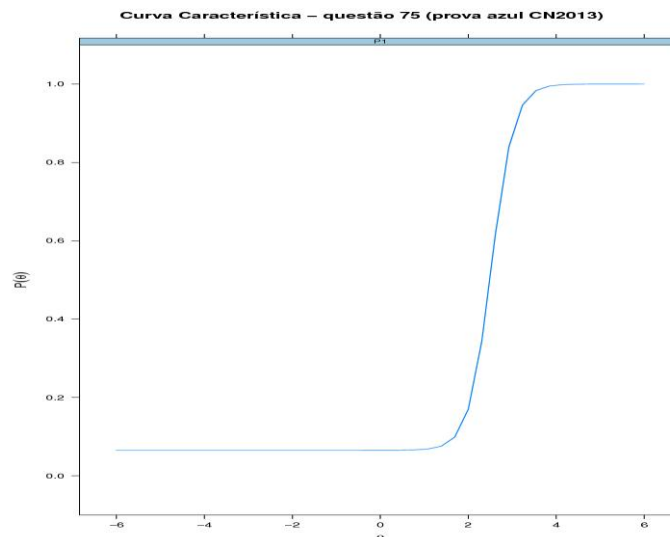
RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulo	0,1
A	42,9
B	20,6
C	16,4
D	12,2
E	7,5
Total	100,0

- A dobro do comprimento do fio.
- B metade do comprimento do fio.
- C metade da área da seção reta do fio.
- D quádruplo da área da seção reta do fio.
- E quarta parte da área da seção reta do fio.

**Figura 42.** A frequência das respostas por alternativas.

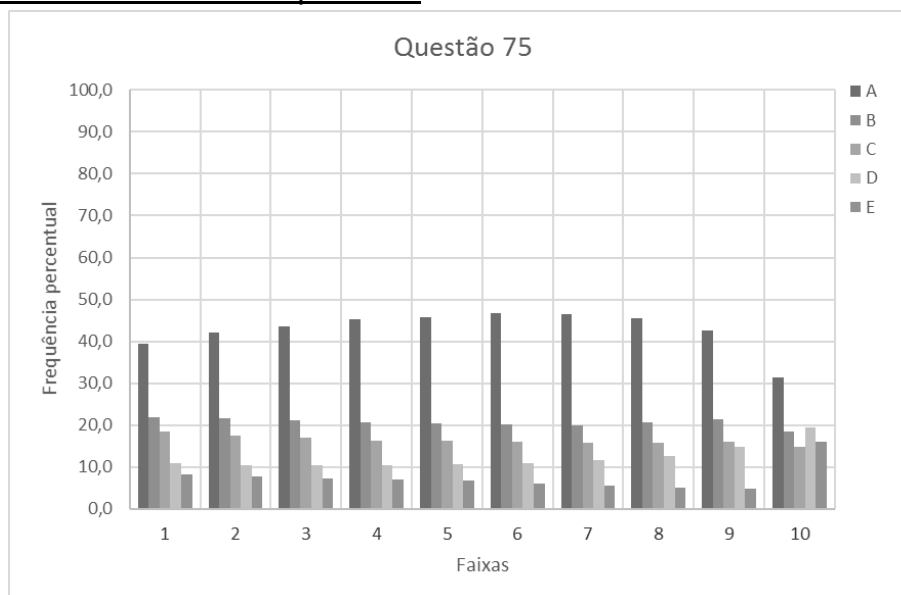
### Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 3,95$ ;  $b = 2,53$ ;  $c = 0,07$ .



**Figura 43.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

## Frequência das alternativas por faixa



**Figura 44.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item:

- Questões que necessitam mais de dois passos em sua resolução costumam ser muito difíceis para os candidatos. Nesse caso, usamos duas leis (potência elétrica e 2ª lei de Ohm) e uma relação entre elas.
- As duas alternativas mais marcadas, A e B, acumularam 63,5% e ambas apresentavam uma relação com o comprimento do fio (direta → o dobro ou inversa → a metade), o que era correlato ao fator de aumento da tensão, de 110V para 220V (duas vezes maior). A alternativa mais marcada foi a alternativa A (43%), inclusive para os alunos de alto desempenho. A alternativa menos escolhida foi a correta.
- Não é feita qualquer indicação de que deva-se desprezar os efeitos da temperatura sobre o resistor. No trecho da questão “é trocar a resistência por outra de mesmo material” deveria haver a observação “admitindo-se que a resistividade não dependa da temperatura” [LANG 2014].

### Diagnóstico

- Os resultados indicam a dificuldade da aplicação e correlação entre os conceitos potência e resistência elétrica, bem como dos fatores que influenciam a resistência.
- Os candidatos usam relações de proporcionalidade direta ou inversa (regra de três) ao desenvolver seu raciocínio em busca de uma alternativa.

## 10. Questão 76

A questão 76 aborda um tema considerado difícil, o do atrito. Na Figura 45, apresentamos o texto da questão, na Figura 46 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 47 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 48 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.</p> <p>Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?</p>	<p><input type="radio"/> A Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.</p> <p><input type="radio"/> B Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.</p> <p><input checked="" type="radio"/> C Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.</p> <p><input type="radio"/> D Horizontal e no mesmo sentido do movimento.</p> <p><input type="radio"/> E Vertical e sentido para cima.</p>
--	---

Figura 45. O texto da questão 46.

### Competência e habilidade

C6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

### Resolução

- A força de contato entre o plano e o pé da pessoa pode ser decomposta em duas forças ortogonais entre si, uma paralela ao plano do contato (atrito) e outra perpendicular à superfície de contato (normal).
- A força de atrito tem a direção paralela à superfície de contato, e aponta no sentido contrário a tendência do deslizamento entre o pé e o plano (para trás), independentemente da aceleração do centro de massa do corpo, pois esse não está sendo considerado um ponto material. Assim podemos dizer que a força de atrito apontará para frente, ou seja, terá o mesmo sentido do movimento.
- O gabarito é dado pela alternativa C.

### Frequência das respostas por alternativas

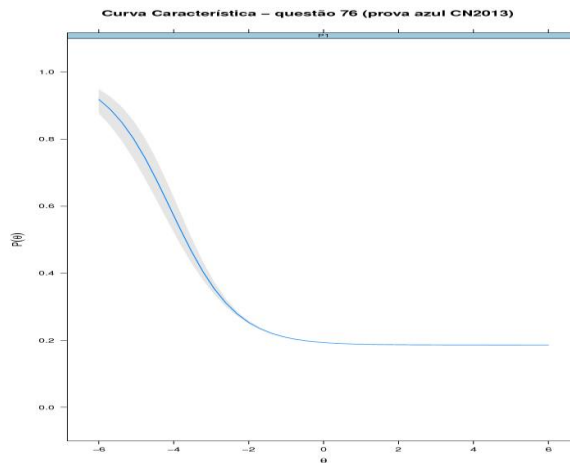
RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,2
A	16,7
B	30,1
C	19,9
D	14,3
E	18,7
Total	100,0

- A** Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- B** Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- C** Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- D** Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- E** Vertical e sentido para cima.

**Figura 47.** A frequência das respostas por alternativas.

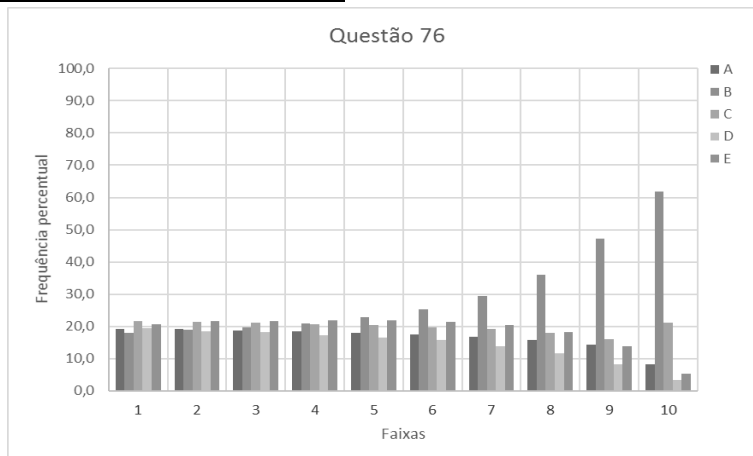
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = -1,15$ ;  $b = -4,09$ ;  $c = -0,19$ .



**Figura 4.44.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini). A faixa representa a incerteza na medida a partir do modelo.

### Frequência das alternativas por faixa



**Figura 48.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas



## Discussão do item

- Foram feitas algumas críticas a essa questão. O texto não informa se a velocidade é ou não constante, sem essa informação é impossível precisar o sentido da força resultante sobre o centro de massa do corpo [LANG 2014b]

Se a velocidade for variável, a aceleração em um dado momento pode ser orientada rampa acima ou rampa abaixo. (...) portanto para que a resposta seja (C - Paralela ao plano e no mesmo sentido do movimento) o enunciado deveria especificar ou que a velocidade é constante ou que a aceleração da pessoa tem orientação rampa acima.

- No entanto, no ato de andar a força de atrito sobre os pés é no mesmo sentido do movimento independentemente do sentido da força resultante aplicada ao centro de massa do corpo que em uma análise mais exata não pode ser considerado como um ponto material.
- Muitos alunos acreditam que as forças de atrito, sejam elas estáticas ou cinéticas, são sempre contrárias ao sentido do movimento de um corpo. Essa ideia não surgiu espontaneamente para o aluno em seu cotidiano; ela foi construída de forma incorreta no processo de aprendizagem, a partir da compreensão do aluno do discurso dos professores e de livros didáticos (que não se preocupam devidamente com os conceitos e realizam uma transposição didática simplista e inadequada). Segundo Caldas e Saltiel (1999)

Na maioria dos livros utilizados no ensino médio declara-se que uma força de atrito cinética se opõe ao sentido do movimento, sem especificar o referencial no qual é definido esse movimento: no melhor dos casos os autores eventualmente falam em termos de movimento relativo das superfícies em contato, mas os exemplos e exercícios resolvidos propostos são tais que o objeto estudado desloca-se, no referencial estudado, em uma superfície considerada fixa; assim o movimento relativo e o movimento do objeto no referencial considerado são idênticos.

- A opção mais marcada e que é a preferida em todas as faixas de notas apresenta no texto um fragmento que afirma que a força de atrito tinha sua direção “paralela ao plano e no sentido contrário ao movimento”.
- Todas as alternativas são escolhidas (por pelo menos 15%) pelos alunos, inclusive as que indica a força de atrito sendo vertical para cima.

### Diagnóstico:

- Os distratores A e C tiveram frequências de marcação próximas; isso indica que cerca de 17% dos candidatos não percebem a diferença entre perpendicular e paralelo.
- A CCI tem inclinação negativa; alunos de baixa aptidão têm mais chances de acertar essa questão que alunos de maior aptidão.
- Observa-se da Figura 4.45 que quanto maior a nota do aluno, maior o percentual de estudantes que escolhe a alternativa B, que afirma ser o atrito contrário ao movimento.
- Esse é um grande indicador de que esse tema é aprendido de forma incorreta. Os alunos com melhores escores aprendem que o atrito é sempre contrário ao movimento [CALDAS 1999].

## 11. Questão 79

A questão 79 avalia conceitos básicos sobre estabelecimento de correntes elétricas. Na Figura 49, apresentamos o texto da questão, na Figura 50 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 51 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 52 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.</p>	<p>De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> A o fluido elétrico se desloca no circuito.</li><li><input type="radio"/> B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.</li><li><input type="radio"/> C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.</li><li><input checked="" type="radio"/> D o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.</li><li><input type="radio"/> E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.</li></ul>
--	--

**Figura 49.** O texto da questão 79.

### Competência e habilidade

C1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

### Resolução

- Quando em um circuito elétrico existe uma diferença de potencial entre os polos da fonte, a corrente elétrica se estabelece devido à existência de um campo elétrico que é gerado instantaneamente em todo o circuito condutor; assim os elétrons livres se movem em todos os pontos do circuito simultaneamente, seja de forma contínua ou alternada.
- As cargas entram em movimento quase que instantaneamente ao longo de todo campo elétrico estabelecido; a energia transportada pelas cargas é convertida nas lâmpadas em luz, que acarreta o acendimento da lâmpada.
- O fato da lâmpada acender quase instantaneamente está associado à geração do campo elétrico e não a um suposto deslocamento da carga da fonte até a lâmpada.
- O gabarito é a alternativa D.

Frequência das respostas por alternativas:

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,3
Nulos	0,2
A	18,7
B	13,1
C	13,6
D	19,4
E	34,8
Total	100,0

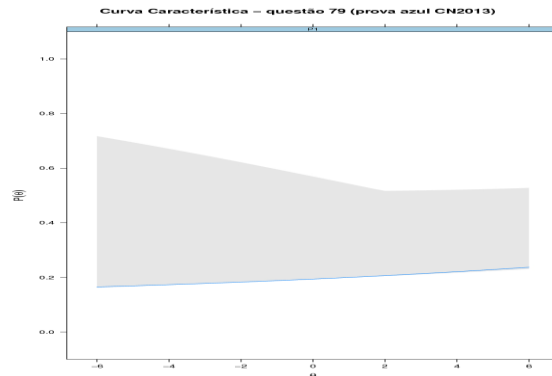
De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- A o fluido elétrico se desloca no circuito.
- B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- D o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

**Figura 50.** A frequência das respostas por alternativas.

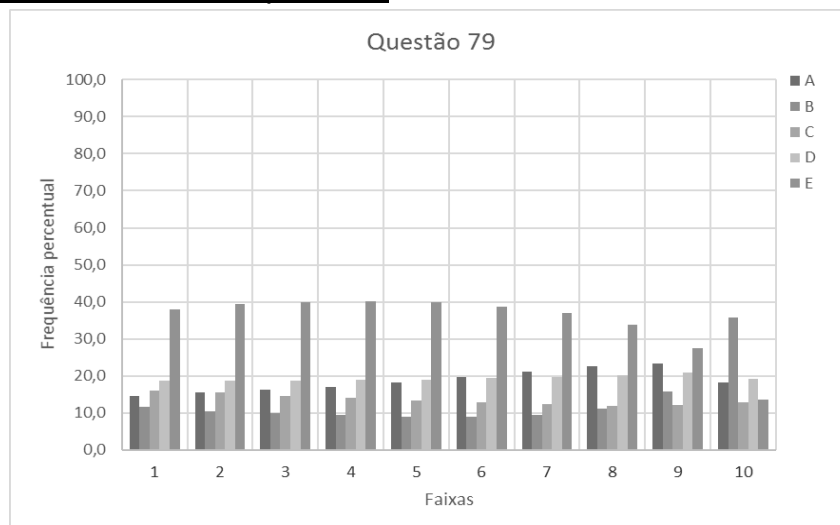
Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 0,08$ ;  $b = 28,24$ ;  $c = 0,12$ .



**Figura 51.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini). A região sombreada corresponde à incerteza no cálculo do modelo.

Frequência das alternativas por faixa



**Figura 52.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada faixa uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item

- O item apresenta a frase “*Associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar*”.
- O conceito de corrente elétrica como um fluido é muito forte dentre os alunos, o que é sugerido pelo distrator A, com 19% das escolhas. O comando da questão diz que “*o fato de a lâmpada acender quase que instantaneamente está relacionado com a rapidez com que...*” e a ideia de que as cargas têm alta velocidade reforça a atração desse distrator.
- A alternativa mais escolhida, D, com 35% das escolhas, apresenta uma visão de que há correntes de diferentes sentidos convergindo para a lâmpada.
- Mais uma vez a CCI não se comporta como esperado, e nesse caso a incerteza nos resultados é muito grande.

### Diagnóstico

- É bastante comum entre alunos a noção de que a corrente se perde na passagem de qualquer elemento em um circuito, em favor do funcionamento desse elemento.
- Muitos candidatos marcaram opções que falavam sobre colisões dentro de um filamento, que justificaria essa suposta “perda de corrente”.
- A escolha da alternativa E é dominante em todas as faixas de desempenho, exceto para os 10% dos alunos com maior escore, para os quais a escolha mais marcada corresponde ao distrator B, “as cargas negativas móveis atravessam o circuito”.
- Fica evidente pela análise por faixas de desempenho dos alunos de melhores escores, a ideia de que a corrente elétrica é o movimento de cargas negativas móveis.
- A questão não apresenta um comportamento adequado segundo o modelo da TRI.

## 12. Questão 82

A questão 82 aborda o tema de modos normais de vibração em uma corda. Na Figura 53, apresentamos o texto da questão, na Figura 54 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 55 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 56 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Em um piano, o Dó central e a próxima nota Dó (Dó maior) apresentam sons parecidos, mas não idênticos. É possível utilizar programas computacionais para expressar o formato dessas ondas sonoras em cada uma das situações como apresentado nas figuras, em que estão indicados intervalos de tempo idênticos (T).</p>	<p>A razão entre as frequências do Dó central e do Dó maior é de:</p>
	<p><input checked="" type="radio"/> A <math>\frac{1}{2}</math></p> <p><input type="radio"/> B 2</p> <p><input type="radio"/> C 1</p> <p><input type="radio"/> D <math>\frac{1}{4}</math></p> <p><input type="radio"/> E 4</p>

Figura 53. O texto da questão 46.

### Competência e habilidade

C1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H1 – Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

### Resolução:

- Os gráficos apresentados no texto base da questão não indicam claramente as grandezas medidas, e são reconhecidas como representações das ondas sonoras (ondas longitudinais). Apesar de não haver identificação das grandezas nos eixos das abscissas e das ordenadas, admite-se que as abscissas sejam o tempo.
- Na observação direta dos diagramas, é possível verificar que no período no qual se estabelece uma oscilação completa do “dó central” ocorrem duas oscilações do “dó maior”. Observa-se aqui uma incorreção: dó maior é um acorde, e não uma nota musical uma oitava acima do “dó central”.
- Não levando em conta esta incorreção, pode-se utilizar a relação entre período e frequência para uma onda:  $T = 1/f$ . Usa-se o índice “c” para indicar o dó central e o índice “m” para indicar o dó uma oitava acima,

$$T_c = 2T_m \Rightarrow 1/f_c = 2(1/f_m) \Rightarrow 2f_c = f_m$$

o que fornece para a razão solicitada o valor  $f_c/f_m = 1/2$ , que corresponde à alternativa A, o gabarito fornecido pelo INEP.

Frequência das respostas por alternativas:

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,3
Nulos	0,1
A	34,6
B	19,3
C	12,3
D	27,7
E	5,8
Total	100,0

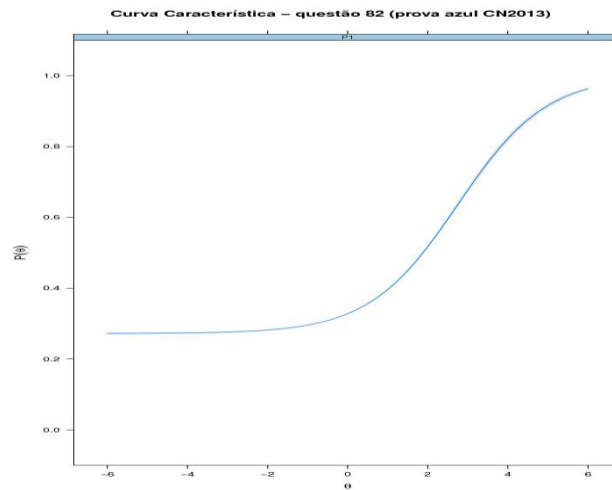
A razão entre as frequências do Dó central e do Dó maior é de:

- A  $\frac{1}{2}$
- B 2
- C 1
- D  $\frac{1}{4}$
- E 4

**Figura 54.** A frequência das respostas por alternativas.

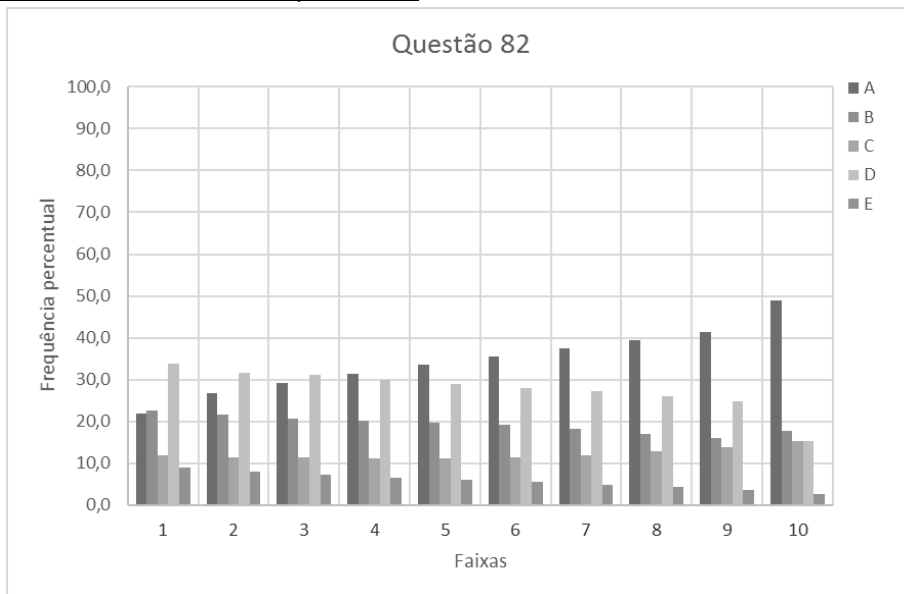
Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 0,91$ ;  $b = 2,75$ ;  $c = 0,27$ .



**Figura 55.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

## Frequência das alternativas por faixa



**Figura 56.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

## Discussão do item

- As duas opções escolhidas com maior frequência pelos estudantes foram A e D (62,3%), as que indicavam uma razão menor que 1 como resposta. Isso mostra que a maior parte dos candidatos identifica que o período do “dó central” era maior que o período do “dó maior”.
- Apesar do gabarito ser a opção mais marcada (36%), a questão é considerada difícil, com dificuldade superior a 2,7 desvios padrão acima da média.
- Observa-se na questão pelo menos duas incorreções: a não especificação das grandezas utilizadas nos gráficos [LANG 2014] e a denominação confusão entre acordes e notas musicais.

## Diagnóstico:

- A partir da segunda faixa, os distratores mais atrativos são os que indicam valores menores que 1, evidenciando a identificação da relação inversa entre frequência e período pela maior parte dos candidatos.



### 13. Questão 83

A questão 83 aborda circuitos e instrumentos elétricos. Na Figura 57, apresentamos o texto da questão, na Figura 4.54 destaca-se o esquema do circuito, na Figura 59 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 60 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 61 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

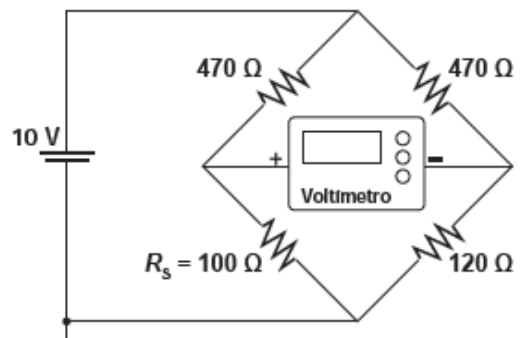
<p>Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito (<math>R_s</math>) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.</p> 	<p>Para um valor de temperatura em que <math>R_s = 100 \Omega</math>, a leitura apresentada pelo voltímetro será de</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> A + 6,2 V.</li><li><input type="radio"/> B + 1,7 V.</li><li><input type="radio"/> C + 0,3 V.</li><li><input checked="" type="radio"/> D - 0,3 V.</li><li><input type="radio"/> E - 6,2 V.</li></ul>
---	---

Figura 57. O texto da questão 46.

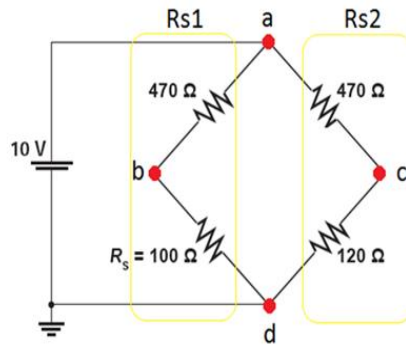
#### Competência e habilidade

C2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

#### Resolução

- No circuito representado no item, Figura 4.54, não é mencionado se o voltímetro é ou não ideal, hipótese feita aqui. Na Figura 4.55, apresentamos novamente o esquema do circuito.
- Para o valor de  $R_s = 100 \Omega$ , entre os pontos  $a$  e  $d$  indicados na Figura 4.55, há duas resistências em paralelo compostas pelas resistências em série  $R_{S1}=(470+100)\Omega= 570 \Omega$  e  $R_{S2}=(470+120)\Omega= 590 \Omega$ . A resistência equivalente entre  $a$  e  $b$  vale aproximadamente  $280 \Omega$ .



**Figura 58.** O esquema do circuito.

- Verificamos que a ddp entre  $b$  e  $c$  será determinada pelo voltímetro através do cálculo da corrente em cada ramo do circuito, assim deve-se encontrar  $i_1$  e  $i_2$  e então descobrir a ddp entre os pontos  $a$  e  $b$  e os pontos  $a$  e  $c$ , por consequência a ddp entre  $b$  e  $c$ .

$$U = R \cdot i$$

$$10 = 570 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = 1/57 \text{ A}$$

$$10 = 590 \cdot i_2 \rightarrow i_2 = 1/59 \text{ A}$$

$$U_{AB} = 470 \cdot 1/57 = 8,24 \text{ V} \rightarrow V_b = 10 - 8,24 = 1,76 \text{ V}$$

$$U_{BC} = 470 \cdot 1/59 = 7,97 \text{ V} \rightarrow V_c = 10 - 7,97 = 2,04 \text{ V}$$

Assim a ddp entre BC será:

$$U_{BC} = 1,76 - 2,04 = -0,3 \text{ V}$$

- A resposta correta é a alternativa D.

### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,4
Nulos	0,1
A	24,8
B	27,9
C	23,9
D	12,2
E	10,6
Total	100,0

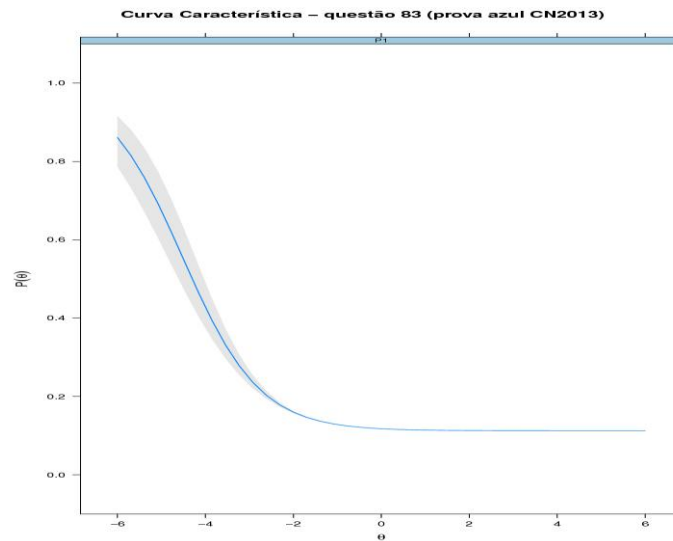
Para um valor de temperatura em que  $R_s = 100 \Omega$ , a leitura apresentada pelo voltímetro será de

- A + 6,2 V.
- B + 1,7 V.
- C + 0,3 V.
- D - 0,3 V.
- E - 6,2 V.

**Figura 59.** A frequência das respostas por alternativas.

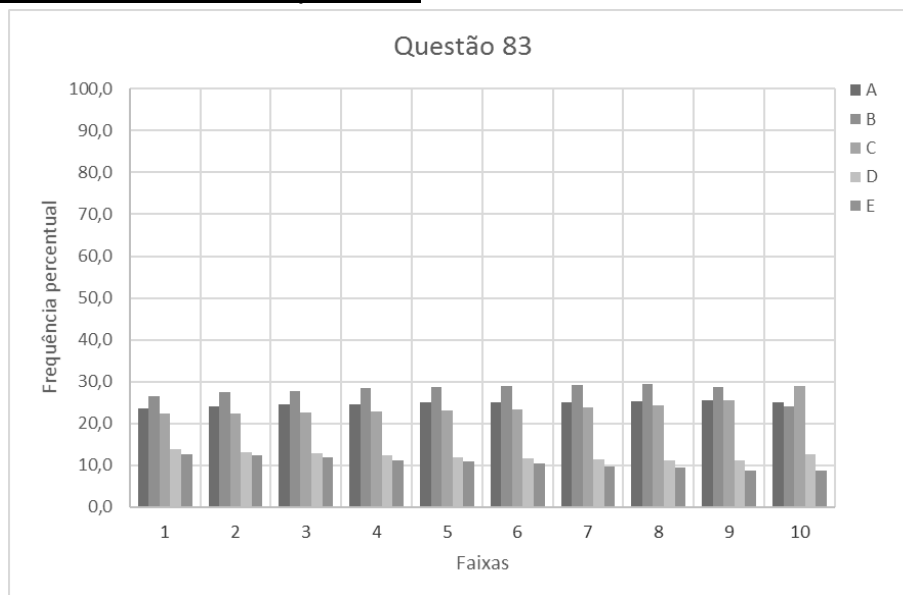
### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = -1,14$ ;  $b = -4,52$ ;  $c = 0,11$ .



**Figura 60.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

### Frequência das alternativas por faixa



**Figura 61.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item:

- A CCI apresenta inclinação negativa, isto é, discriminação negativa; esta curva portanto indica que a questão não é adequada ao modelo utilizado. Os alunos de baixa aptidão tem mais chances de acertar essa questão que alunos de maior aptidão.

- O texto do item é confuso e não é claro quanto à pergunta; questões com mais de um passo e muita manipulação matemática são consideradas difíceis.
- Algumas das alternativas correspondem a possíveis erros, tais como aqueles obtidos por manipulação algébrica direta. Por exemplo, a divisão da tensão 10V pela resistência equivalente em cada ramo do circuito fornece o valor da alternativa B com erro na ordem de grandeza:

$$U = R.i$$

$$10 = 570.i_1 \qquad 10 = 590.i_2$$

$$i_1 = 0,017 \text{ A} \qquad i_2 = 0,017 \text{ A}$$

### Diagnóstico

- Nota-se uma preferência por alternativas que apresentam valores de tensão positivos, A, B e C (76,6%), distribuídos de forma aproximada entre as três opções. Isso mostra que os candidatos não entendem valores negativos para a tensão, evidenciando a falta de compreensão do conceito.
- Entre os candidatos de melhores escores (faixa 10) a alternativa C foi a mais marcada, apresentando o valor correto em módulo para a ddp.
- Em todas as outras faixas, a alternativa B teve maior frequência, o que reforça a hipótese de manipulação algébrica.

## 14. Questão 85

A questão 85 aborda temas de eletromagnetismo. Na Figura 62, apresentamos o texto da questão, na Figura 63 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 64 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 65 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

Desenvolve-se um dispositivo para abrir automaticamente uma porta no qual um botão, quando acionado, faz com que uma corrente elétrica  $i = 6\text{ A}$  percorra uma barra condutora de comprimento  $L = 5\text{ cm}$ , cujo ponto médio está preso a uma mola de constante elástica  $k = 5 \times 10^{-2}\text{ N/cm}$ . O sistema mola-condutor está imerso em um campo magnético uniforme perpendicular ao plano. Quando acionado o botão, a barra sairá da posição de equilíbrio a uma velocidade média de  $5\text{ m/s}$  e atingirá a catraca em  $6\text{ milissegundos}$ , abrindo a porta.

A intensidade do campo magnético, para que o dispositivo funcione corretamente, é de

- A  $5 \times 10^{-1}\text{ T}$ .
- B  $5 \times 10^{-2}\text{ T}$ .
- C  $5 \times 10^1\text{ T}$ .
- D  $2 \times 10^{-2}\text{ T}$ .
- E  $2 \times 10^0\text{ T}$ .

Figura 62. O texto da questão 85.

### Competência e habilidade

C6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

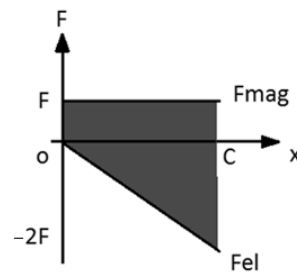
### Resolução:

- Para que o dispositivo funcione corretamente, é necessário que a barra atinja a catraca no ponto de sua trajetória para o qual sua velocidade é nula, assim acionando o mecanismo uma única vez; caso contrário o mecanismo seria acionado em dois momentos, o de ida e o de volta. Para que isso ocorra é necessário que o trabalho realizado pela força magnética seja igual em módulo ao trabalho

realizado pela força elástica de forma que no ponto de contato a variação da energia cinética seja nula; usando os dados relacionados,

- Corrente elétrica:  $i = 6 \text{ A}$ ;
- Comprimento do fio:  $L = 5 \text{ cm}$ ;
- Velocidade média:  $V = 5 \text{ m/s}$ ;
- Intervalo de tempo até a barra atingir a catraca:  $\Delta T = 6 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ;
- Constante elástica da mola:  $K = 5 \cdot 10^{-2} \text{ N/cm}$

pode-se afirmar que as forças elástica e magnética se comportam como no gráfico  $F \times d$  a seguir:



- Usando  $V = \Delta x / \Delta T$  obtém-se o comprimento a ser percorrido pela barra até atingir a catraca:  $\Delta x = 5 \times 6 \times 10^{-3} \text{ m} = 30 \times 10^{-3} \text{ m} = 3 \text{ cm}$ .
- Para que a barra chegue ao ponto de contato com velocidade nula, é necessário que a força magnética seja igual à força elástica no ponto médio do deslocamento; caso isso não ocorra, ela permaneceria em movimento para a esquerda mesmo após acionar o dispositivo, gerando um funcionamento incorreto. Logo o ponto em que a  $F_{\text{mag}} = F_{\text{elast}}$  será o ponto  $x = \Delta x / 2 = 1,5 \text{ cm}$ .
- Como os vetores indução magnética e velocidade das cargas em movimento pelo fio são perpendiculares entre si ( $\theta = 90^\circ$  e  $\text{sen}\theta = 1$ ) tem-se em módulo:

$$B i L \text{sen}\theta = k x \Rightarrow B = (kx) / (i L \text{sen}\theta) = (5 \times 10^{-2} \times 1,5) / (6 \times 5 \times 10^{-2} \times 1) T$$

$$B = 0,25 T$$

- Não estamos considerando a FEM induzida na barra em seu movimento no campo magnético, que alteraria o valor da corrente; e estamos admitindo que o trabalho da força magnética foi constante em todo o percurso de 0 a 30 mm.
- Observe que não há resposta correta para o item, porém o gabarito indicado pelo INEP corresponde à alternativa A.

### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Brancos	0,4
Nulos	0,1
A	14,7
B	35,0
C	21,3
D	20,2
E	8,3
Total	100,0

A intensidade do campo magnético, para que o dispositivo funcione corretamente, é de

- A  $5 \times 10^{-1}$  T.
- B  $5 \times 10^{-2}$  T.
- C  $5 \times 10^1$  T.
- D  $2 \times 10^{-2}$  T.
- E  $2 \times 10^0$  T.

Figura 63. A frequência das respostas por alternativas.

### Curva Característica do item

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = 1,99$ ;  $b = 3,33$ ;  $c = 0,14$ .

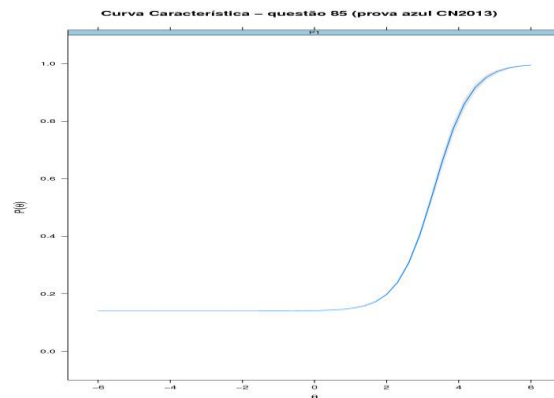


Figura 64. A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

### Frequência das alternativas por faixa

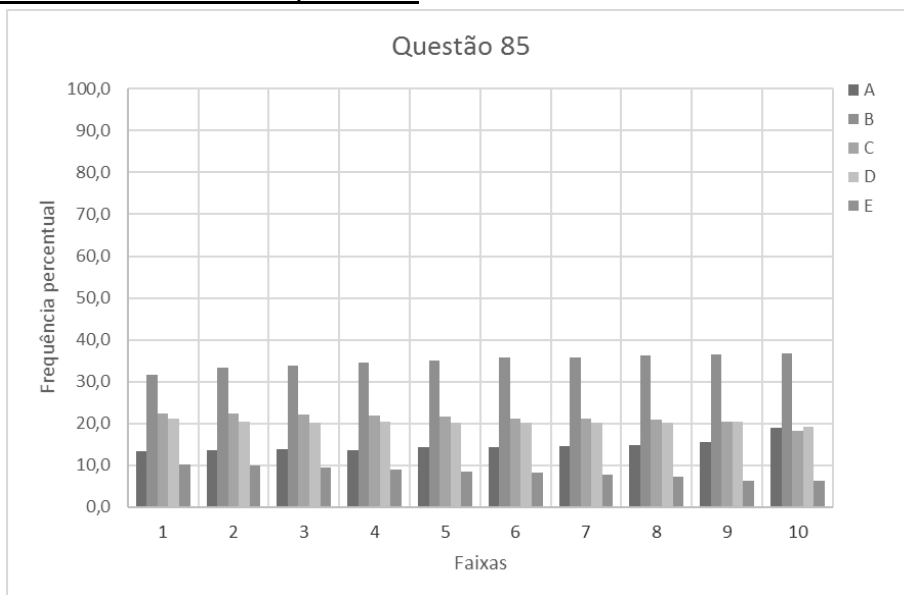


Figura 65. A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas.

### Discussão do item

- Há várias incorreções na formulação do item. Para obter a resposta prevista pelo gabarito, é necessário fazer uma suposição (incorreta) que a força magnética é numericamente igual à força elástica no instante de contato do condutor com a trava. Dessa forma o deslocamento da barra até o contato com a catraca seria 3 cm, e

$$B i L \sin \theta = k x \Rightarrow B = (kx) / (i L \sin \theta) = (5 \times 10^{-2} \times 3) / (6 \times 5 \times 10^{-2} \times 1) T$$

$$B = 0,5 T$$

o que leva à resposta indicada no gabarito.

- Existem outras abordagens na análise da questão. Lang (2014a) afirma:  
Mesmo que admitamos constante a intensidade da corrente (desprezando os efeitos indutivos), há que se fazer uma suposição sobre a intensidade da força magnética no momento do impacto para bem de se resolver o problema. Se o enunciado da questão explicitasse o que se entende por "dispositivo funcione corretamente" talvez houvesse uma solução única para a questão. - (...) Admitida outra hipótese, por exemplo, que a intensidade da força magnética seja igual à da força elástica, resultaria  $B=0,5T$ .
- A partir da consulta aos objetos de conhecimento da Matriz de Referência, verifica-se que o item apresenta um nível de dificuldade incomum. Para resolvê-lo, é necessário:
  - Conhecimento da relação entre trabalho e energia
  - Conhecimento de velocidade média
  - Conhecimento da força elástica que atua sobre a barra
  - Conhecimento da força magnética que atua sobre condutores retilíneos
  - Conversão de unidades
  - Desenvolvimento algébrico

### Diagnóstico

- O texto da questão certamente dificultou o entendimento de sua pergunta "comando", o que fica evidente na dispersão de frequência de escolha das alternativas, todas muito próximas. A questão não permite nenhuma avaliação sobre a compreensão do tema pelos estudantes.
- O distrator mais marcado em todas as faixas é aquele que apresenta um valor idêntico ao da constante elástica apresentada no texto, evidenciando que a maior parte dos candidatos usou a leitura direta para escolha da sua resposta.



## 15. Questão 87

A questão 87 aborda conceitos básicos de mecânica, com a exigência de interpretação de gráficos. Na Figura 66, apresentamos o texto da questão, na Figura 67 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 68 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 69 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

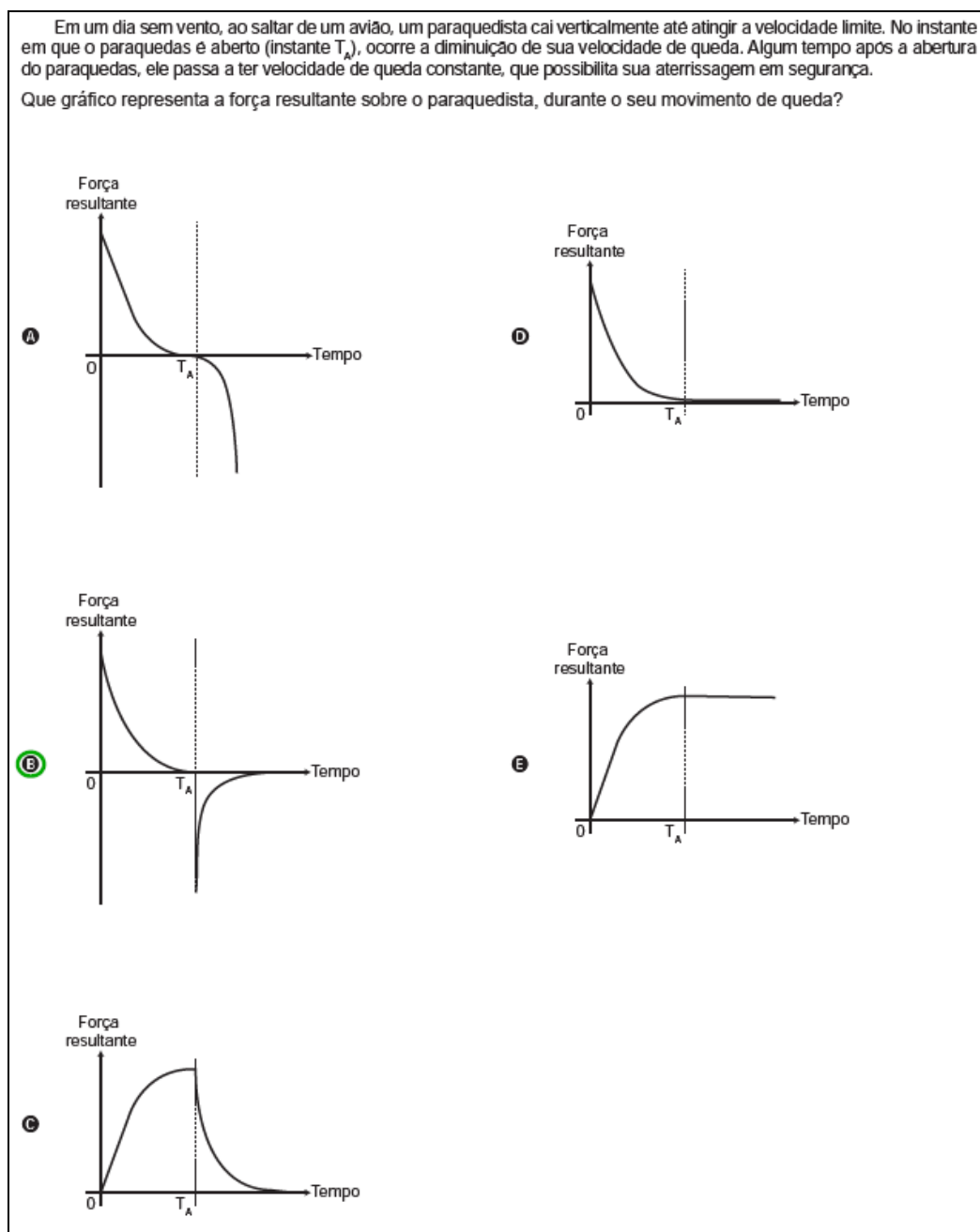


Figura 66. O texto da questão 87.

### Competência e habilidade

C5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

### Resolução:

- Nessa resolução, utiliza-se o eixo vertical com sentido positivo para baixo, o que fornece a componente da aceleração da gravidade positiva. A questão solicita a identificação do gráfico que representa a força resultante em função do tempo. Envolve a compreensão que sobre o paraquedista atuam a força peso e a força de resistência do ar (assunto pouco explorado no ensino médio), mas os conhecimentos necessários para resolvê-la são a segunda lei de Newton e a relação entre velocidade e aceleração.
- No momento que o paraquedista salta a resultante aponta para baixo, uma vez que o peso é maior que a força de resistência ao movimento.
- A força resultante diminui à medida que a velocidade aumenta, pois a força de resistência aumenta com o aumento da velocidade do corpo. Ao atingir a resultante nula o paraquedista atingiu a velocidade terminal.
- Logo após a abertura do paraquedas, a resultante aponta para cima, uma vez que a resistência do ar passa a ser maior que o peso; com isso sua velocidade se reduz a valores inferiores a velocidade terminal. Mais uma vez a resultante vai diminuindo em módulo até que o corpo volte a executar um movimento uniforme.
- O gabarito é letra B.

### Frequência das respostas por alternativas

RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,2
Nulos	0,2
A	25,4
B	15,2
C	22,3
D	25,7
E	11,0
Total	100,0

**Figura 67.** A frequência das respostas por alternativas.

### Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = -0,89$ ;  $b = -3,60$ ;  $c = 0,10$ .

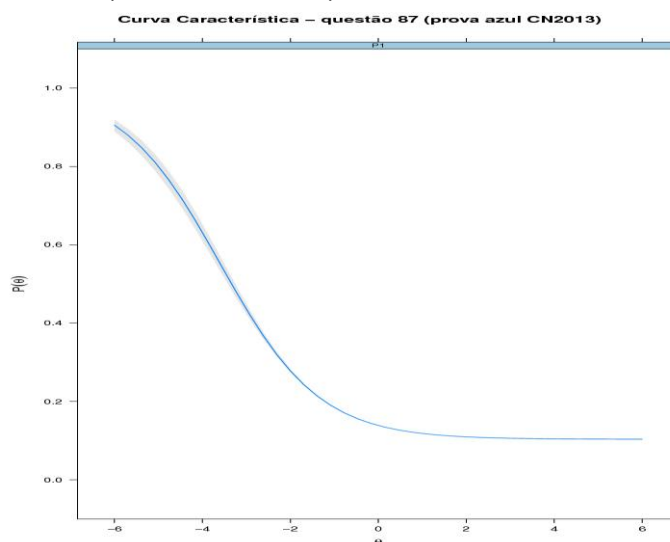


Figura 68. A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

### Frequência das alternativas por faixa

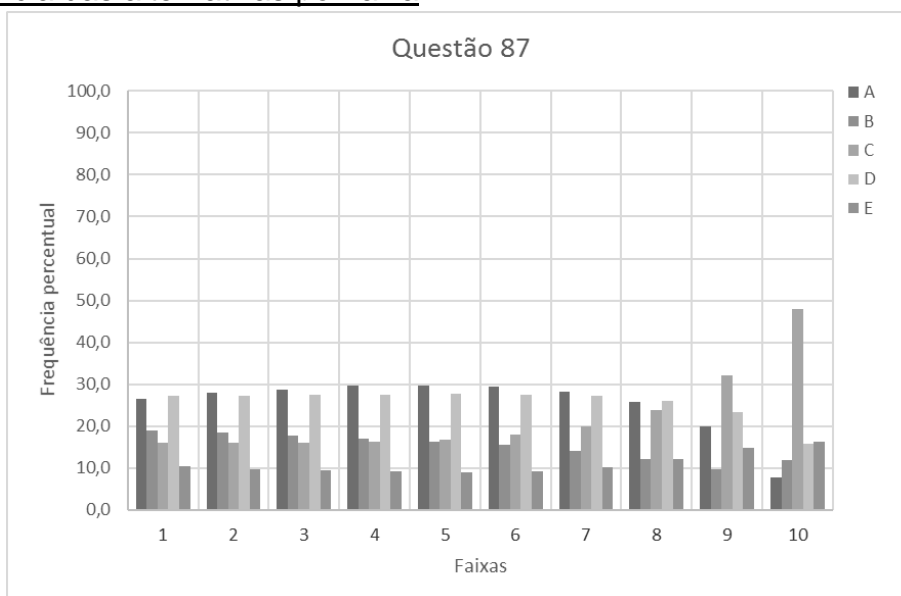


Figura 69. A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item

- A CCI tem inclinação negativa, o que indica que o desempenho dos estudantes não está bem descrito pelo modelo utilizado. Alunos de baixa aptidão tem mais chances de acertar essa questão que alunos de maior aptidão.

- As opções mais marcadas (A, C e D) apresentaram frequências de escolha próximas, entre 22 e 25%.
- Não é fácil para os candidatos perceberem que a resultante das forças inicialmente apresenta um valor elevado (para baixo) e diminui até zero; e que, conforme consta no texto, passa a outro valor elevado e negativo (para cima), a partir do qual o corpo inicia uma redução na taxa de aceleração até que a força resultante decaia até zero novamente.
- Não há familiaridade com as situações de queda com força de resistência do ar e nem com a dependência dessa resistência com a velocidade.

### Diagnóstico

- Os candidatos não percebem uma distinção clara entre a força resultante que age sobre um corpo e a velocidade do mesmo, ou seja, a força (ou a aceleração) é confundida com o movimento em si.
- Não existe uma compreensão clara da segunda lei de Newton e da diferença entre aceleração e velocidade. Se o corpo está caindo, então sua aceleração é para baixo (e não sua velocidade). Observa-se uma linha de pensamento que considera que se o corpo está caindo, então sua aceleração é para baixo (e não sua velocidade), se o corpo move-se para a direita é porque há necessariamente uma força para a direita (como na ideia medieval do *Impetus*).

## 16. Questão 89

A questão 89 aborda temas de física térmica. Na Figura 70, apresentamos o texto da questão, na Figura 71 os percentuais de escolha de cada uma das alternativas pelos concluintes do ensino médio, na Figura 72 está a curva característica do item obtida a partir da TRI, e na Figura 73 apresenta-se a distribuição das escolhas de cada uma das alternativas pelos 10 grupos de desempenho da prova de Ciências da Natureza.

<p>Aquecedores solares usados em residências têm o objetivo de elevar a temperatura da água até 70 °C. No entanto, a temperatura ideal da água para um banho é de 30 °C. Por isso, deve-se misturar a água aquecida com a água à temperatura ambiente de um outro reservatório, que se encontra a 25 °C.</p>	<p>Qual a razão entre a massa de água quente e a massa de água fria na mistura para um banho à temperatura ideal?</p> <p><input type="radio"/> A 0,111.</p> <p><input checked="" type="radio"/> B 0,125.</p> <p><input type="radio"/> C 0,357.</p> <p><input type="radio"/> D 0,428.</p> <p><input type="radio"/> E 0,833.</p>
--	--

Figura 70. O texto da questão 89.

### Habilidade e competência

C6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

### Resolução

- Esta é uma questão tradicional sobre troca de calor entre dois corpos. Nesse caso, sem que ocorra mudança de fase, o calor recebido é descrito pela relação  $Q = mc \Delta\theta$ , onde  $\Delta\theta$  é a variação na temperatura.
- Não há nenhuma informação sobre a troca ser isolada do meio externo, mas vamos admitir que a troca de calor ocorre apenas entre as duas quantidades de água que estão a diferentes temperaturas. Assim, pela conservação da energia total, teremos que (usando o índice 1 para a água aquecida e 2 para o reservatório a 25 °C)

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow m_1 c_1 \Delta\theta_1 + m_2 c_2 \Delta\theta_2 = 0$$

$$m_1 1(30 - 70) + m_2 1(30 - 25) = 0 \Rightarrow -40m_1 + 5m_2 = 0$$

$$m_1/m_2 = 5/40 = 0,125$$

O gabarito corresponde à alternativa B.

Frequência das respostas por alternativas

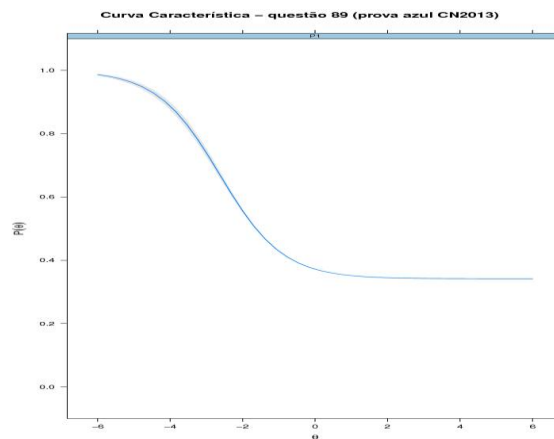
RESPOSTAS	PERCENTUAL
Branco	0,3
Nulos	0,1
A	8,4
B	39,1
C	24,1
D	18,9
E	9,1
Total	100,0

- A 0,111.
- B 0,125.**
- C 0,357.
- D 0,428.
- E 0,833.

**Figura 71.** A frequência das respostas por alternativas.

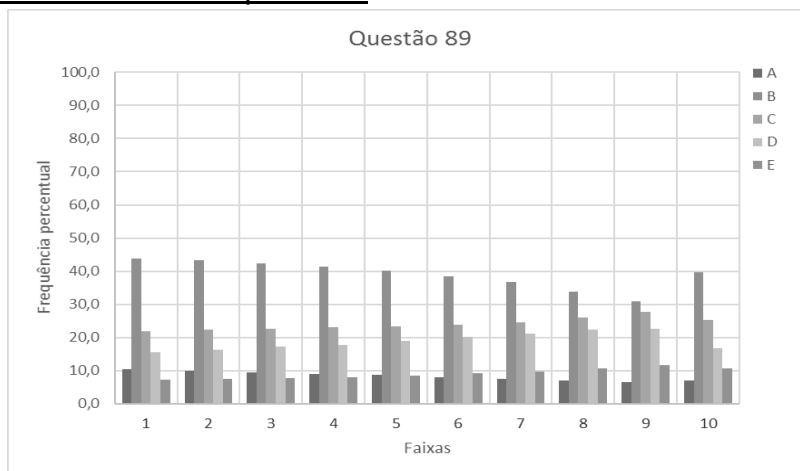
Curva Característica do item:

Parâmetros dos itens (fonte: G.Rubini):  $a = -1,15$ ;  $b = -2,63$ ;  $c = 0,34$ .



**Figura 72.** A curva característica do item (fonte: G. Rubini).

Frequência das alternativas por faixa



**Figura 73.** A escolha dos candidatos pelas alternativas para cada uma das 10 faixas de notas

### Discussão do item:

- A CCI tem inclinação negativa, o que indica que o modelo utilizado não está de acordo com os resultados empíricos. Alunos de baixa aptidão têm maior probabilidade de acertar essa questão do que alunos de maior aptidão.
- Observamos que a manipulação algébrica de valores sem nenhum significado físico permite a obtenção de algumas alternativas. A razão entre as variações de temperatura resulta também na opção B, o gabarito:

$$\text{de } 25^{\circ}\text{C para } 30^{\circ}\text{C e de } 70^{\circ}\text{C para } 30^{\circ}\text{C: } \Delta\theta_1/\Delta\theta_2 = 5/40 = 0,125$$

Os distratores C e D são obtidos como resposta usando a mesma lógica, só que para os valores das razões entre as temperaturas e não suas variações:  $25/70 = 0,357$  e  $30/70 = 0,428$ , respectivamente.

### Diagnóstico

- Apesar da maior frequência de respostas ocorrer para a alternativa correta (letra B), essa escolha fica mais evidente em alunos de baixa aptidão, como mostra o gráfico por faixas da Figura 73.
- Uma possível explicação para isso está na manipulação algébrica dos valores e não a utilização da conservação da energia.