

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CAMPUS OURO PRETO  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Richarde Guilherme dos Santos

**A HABILIDADE H21 EM CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENEM (2010–2024):  
ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES, DEMANDAS COGNITIVAS E  
PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS**

Ouro Preto MG

2026



Richarde Guilherme dos Santos

**A HABILIDADE H21 EM CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENEM (2010–2024):  
ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES, DEMANDAS COGNITIVAS E  
PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em Física apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais Campus Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bretas Roa

Coorientador: Prof. Dr. Denilson Junio Marques Soares

Ouro Preto MG

2026

---

S237h

Santos, Richarde Guilherme dos.

A habilidade H21 em Ciências da Natureza no ENEM (2010-2024)  
[manuscrito] : análise das representações, demandas cognitivas e  
parâmetros psicométricos / Richarde Guilherme dos Santos. – 2026.  
70 f. : il.

Orientador: Daniel Bretas Roa.

Coorientador: Denilson Junio Marques Soares.

Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura) - Instituto Federal de  
Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto, 2026.

1. Física - Licenciatura. 2. Habilidades educacionais. 3. Parâmetros. I.  
Roa, Daniel Bretas. II. Soares, Denilson Junio Marques. III. Instituto  
Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 53:37

---

Catálogo: Kelly Cristiane Santos Moraes - CRB-6/3217

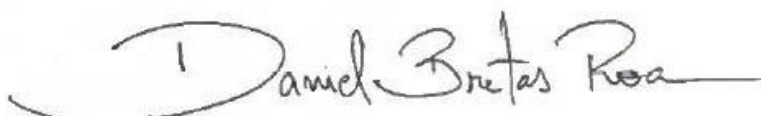
## FOLHA DE APROVAÇÃO

RICHARDE GUILHERME DOS SANTOS

### A HABILIDADE H21 EM CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENEM (2010–2024): ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES, DEMANDAS COGNITIVAS E PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS


Trabalho de conclusão de curso de licenciatura em Física apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais Campus Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 19/03/2026 pela banca examinadora:




---

Dr. Daniel Bretas Roa (Orientador)  
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto

Documento assinado digitalmente  
 LUELLERSON CARLOS FERREIRA  
Data: 08/06/2026 13:41:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Luellerson Carlos Ferreira  
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto

Documento assinado digitalmente  
 ANA CAROLINA DE LIMA MATOS  
Data: 08/06/2026 14:57:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Me. Ana Carolina de Lima Matos  
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto

Dedico esta pesquisa aos que me incentivaram ao longo desta trajetória acadêmica. Este trabalho é o reflexo de cada ensinamento recebido.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Inkisi, por me dar força, coragem e sabedoria nos momentos em que pensei em desistir. Sem essa sustentação espiritual, essa caminhada teria sido ainda mais difícil.

Agradeço também à minha família, que é a base de tudo: aos meus pais, por todo esforço e apoio ao longo da minha trajetória; à minha irmã, pela parceria de sempre; e, principalmente, à minha esposa e ao meu filho, que são minha maior motivação diária. Cada conquista minha é, na verdade, nossa.

Não posso deixar de agradecer aos professores das áreas de Física, Educação e Matemática, que me incentivaram a continuar mesmo diante das dificuldades e contribuíram de forma essencial para minha formação.

Por fim, agradeço aos meus colegas de curso que, mesmo tendo se formado antes de mim, nunca deixaram de me apoiar e me ajudar na minha caminhada acadêmica. Cada palavra de incentivo e cada ajuda fizeram diferença.

Muito obrigado a todos que fizeram parte dessa conquista.

*"A utopia está lá no horizonte. Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos. Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos mais para lá. Por mais que eu caminhe, jamais a alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para isso: para que eu não pare de caminhar."*

**Eduardo Galeano**

## RESUMO

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) consolidou-se como principal mecanismo de acesso ao ensino superior no Brasil, estruturando-se a partir de uma matriz baseada em competências e habilidades. Este estudo analisa a operacionalização da Habilidade H21 da área de Ciências da Natureza nas edições do ENEM entre 2010 e 2024, com foco nos itens de Física associados aos processos naturais ou tecnológicos no contexto da Termodinâmica e Eletromagnetismo. A pesquisa adota abordagem documental, quantitativa e descritivo-analítica, examinando 24 itens identificados nos microdados oficiais do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). A análise articula três dimensões: (i) representações semióticas predominantes nos itens; (ii) níveis de demanda cognitiva requeridos para sua resolução; e (iii) parâmetros psicométricos da Teoria de Resposta ao Item (TRI), especialmente os coeficientes de dificuldade (b) e discriminação (a). Os resultados indicam variação significativa nos níveis de dificuldade entre os itens, sugerindo associação entre complexidade representacional, exigência de modelagem e comportamento psicométrico. Observou-se ainda tendência de maior dificuldade média em itens de Termodinâmica quando comparados aos de Eletromagnetismo, embora essa diferença não se mostre absoluta. Conclui-se que a estrutura representacional e a demanda cognitiva constituem elementos relevantes para a compreensão da dificuldade dos itens da H21, oferecendo subsídios para reflexões sobre o ensino de Física e a preparação para avaliações em larga escala.

**Palavras-chave:** ENEM; Habilidade H21; Ciências da Natureza; Teoria de Resposta ao Item; Representações Semióticas.

## ABSTRACT

The Brazilian National High School Examination (ENEM) has consolidated itself as the main gateway to higher education in Brazil and is structured around a competency-based assessment framework. This study analyzes the operationalization of Skill H21 within the Natural Sciences area in ENEM editions from 2010 to 2024, focusing specifically on Physics items related to energy transformations. The research adopts a documentary, quantitative, and descriptive-analytical approach, examining 24 items identified through official microdata provided by the National Institute for Educational Studies and Research (Inep).

The analysis integrates three dimensions: (i) the predominant semiotic representations present in the items; (ii) the cognitive demands required for their resolution; and (iii) the psychometric parameters derived from Item Response Theory (IRT), particularly the difficulty parameter ( $b$ ) and discrimination parameter ( $a$ ). Results indicate substantial variation in item difficulty, suggesting associations between representational complexity, modeling requirements, and psychometric behavior. A tendency toward higher average difficulty was observed in Electromagnetism items compared to Thermodynamics, although this difference was not absolute.

The findings suggest that representational structure and cognitive demand are relevant factors in understanding the statistical difficulty of H21 items. These results contribute to discussions on Physics teaching and preparation for large-scale assessments grounded in competency-based evaluation models.

**Keywords:** ENEM; Skill H21; Natural Sciences; Item Response Theory; Semiotic Representations.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Estrutura Pedagógica do ENEM: Eixos Cognitivos, Áreas do Conhecimento e Matrizes de Referência. .... | 18 |
| Figura 2 - Exemplo de curva característica de um item. ....  | 22 |
| Figura 3 - Imagem de item multimodal. ....   | 25 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Inventário Geral e Parâmetros TRI dos Itens da Habilidade H21 .....                             | 30 |
| Tabela 2 - Inventário Consolidado e Parâmetros Psicométricos dos Itens da Habilidade H21 (2010–2024) ..... | 42 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Ocorrência dos itens segundo sua temática.....                          | 33 |
| Gráfico 2 - Média do parâmetro (b) relacionado ao tema do item.....                 | 33 |
| Gráfico 3 - Ocorrência dos itens conforme sua representação semiótica.....          | 34 |
| Gráfico 4 - Média do parâmetro (b) relacionado às representações<br>semióticas..... | 35 |
| Gráfico 5 - Média do parâmetro (b) relacionado às demandas cognitivas.....          | 37 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas                               |
| BNCC  | Base Nacional Comum Curricular   |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior            |
| CTS   | Ciência, Tecnologia e Sociedade  |
| CTSA  | Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente                              |
| ENEM  | Exame Nacional do Ensino Médio   |
| ERES  | Estratégias de Registros de Representação Semiótica                    |
| GVP   | Gráfico, Visual e Pictórico  |
| INEP  | Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira |
| LDB   | Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional                         |
| MEC   | Ministério da Educação   |
| PCN   | Parâmetros Curriculares Nacionais                                      |
| PPL   | Pessoas Privadas de Liberdade (Aplicações Específicas)                 |
| TCC   | Trabalho de Conclusão de Curso   |
| TRI   | Teoria de Resposta ao Item   |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>   | <b>17</b> |
| 2.1 Geral .....  | 17        |
| 2.2 Específicos .....  | 17        |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>   | <b>18</b> |
| 3.1 ENEM: visão geral e matriz de referência .....   | 18        |
| 3.2 Ciências da Natureza no ENEM: como são os itens e como a prova funciona .....                                  | 19        |
| 3.3 Habilidade H21 no contexto da Física .....   | 20        |
| 3.4 Teoria de Resposta ao Item (TRI).....  | 22        |
| 3.5 Representações em itens de Física.....   | 23        |
| 3.6 Demandas cognitivas em problemas de Física.....  | 25        |
| <b>4 METODOLOGIA .....</b>   | <b>27</b> |
| 4.1 Tipo de pesquisa .....   | 27        |
| 4.2 Corpus do estudo.....  | 27        |
| 4.3 Critérios de identificação dos itens .....   | 27        |
| 4.4 Categorias de análise.....   | 28        |
| 4.5 Dados psicométricos .....  | 28        |
| 4.6 Procedimentos de análise .....   | 29        |
| 4.7 Aspectos éticos .....  | 29        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>30</b> |
| 5.1 Catálogo dos itens H21 (2010–2024) .....   | 30        |
| 5.2 Distribuição por tema (Termodinâmica x Eletromagnetismo).....  | 31        |
| 5.3 Representações semióticas: frequências e padrões .....   | 33        |
| 5.4 Demandas cognitivas: frequências e padrões .....   | 34        |
| 5.5 Parâmetros TRI (a e b): descrição e destaques.....   | 35        |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>APÊNDICE A – Inventário Consolidado e Parâmetros Psicométricos dos Itens da Habilidade H21 (2010–2024).....</b> | <b>41</b> |
| <b>APÊNDICE B – Regras Operacionais para Classificação das Categorias de Análise .....</b>                         | <b>43</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) consolidou-se, nas últimas décadas, como o principal mecanismo de acesso ao ensino superior no Brasil. Mais do que um instrumento de seleção, o exame opera como indutor de práticas pedagógicas, influenciando conteúdos, metodologias e estratégias didáticas nas escolas. No campo de Ciências da Natureza, o ENEM afirma privilegiar a mobilização de competências e habilidades em detrimento da mera memorização de fórmulas, valorizando a aplicação do conhecimento científico à interpretação de situações contextualizadas (GARCIA, 2021).

Entretanto, a experiência empírica de professores e estudantes indica que as dificuldades enfrentadas na prova nem sempre decorrem exclusivamente do domínio conceitual da Física. Em muitos casos, os obstáculos parecem estar associados à estrutura multimodal da questão, que nesse trabalho será adotado o termo técnico 'itens', que integram textos extensos, gráficos, tabelas e esquemas técnicos, exigindo elevado nível de letramento científico e capacidade de articulação entre diferentes registros de representação (VIEIRA, 2015). Nesse cenário, a dificuldade do item pode não residir apenas no conceito físico mobilizado, mas na complexidade semiótica e cognitiva da tarefa proposta.

Diante dessa problemática, esta pesquisa investiga como as características estruturais dos itens da Habilidade H21 — especialmente suas representações semióticas e demandas cognitivas — se relacionam com seus parâmetros psicométricos na Teoria de Resposta ao Item (TRI). Parte-se da hipótese de que determinados formatos de apresentação e níveis de exigência cognitiva tendem a impactar o índice de dificuldade (parâmetro  $b$ ) e o poder de discriminação (parâmetro  $a$ ), contribuindo para padrões específicos de desempenho.

O objetivo geral consiste em analisar os itens de Física associados à Habilidade H21 aplicados no ENEM entre 2010 e 2024, estabelecendo relações descritivas entre suas características pedagógicas e seus parâmetros estatísticos. Para isso, a pesquisa: (i) identifica e organiza todos os itens da H21 no período delimitado; (ii) classifica cada item segundo categorias de representação semiótica e demanda cognitiva; e (iii) compara tais categorias com os parâmetros psicométricos (parâmetros  $a$  e  $b$ ) extraídos dos microdados oficiais do Inep.

A escolha da Habilidade H21 justifica-se por sua centralidade na Matriz de Referência de Ciências da Natureza, uma vez que mobiliza a aplicação de leis físicas na análise de processos naturais ou tecnológicos no contexto de Termodinâmica e Eletromagnetismo. Ao focalizar o período de 2010 a 2024, este estudo abrange quinze edições do exame sob a estrutura consolidada do chamado “novo ENEM”, permitindo observar padrões longitudinalmente.

Compreender como a forma do item dialoga com seu desempenho estatístico é relevante tanto do ponto de vista avaliativo quanto pedagógico. Para a área de Ensino de Física, os resultados podem contribuir para reflexões sobre letramento visual, modelagem científica e preparação dos estudantes para avaliações de larga escala (STRIEDER, 2017). Do ponto de vista das políticas de avaliação, a análise possibilita discutir em que medida a estrutura dos itens opera como mecanismo de diferenciação de proficiências.

Este trabalho está organizado em seis capítulos. Após esta introdução, o segundo capítulo apresenta o objetivo da pesquisa. O terceiro aborda a fundamentação teórica sobre o ENEM, a Habilidade H21, a Teoria de Resposta ao Item e os referenciais sobre representações e demandas cognitivas. O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados. O quinto expõe os resultados obtidos junto com a discussão. Por fim, o sexto capítulo apresenta as considerações finais e implicações para o ensino de Física.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Analisar os itens de Física associados à Habilidade H21 aplicados no ENEM entre 2010 e 2024, investigando as relações entre suas características estruturais (representações semióticas e demandas cognitivas) e seus parâmetros psicométricos na Teoria de Resposta ao Item (TRI), especialmente os índices de dificuldade (b) e discriminação (a).

### 2.2 Específicos

- Identificar e organizar os itens de Física vinculados à Habilidade H21 nas edições do ENEM entre 2010 e 2024, compondo um inventário sistematizado segundo tema (Termodinâmica e Eletromagnetismo).
- Classificar cada item conforme categorias previamente definidas de representação semiótica e de demanda cognitiva, com base em critérios operacionais explicitados na metodologia.
- Descrever e comparar os parâmetros psicométricos (a e b) dos itens catalogados, analisando suas distribuições ao longo do período estudado.
- Examinar, de forma descritiva, possíveis padrões de associação entre os tipos de representação, os níveis de demanda cognitiva e os índices de dificuldade e discriminação.

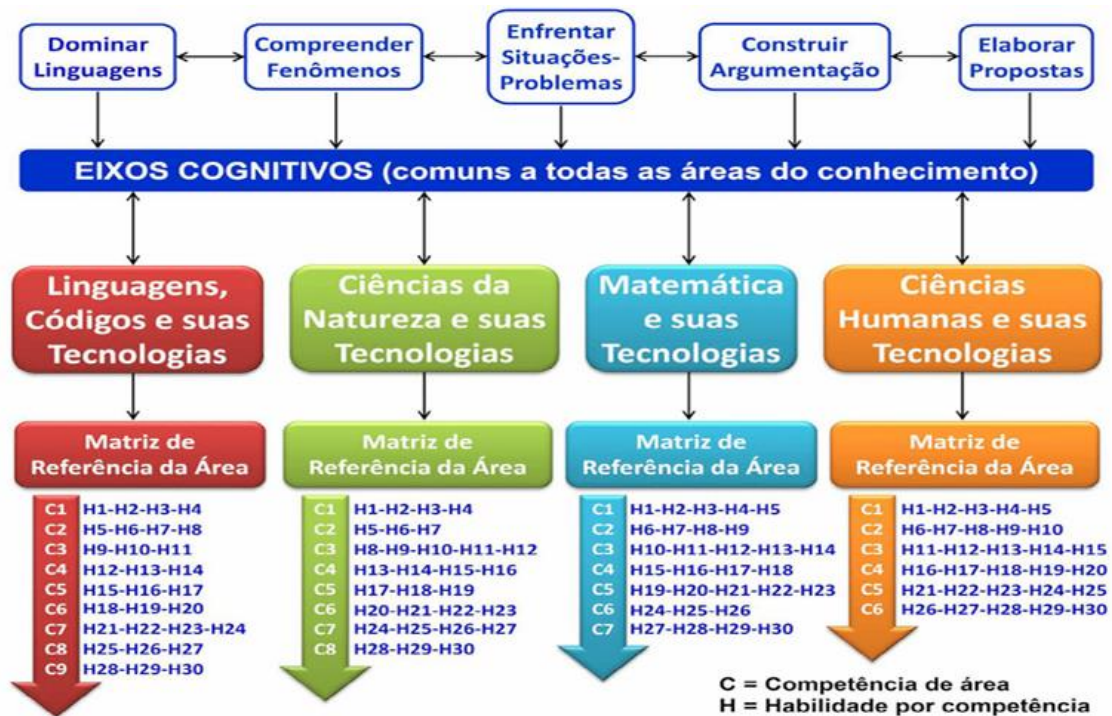
### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 ENEM: visão geral e matriz de referência

O ENEM consolidou-se como o principal mecanismo de acesso ao ensino superior no Brasil e como instrumento central da política de avaliação da educação básica. Ao longo de sua trajetória, o exame passou de avaliação diagnóstica a exame de larga escala com função seletiva, assumindo papel indutor de currículos e práticas pedagógicas (GARCIA, 2021).

Sua estrutura está fundamentada em uma Matriz de Referência organizada por eixos cognitivos comuns às quatro áreas do conhecimento, competências de área e habilidades específicas. Conforme ilustrado na Figura 1, os eixos cognitivos (dominar linguagens, compreender fenômenos, enfrentar situações-problema, construir argumentação e elaborar propostas) operam como fundamentos transversais que orientam as competências de área (C1, C2, C3 etc). Estas, por sua vez, desdobram-se em habilidades (H1, H2, H3 etc) que explicitam ações cognitivas observáveis no contexto dos itens.

Figura 1- Estrutura Pedagógica do ENEM: Eixos Cognitivos, Áreas do Conhecimento e Matrizes de Referência.



Fonte: Miranda, 2019.

A Matriz de Referência define, portanto, o conjunto de habilidades que devem ser mobilizadas pelos estudantes ao final do ensino médio. Diferentemente de modelos centrados exclusivamente em conteúdos disciplinares, o ENEM adota uma abordagem baseada em competências, privilegiando a aplicação de conhecimentos em situações contextualizadas (BRASIL, 2025). Nesse arranjo, a habilidade constitui a unidade operacional da avaliação: é por meio dela que a competência se concretiza no item. Assim, cada questão do exame é formalmente vinculada a uma habilidade específica que delimita o tipo de ação cognitiva esperada do estudante.

No entanto, a implementação desse modelo suscita debates sobre a relação entre avaliação padronizada, organização curricular e profundidade conceitual (SAVIANI, 2016). Ao mesmo tempo em que o exame se propõe a avaliar mobilização de saberes, ele precisa converter tais habilidades em medidas estatísticas comparáveis, articulando a lógica pedagógica da matriz com a lógica psicométrica da TRI.

### **3.2 Ciências da Natureza no ENEM: como são os itens e como a prova funciona**

A prova de Ciências da Natureza e suas Tecnologias é composta por 45 itens que integram conteúdos de Biologia, Física e Química sob uma perspectiva contextualizada. Cada item segue um padrão técnico rigorosamente estruturado em três partes fundamentais: texto-base, comando (ou enunciado) e alternativas de resposta. O texto-base apresenta a situação-problema e delimita o contexto de aplicação do conhecimento científico enquanto o comando explicita a ação cognitiva esperada do candidato (ALVARENGA, 2018).

Essa arquitetura exige do estudante não apenas domínio conceitual, mas também capacidade de leitura analítica. A resposta correta depende da compreensão precisa do comando e da identificação das informações relevantes no texto-base. Muitos itens utilizam gêneros discursivos variados, como notícias, relatórios técnicos, fragmentos de artigos científicos, o que amplia a exigência do letramento científico e interpretação textual (AMORIM, 2021). Nesse sentido, o ENEM busca avaliar o letramento científico, entendido como a capacidade de mobilizar conhecimentos das ciências para interpretar fenômenos, avaliar evidências e tomar decisões fundamentadas em contextos sociais e tecnológicos (CASTRO, 2019). A contextualização não é meramente ilustrativa: ela constitui parte integrante da tarefa cognitiva.

Do ponto de vista técnico, os itens passam por processos de pré-teste e calibração antes de integrarem a aplicação oficial. Por meio da TRI, são estimados parâmetros de discriminação, dificuldade e acerto ao acaso, o que permite compor provas com equilíbrio estatístico entre níveis de complexidade e garantir comparabilidade longitudinal entre edições (INEP, 2020). Assim, cada item é simultaneamente unidade pedagógica e unidade psicométrica.

No caso específico da Física, os itens tendem a privilegiar situações que envolvem aplicação de leis e princípios a contextos tecnológicos e cotidianos, como consumo energético, funcionamento de dispositivos elétricos ou eficiência de máquinas térmicas (STRIEDER, 2017). O estudante precisa transitar entre descrição fenomenológica, representação simbólica e modelagem conceitual, articulando diferentes registros de representação. Essa característica torna a prova intrinsecamente multimodal, onde a informação pode estar distribuída entre textos, gráficos, tabelas, esquemas técnicos e expressões matemáticas. A resolução do item frequentemente depende da coordenação entre esses registros, o que amplia a complexidade cognitiva da tarefa. Assim, compreender a estrutura dos itens é condição necessária para analisar como determinadas formas de representação podem impactar seu desempenho estatístico.

Desse modo, a prova de Ciências da Natureza não se configura como um conjunto aleatório de questões, mas como um sistema estruturado de avaliação por habilidades, em que cada item é concebido para mobilizar uma ação cognitiva específica dentro da matriz. Essa compreensão é fundamental para a análise da Habilidade H21, cuja materialização nos itens recorrentemente envolve articulação entre linguagem científica, representação gráfica e modelagem de transformações de energia.

### **3.3 Habilidade H21 no contexto da Física**

Na Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a Habilidade H21 é definida como a capacidade de aplicar leis físicas na análise de processos de transformação e conservação de energia (BRASIL, 2025). Está inserida na Competência de Área C6: “Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas” (INEP, 2020). A H21 articula conteúdos conceituais e procedimentos

analíticos, exigindo do estudante a mobilização integrada de conhecimentos em situações contextualizadas.

Do ponto de vista epistemológico, a H21 está ancorada no princípio da conservação da energia, fundamento estruturante da Física. Entretanto, sua operacionalização nos itens do ENEM ultrapassa a aplicação algorítmica de fórmulas. A habilidade demanda interpretação de sistemas físicos, naturais ou tecnológicos, em que diferentes formas de energia são convertidas, transferidas ou degradadas.

No âmbito da Termodinâmica, a H21 manifesta-se em situações que envolvem trocas de calor, trabalho mecânico, rendimento de máquinas térmicas e análise de ciclos. O estudante deve compreender a relação entre energia interna, calor e trabalho, bem como reconhecer limitações impostas pela Segunda Lei da Termodinâmica, especialmente no que se refere à eficiência energética (INEP, 2024). A tarefa cognitiva frequentemente envolve interpretar dados experimentais, gráficos ou descrições técnicas de sistemas térmicos.

No campo do Eletromagnetismo, a habilidade mobiliza conceitos relacionados à geração, transmissão e consumo de energia elétrica, incluindo indução eletromagnética, potência elétrica e funcionamento de circuitos. Aqui, a complexidade tende a aumentar em função da abstração requerida para compreender campos, fluxos e interações invisíveis, frequentemente representados por esquemas técnicos ou diagramas (CASTRO, 2019).

Um aspecto central da H21 é a distinção entre energia total e energia útil, o que implica reconhecer processos de dissipação e perdas inevitáveis. Essa dimensão introduz uma camada avaliativa que ultrapassa o cálculo e exige compreensão sistêmica do fenômeno físico, articulando eficiência, tecnologia e impactos socioambientais (STRIEDER, 2017).

Do ponto de vista cognitivo, a H21 demanda diferentes níveis de processamento: interpretação de informações, aplicação de leis consolidadas e, em muitos casos, modelagem do fenômeno descrito. Além disso, sua materialização nos itens frequentemente envolve múltiplos registros de representação, como texto, gráfico, tabela, esquema técnico, o que amplia a complexidade da tarefa. Por essas características, a H21 constitui um ponto estratégico para investigar como a estrutura do item, em termos de representação semiótica e exigência cognitiva, pode influenciar seus parâmetros psicométricos. Ao analisar longitudinalmente os itens associados a essa habilidade, torna-se possível observar se determinadas

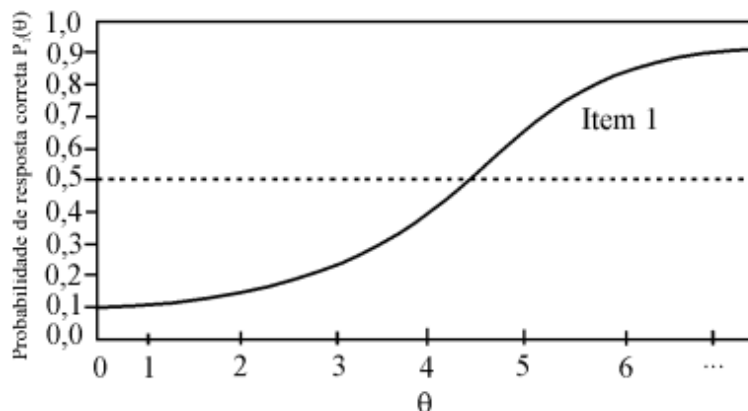
configurações estruturais tendem a elevar seu índice de dificuldade ou seu poder de discriminação. Assim, a escolha da H21 como foco deste estudo não decorre apenas de sua relevância temática, mas de sua posição privilegiada na intersecção entre conteúdo físico, modelagem cognitiva e mensuração estatística no ENEM.

### 3.4 Teoria de Resposta ao Item (TRI)

A TRI constitui o modelo psicométrico adotado pelo ENEM para estimar a proficiência dos candidatos. Diferentemente da Teoria Clássica dos Testes (TCT), na qual cada item contribui igualmente para a pontuação final, a TRI modela probabilisticamente a relação entre a proficiência latente do indivíduo ( $\theta$ ) e a probabilidade de acerto em cada item. A proficiência latente do indivíduo pode ser interpretada nesse contexto como a nota do ENEM, o valor alcançado ao término da avaliação. Assim, o desempenho não depende apenas do número bruto de acertos, mas da coerência do padrão de respostas ao longo da prova (INEP, 2020).

O ENEM utiliza o Modelo Logístico de 3 Parâmetros (3PL), no qual cada item é descrito por três coeficientes estimados a partir de pré-testes e calibrações estatísticas. O parâmetro  $a$  (discriminação) indica o grau em que o item diferencia candidatos com níveis distintos de proficiência. Itens com maior valor do parâmetro  $a$  apresentam maior inclinação na Curva Característica do Item, distinguindo com mais precisão estudantes situados próximos ao ponto de dificuldade do item (INEP, 2024).

Figura 2 – Exemplo de curva característica de um item. Note que a curva possui um formato de S. Quanto maior a inclinação da curva no ponto de intersecção com a linha tracejada maior o valor do parâmetro  $a$  (discriminação).



Fonte: Pasquali, 2003.

O parâmetro  $b$  representa a dificuldade do item e corresponde ao ponto da escala de proficiência no qual a probabilidade de acerto, descontado o acerto ao acaso, é de 50%. Esse parâmetro é central para esta pesquisa, pois permite comparar itens de diferentes edições do ENEM na mesma escala métrica. A análise longitudinal do parâmetro  $b$  possibilita investigar se determinadas configurações estruturais, como tipos de representação semiótica ou níveis de demanda cognitiva, estão associadas a maiores níveis de dificuldade (FERREIRA, 2022).

O parâmetro  $c$  estima a probabilidade de acerto ao acaso, especialmente relevante em itens de múltipla escolha. Ele representa o limite inferior da Curva Característica do Item, indicando a chance mínima de acerto mesmo para candidatos com baixa proficiência. Esse parâmetro é influenciado pela qualidade dos distratores e pela plausibilidade das alternativas incorretas (COSTA, 2021).

A modelagem via TRI permite, a construção de escalas interpretativas de proficiência, nas quais níveis de desempenho podem ser associados a descrições pedagógicas. Desse modo, a proficiência estimada não se restringe a uma contagem de acertos, mas a uma posição em uma escala contínua que representa a probabilidade de mobilização de determinadas habilidades (INEP, 2020).

No contexto deste estudo, a TRI não é apenas um instrumento de mensuração, mas uma lente analítica. Ao considerar os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  como variáveis observáveis associadas a cada item da H21, torna-se possível examinar se características estruturais dos itens, como multimodalidade, modelagem ou aplicação direta de leis, apresentam padrões sistemáticos de associação com seus indicadores psicométricos. Assim, a articulação entre matriz de habilidades e modelagem psicométrica constitui o eixo central desta investigação: compreender como uma habilidade pedagogicamente definida se traduz em desempenho estatisticamente mensurado.

### **3.5 Representações em itens de Física**

A Física constitui um campo do conhecimento cuja produção e comunicação depende da articulação entre múltiplos registros de representação. Diferentemente de áreas predominantemente discursivas, o raciocínio físico mobiliza textos verbais, gráficos cartesianos, tabelas de dados, esquemas técnicos e expressões matemáticas de forma integrada. Essa característica torna os itens de Ciências da Natureza do ENEM intrinsecamente multimodais (VIEIRA, 2015).

No contexto avaliativo, a multimodalidade implica que a resolução de um item não depende exclusivamente da compreensão conceitual, mas da capacidade de coordenar diferentes formas de representação. A interpretação de um gráfico, por exemplo, exige que o estudante compreenda relações funcionais entre variáveis, identifique tendências, reconheça escalas e converta informações visuais em inferências conceituais. Esse processo envolve operações cognitivas distintas da leitura de um texto linear (OLIVEIRA, 2023).

À luz da teoria dos registros de representação semiótica, a compreensão plena de um conceito científico demanda não apenas o domínio de um único registro, mas a capacidade de conversão entre registros, como passar de uma representação gráfica para uma expressão algébrica ou para uma descrição verbal do fenômeno. A dificuldade pode emergir precisamente na etapa de conversão, e não na compreensão isolada de cada forma representacional.

As tabelas, por sua vez, organizam informações de modo não linear, exigindo do candidato leitura cruzada entre variáveis e comparação simultânea de múltiplos dados. Em itens que abordam eficiência energética ou consumo elétrico, por exemplo, a interpretação depende da seleção criteriosa de informações relevantes para atender ao comando da questão (COSTA, 2021). O desafio não é apenas matemático, mas informacional.

Esquemas e diagramas técnicos introduzem outro nível de complexidade. Eles operam como modelos simplificados de sistemas reais, utilizando convenções simbólicas próprias da Física. A compreensão desses esquemas pressupõe familiaridade com códigos específicos, como representação de resistores, fluxos de calor ou linhas de campo magnético. A ausência dessa familiaridade pode comprometer a aplicação correta da lei física pertinente (VIEIRA, 2015).

As equações, por sua vez, desempenham função estruturante no raciocínio físico. No ENEM, elas frequentemente aparecem não como instrumentos de cálculo extensivo, mas como representações de relações de proporcionalidade e dependência entre grandezas. Interpretar uma equação implica compreender seu significado físico e prever o comportamento do sistema diante da variação de uma variável (STRIEDER, 2017).

Assim, os itens de Física no ENEM constituem textos multimodais complexos, nos quais a informação é distribuída entre diferentes registros.

Figura 3 – Imagem de Item multimodal.

8. (Enem 2019) O espectrômetro de massa de tempo de voo é um dispositivo utilizado para medir a massa de íons. Nele, um íon de carga elétrica  $q$  é lançado em uma região de campo magnético constante  $B$ , descrevendo uma trajetória helicoidal, conforme a figura. Essa trajetória é formada pela composição de um movimento circular uniforme no plano  $YZ$  e uma translação ao longo do eixo  $X$ . A vantagem desse dispositivo é que a velocidade angular do movimento helicoidal do íon é independente de sua velocidade inicial. O dispositivo então mede o tempo  $t$  de voo para  $N$  voltas do íon. Logo, com base nos valores  $q, B, N$  e  $t$ , pode-se determinar a massa do íon.

A massa do íon medida por esse dispositivo será

a)  $\frac{qBt}{2\pi N}$

b)  $\frac{qBt}{\pi N}$

c)  $\frac{2qBt}{\pi N}$

d)  $\frac{qBt}{N}$

e)  $\frac{2qBt}{N}$

TEXTO

ESQUEMA TÉCNICO

EQUAÇÃO

PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS:  
 a) 1,66258  
 b) 1,37670  
 c) 0,17468

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do caderno de provas do ENEM de 2019.

Na figura 3 é possível visualizar um item e sua estrutura com três tipos de representação: no enunciado há um texto corrido; em seguida um esquema técnico explorado no item; por fim nas alternativas, uma representação em linguagem matemática que aparece em forma de equação.

Onde a resolução exige coordenação representacional, seleção de dados relevantes e conversão entre formas simbólicas. Sob essa perspectiva, a dificuldade do item pode estar associada não apenas ao conteúdo conceitual mobilizado, mas à complexidade da estrutura representacional envolvida.

### 3.6 Demandas cognitivas em problemas de Física

A noção de demanda cognitiva refere-se ao nível e ao tipo de processamento mental requerido para a resolução de uma tarefa. No campo da avaliação educacional, ela está associada à complexidade das operações intelectuais

mobilizadas pelo estudante, como identificar informações, aplicar procedimentos conhecidos, estabelecer relações ou construir modelos explicativos (BACICH, 2021).

No contexto dos itens de Física do ENEM, as demandas cognitivas não são homogêneas. A estrutura do item pode exigir desde processos de reconhecimento e interpretação até operações mais complexas de modelagem e tomada de decisão. Essa variação constitui elemento central para compreender diferenças de desempenho.

Em um primeiro nível, situam-se tarefas predominantemente interpretativas. Nesses casos, o estudante deve identificar informações explícitas no texto ou na representação visual e relacioná-las a um conceito físico já descrito. A exigência cognitiva concentra-se na leitura atenta e na seleção de dados relevantes, sem necessidade de reestruturação significativa do problema. Trata-se de um processamento de menor complexidade, embora não trivial, pois envolve letramento científica e compreensão contextual (AMORIM, 2021).

Em um segundo nível, encontram-se tarefas de aplicação de leis físicas. Aqui, o candidato precisa reconhecer o princípio pertinente, como conservação de energia ou relação entre potência e tensão elétrica, e utilizá-lo para resolver a situação proposta. Esse tipo de demanda pressupõe domínio conceitual e capacidade de selecionar o procedimento adequado ao contexto apresentado (CASTRO, 2019).

Um terceiro nível envolve avaliação e tomada de decisão. Nesses itens, o estudante deve comparar alternativas, julgar critérios técnicos ou analisar consequências de diferentes escolhas tecnológicas. A tarefa exige articulação entre dados quantitativos e interpretação qualitativa, ampliando o grau de integração cognitiva (INEP, 2020).

Por fim, o nível mais complexo corresponde à modelagem. Nessa situação, o candidato precisa transformar um contexto descrito, frequentemente rico em informações e representações, em um modelo físico simplificado que permita explicar ou prever o comportamento do sistema. A modelagem envolve selecionar variáveis relevantes, estabelecer relações entre grandezas e integrar múltiplos registros de representação (LIMA, 2021). Trata-se de uma operação cognitiva de maior autonomia e abstração.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Tipo de pesquisa**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa documental, de abordagem quantitativa, com delineamento descritivo-analítico. A investigação fundamenta-se na análise de documentos oficiais e microdados públicos disponibilizados pelo Inep, referentes às edições do ENEM entre 2010 e 2024.

A natureza documental decorre da utilização de cadernos de prova, matrizes de referência e planilhas de parâmetros psicométricos como fontes primárias de dados. A abordagem quantitativa justifica-se pelo uso de indicadores derivados da TRI, em específico os parâmetros (a e b), não levando em consideração o parâmetro c na análise. O delineamento descritivo-analítico visa identificar padrões de associação entre características estruturais dos itens e seus respectivos parâmetros psicométricos (a e b) ao longo de um recorte longitudinal de 15 anos.

### **4.2 Corpus do estudo**

O corpus da pesquisa é composto por 24 itens de Física classificados oficialmente como pertencentes à Habilidade H21 da Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. O recorte temporal abrange as edições do ENEM aplicadas entre 2010 e 2024, período correspondente à consolidação do modelo estruturado por habilidades implementado a partir da reformulação do exame em 2009. A escolha por uma análise longitudinal permite observar possíveis variações na estrutura dos itens e em seus parâmetros psicométricos ao longo do tempo, mantendo comparabilidade em razão da calibração via TRI.

### **4.3 Critérios de identificação dos itens**

A identificação dos itens ocorreu em três etapas sucessivas. Inicialmente procedeu-se à consulta aos cadernos de prova e gabaritos oficiais para localizar todas as questões associadas ao código da Habilidade H21. Em seguida, por meio de uma filtragem disciplinar, procedeu-se à exclusão de itens vinculados à Biologia ou Química que eventualmente compartilhassem a mesma habilidade, mantendo exclusivamente questões de Física. Por fim, realizou-se uma conferência individual dos itens por meio do código único de identificação presente nas planilhas de

parâmetros psicométricos disponibilizadas pelo Inep, garantindo correspondência exata entre item textual e dados estatísticos.

#### **4.4 Categorias de análise**

As categorias de análise foram estruturadas com o objetivo de permitir o cruzamento entre características pedagógicas dos itens e seus respectivos indicadores psicométricos. Inicialmente, cada questão foi classificada quanto ao seu tema central, sendo agrupada em duas áreas específicas da Física: Termodinâmica, envolvendo fenômenos relacionados a calor, trabalho e rendimento de sistemas térmicos, e Eletromagnetismo, contemplando situações associadas à geração, transmissão e consumo de energia elétrica.

Além da dimensão temática, procedeu-se à classificação quanto ao tipo de representação semiótica predominante no item. Para isso, observou-se a forma como a informação principal era apresentada ao candidato, identificando-se questões compostas exclusivamente por texto verbal e aquelas que integravam recursos adicionais, como gráficos cartesianos, tabelas de dados, esquemas técnicos ou combinações multimodais envolvendo mais de uma representação não verbal. Essa categorização permitiu examinar o grau de complexidade estrutural do item sob a perspectiva da multimodalidade.

Por fim, os itens foram classificados segundo o nível de demanda cognitiva exigido para resolução. A definição dessa variável considerou a operação intelectual predominante requerida pelo comando da questão. Assim, as tarefas foram categorizadas como de interpretação direta, quando demandavam essencialmente identificação e leitura de informações explícitas; aplicação de lei física, quando exigiam a mobilização de princípios consolidados da Física para resolver a situação proposta; avaliação ou tomada de decisão, quando envolviam julgamento comparativo entre alternativas com base em critérios técnicos; e modelagem, quando requeriam a construção de um modelo físico simplificado a partir de uma situação contextualizada. Essa classificação fundamenta-se na análise do processamento cognitivo necessário à resolução do problema, conforme discutido na seção teórica.

#### **4.5 Dados psicométricos**

Os parâmetros psicométricos ( $a$ ,  $b$  e  $c$ ) foram extraídos das planilhas oficiais da TRI disponibilizadas pelo Inep. O parâmetro  $b$  (dificuldade) constitui a

variável central da análise, sendo utilizado como indicador comparativo entre diferentes categorias estruturais dos itens. O parâmetro  $a$  (discriminação) foi considerado como variável complementar para interpretação do comportamento dos itens. O parâmetro  $c$  (acerto ao acaso) não foi levado em consideração para a análise dos itens.

#### **4.6 Procedimentos de análise**

Os procedimentos de análise iniciaram-se com a organização sistemática dos dados em planilhas estruturadas, contendo para cada item o ano de aplicação, o código identificador oficial, o tema, o tipo de representação semiótica, o nível de demanda cognitiva e os respectivos parâmetros psicométricos da Teoria de Resposta ao Item ( $a$  e  $b$ ).

Em seguida, realizou-se uma análise descritiva das frequências das categorias temáticas, representacionais e cognitivas ao longo do período investigado, com o objetivo de mapear a distribuição dos itens da Habilidade H21 entre 2010 e 2024. Posteriormente, procedeu-se ao cruzamento entre as variáveis qualitativas e os valores do parâmetro de dificuldade ( $b$ ), considerado o eixo central da investigação. Essa etapa consistiu na comparação dos níveis médios de dificuldade entre diferentes categorias de representação e de demanda cognitiva, buscando identificar padrões de variação associados à estrutura dos itens.

Também foi observado o parâmetro de discriminação ( $a$ ) como elemento complementar de interpretação, especialmente para verificar se itens estruturalmente mais complexos apresentavam comportamento psicométrico diferenciado. A análise adotou caráter descritivo-analítico, concentrando-se na identificação de tendências e correspondências sistemáticas entre estrutura pedagógica e desempenho estatístico, sem inferência causal.

#### **4.7 Aspectos éticos**

A pesquisa utiliza exclusivamente documentos oficiais e microdados anonimizados de domínio público disponibilizados pelo Inep. Não há acesso a informações individuais identificáveis, razão pela qual não se enquadra nas exigências de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme normativas vigentes para estudos baseados em dados públicos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Catálogo dos itens H21 (2010–2024)

O levantamento documental realizado nas edições do ENEM entre 2010 e 2024 permitiu identificar 24 itens de Física oficialmente associados à Habilidade H21 da Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Foi possível identificar dois dos itens com características interdisciplinares com a área da Química. A presença recorrente dessa habilidade ao longo dos 15 anos analisados evidencia sua estabilidade dentro da estrutura avaliativa do exame.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros psicométricos estimados para cada item (fase de calibração, antes da aplicação do ENEM), incluindo os coeficientes de discriminação (*a*) e dificuldade (*b*) constituindo a base empírica das análises subsequentes.

Tabela 1 - Inventário Geral e Parâmetros TRI dos Itens da Habilidade H21 dados do Inep.

| <b>Nº</b> | <b>Ano</b> | <b>Item (CO_ITEM)</b> | <b>Gabarito</b> | <b>Discriminação (a)</b> | <b>Dificuldade (b)</b> |
|-----------|------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| 1         | 2024       | 68866                 | E               | 0,57062                  | 0,78773                |
| 2         | 2023       | 88557                 | C               | 2,60420                  | 1,59379                |
| 3         | 2023       | 83558                 | E               | 1,52403                  | 0,95966                |
| 4         | 2022       | 81969                 | D               | 2,00512                  | 1,35453                |
| 5         | 2022       | 111558                | A               | 3,29206                  | 1,65709                |
| 6         | 2021       | 81640                 | B               | 1,70410                  | 1,93672                |
| 7         | 2020       | 84063                 | C               | 2,95498                  | 1,28416                |
| 8         | 2019       | 96556                 | A               | 1,66258                  | 1,37670                |
| 9         | 2019       | 89515                 | C               | 3,14647                  | 1,67856                |
| 10        | 2018       | 39342                 | D               | 2,07227                  | 1,12818                |
| 11        | 2018       | 11526                 | C               | 1,62341                  | 0,55700                |
| 12        | 2017       | 82421                 | C               | 2,89479                  | 1,73480                |
| 13        | 2017       | 48655                 | A               | 2,90081                  | 1,45295                |
| 14        | 2016       | 97272                 | B               | 1,43446                  | 1,45486                |
| 15        | 2015       | 17436                 | D               | 1,42594                  | 0,40984                |
| 16        | 2015       | 28652                 | D               | 2,67160                  | 1,44219                |
| 17        | 2014       | 18105                 | E               | 2,18334                  | 2,85490                |
| 18        | 2014       | 16671                 | A               | 1,16337                  | 1,38241                |
| 19        | 2013       | 7444                  | B               | 3,23090                  | 1,84990                |

|           |      |       |   |         |         |
|-----------|------|-------|---|---------|---------|
| <b>20</b> | 2013 | 38783 | A | 1,58320 | 2,88000 |
| <b>21</b> | 2012 | 14980 | B | 2,54200 | 1,52100 |
| <b>22</b> | 2011 | 70052 | C | 1,50263 | 0,97069 |
| <b>23</b> | 2011 | 70433 | C | 2,89783 | 0,65233 |
| <b>24</b> | 2010 | 70794 | D | 3,47034 | 0,64308 |

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos micro dados.

A análise dos valores do parâmetro  $b$  revela variação considerável entre os itens, com valores que vão de 0,40 (Item 15, 2015) de Termodinâmica a 2,88 (Item 20, 2013) de Eletromagnetismo. Essa amplitude indica que, mesmo dentro de uma única habilidade, os níveis de dificuldade apresentam dispersão significativa.

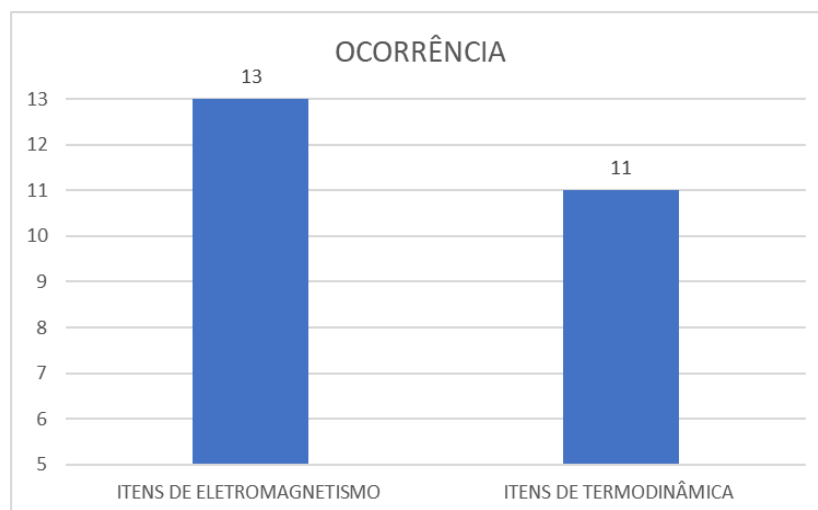
No que se refere ao parâmetro  $a$ , observam-se valores elevados em itens como o 24 (2010) e o 05 (2022), sugerindo forte capacidade discriminativa.

Esses dados confirmam que a H21 não se manifesta como um bloco homogêneo de dificuldade, mas como um conjunto de itens com comportamentos psicométricos distintos.

## 5.2 Distribuição por tema (Termodinâmica x Eletromagnetismo)

A classificação temática dos 24 itens demonstra alternância entre Termodinâmica e Eletromagnetismo ao longo do período analisado, sem concentração exclusiva em um único campo da Física. O Gráfico 1 apresenta a ocorrência dos itens relacionados a temática da sua estrutura.

Gráfico 1- Ocorrência dos itens segundo sua temática.

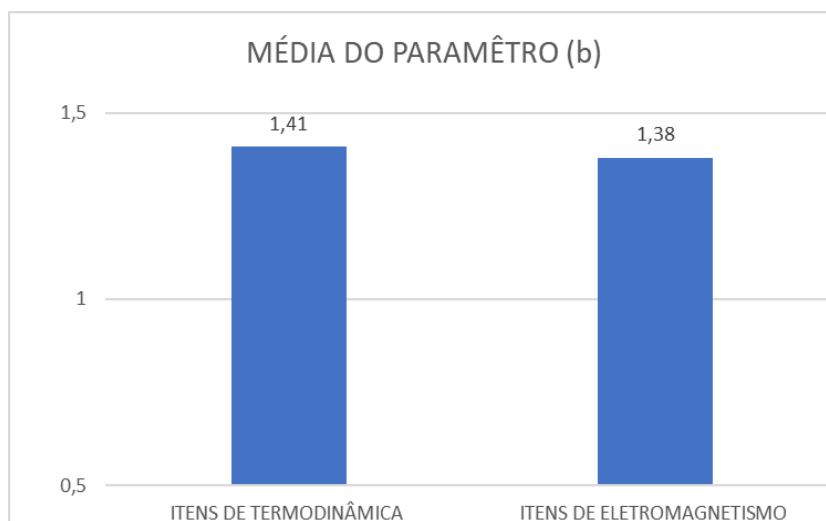


Fonte: elaborado pelo autor.

Fica evidente que os temas abordados são recorrentes no ENEM e estiveram presentes ao longo dos últimos 15 anos de aplicação do exame. Isso demonstra que se tratam de conteúdos relevantes, que devem ser consolidados ao longo do ensino médio, sendo também fundamentais para o desenvolvimento da habilidade H21. É possível notar uma leve predominância de itens relacionados ao conteúdo de Eletromagnetismo. No entanto, dado a quantidade total de itens (24), a amostra não possui uma estatística relevante para afirmar uma predominância absoluta de um conteúdo em detrimento de outro.

A observação preliminar dos valores do parâmetro  $b$  sugere que itens associados à Termodinâmica apresentam, em média, níveis de dificuldade levemente elevados em comparação com aqueles vinculados ao Eletromagnetismo como pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2- Média do parâmetro (b) relacionado ao tema do item.



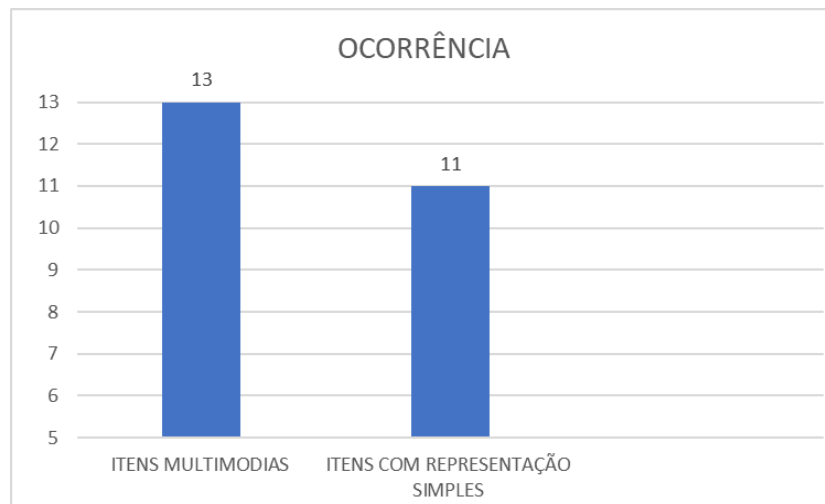
Fonte: elaborado pelo autor.

Assim como na análise do Gráfico 1, há um indicativo de leve aumento de dificuldade para os itens de Termodinâmica. Novamente, devido à baixa amostragem, é possível inferir que, de maneira geral, ambos os conteúdos apresentam dificuldade semelhante. Há alguns itens que se destacam com alto valor de dificuldade: item 17 ( $b=2,85490$ ; Termodinâmica) e item 20 ( $b=2,88000$ ; Eletromagnetismo). Esses resultados indicam que o conteúdo temático pode influenciar a dificuldade, mas não constitui fator isolado determinante.

### 5.3 Representações semióticas: frequências e padrões

A análise das representações semióticas revelou leve predominância de itens multimodais, combinando texto verbal com gráficos, tabelas ou esquemas técnicos, de acordo com as informações do Gráfico 3.

Gráfico 3- Ocorrência dos itens conforme sua representação semiótica.



Fonte: elaborado pelo autor.

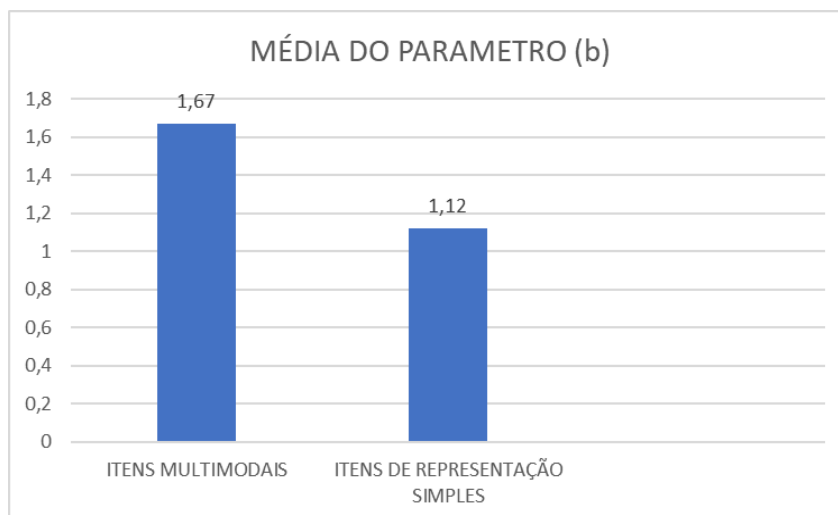
O Gráfico 3 mostra que, apesar da frequência de itens com mais de uma representação (itens multimodais) ser maior, é possível verificar um certo equilíbrio entre itens multimodais e itens com representação simples. Essa distribuição mostra a necessidade da dedicação do tempo escolar em parcelas aproximadamente equivalentes para o desenvolvimento de abordagens tanto diretas e objetivas quanto analíticas e interpretativas.

A literatura sobre letramento científico também enfatiza que a compreensão de fenômenos energéticos envolve interpretação de dados e tomada de decisão (CASTRO, 2019). Assim, a centralidade da H21 no exame reforça a necessidade de práticas pedagógicas que integrem modelagem, análise de gráficos e discussão de contextos tecnológicos reais.

Quando o item exige leitura de gráfico técnico ou interpretação de esquema físico, o estudante precisa realizar operações adicionais de decodificação e tradução representacional. Segundo (OLIVEIRA, 2023), dificuldades no letramento visual frequentemente interferem no desempenho em avaliações de Ciências, independentemente do domínio conceitual. No Gráfico 4 podemos observar essa

relação, onde itens multimodais apresentam maior valor de dificuldade e itens de representação simples exibem menores valores.

Gráfico 4- Média do parâmetro (b) relacionado às representações semióticas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar do Gráfico 4 ilustrar uma diferença significativa em termos de dificuldade para itens multimodais e itens de representação simples, a associação observada entre multimodalidade e maior dificuldade sugere que parte da complexidade do item pode residir na estrutura semiótica e não exclusivamente no conceito físico mobilizado. É importante ressaltar que se trata de uma diferença estatística, no entanto, os dados também mostram que nem todo item multimodal é necessariamente mais difícil, o que indica que a qualidade da integração entre registros é variável relevante.

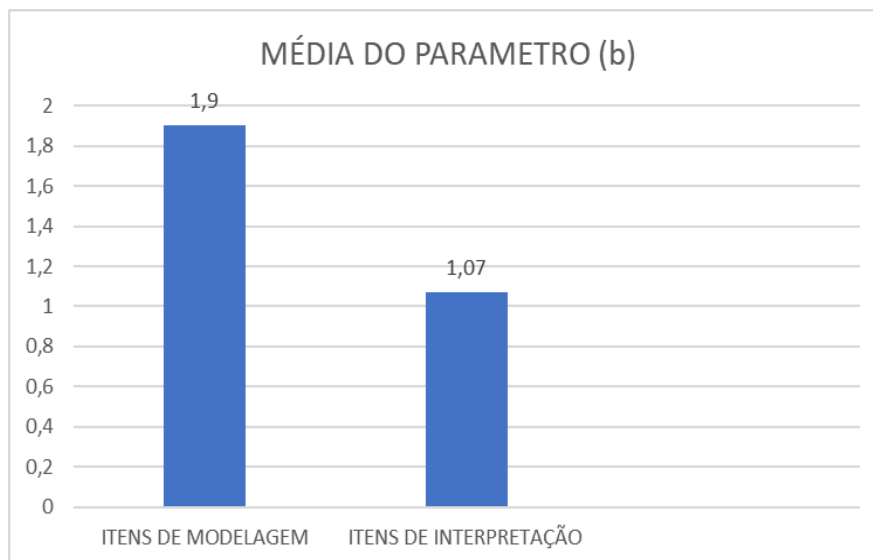
#### 5.4 Demandas cognitivas: frequências e padrões

A classificação teórica das demandas cognitivas evidencia uma gradação em quatro níveis de dificuldade: interpretação direta, aplicação de lei física, avaliação/tomada de decisão e modelagem. Para efeito de análise dos 24 itens, este trabalho recorta somente os extremos das demandas cognitivas: interpretação direta e modelagem.

Os itens classificados como de modelagem concentram alguns dos maiores valores do parâmetro  $b$ , indicando maior exigência cognitiva. Já itens classificados como de interpretação direta apresentam, em geral, valores de

dificuldade mais baixos. Esse resultado é consistente com estudos que indicam que tarefas de modelagem exigem seleção de variáveis relevantes, abstração e integração de múltiplas leis físicas (LIMA, 2021). O Gráfico 5 mostra o valor médio do parâmetro (b) associado à respectiva demanda cognitiva do item.

Gráfico 5- Média do parâmetro (b) relacionado às demandas cognitivas



Fonte: elaborado pelo autor.

O resultado apresentado no Gráfico 5 ratifica a previsão teórica e reflete as dificuldades dos estudantes na organização das ideias para a construção das respostas, esse resultado não apenas descreve padrões psicométricos, mas indica que a estrutura avaliativa do ENEM está alinhada a uma concepção de competência que exige coordenação representacional e autonomia cognitiva.

É impossível ignorar o fato de que o ENEM, como um instrumento de política pública, promove um trabalho escolar que entra em contradição com a realidade de boa parte das escolas brasileiras. A fragilidade do ensino e aprendizagem vivenciada no cotidiano escolar muitas vezes impede que essa política seja efetivamente concretizada.

### 5.5 Parâmetros TRI (a e b): descrição e destaques

O Item 20 (2013) de Eletromagnetismo apresenta o maior índice de dificuldade ( $b = 2,88$ ), enquanto o Item 15 (2015) de Termodinâmica registra o menor valor ( $b = 0,40$ ). Esse resultado dialoga com a concepção de competência defendida pela matriz do ENEM, segundo a qual uma mesma habilidade pode se manifestar em

diferentes níveis de complexidade cognitiva (BRASIL, [s.d.]). A variação observada confirma que a dificuldade não decorre apenas do conteúdo temático, mas do modo como o problema é estruturado.

Os maiores índices de discriminação foram observados nos Itens 24 (2010) de Termodinâmica e 05 (2022) de Eletromagnetismo, indicando forte capacidade da H21 distinguir candidatos com diferentes níveis de proficiência. Segundo o Inep (2020), itens com alto coeficiente de discriminação são particularmente eficazes para distinguir candidatos situados em diferentes níveis da escala de proficiência. A presença de altos valores de  $a$  em itens que exigem aplicação conceitual estruturada reforça a hipótese de que tarefas cognitivamente mais exigentes tendem a diferenciar melhor níveis de domínio.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a Habilidade H21 nas edições do ENEM entre 2010 e 2024, com foco na relação entre estrutura dos itens e seus parâmetros psicométricos estimados pela TRI. A partir do levantamento de 24 itens de Física oficialmente associados a essa habilidade, foi possível observar que a H21 se manifesta nos temas de Termodinâmica e Eletromagnetismo de forma heterogênea quanto à dificuldade, discriminação e estrutura representacional.

Os resultados indicam que a variação do parâmetro de dificuldade  $b$  não depende exclusivamente do conteúdo temático, mas associa-se também ao tipo de representação semiótica e ao nível de demanda cognitiva exigido pelo item. Itens que envolvem múltiplas representações, como gráficos e esquemas técnicos, e aqueles classificados como de modelagem tendem a apresentar valores mais elevados de dificuldade, sugerindo que a complexidade estrutural do item reflete no comportamento psicométrico observado.

O estudo também evidenciou que a H21 ocupa posição estratégica na matriz do ENEM, ao articular conceitos físicos fundamentais com contextos tecnológicos e sociais. A análise dos parâmetros de discriminação  $a$  demonstrou que determinados itens possuem elevada capacidade de distinguir candidatos situados em diferentes níveis da escala de proficiência, reforçando a relevância dessa habilidade na estrutura avaliativa do exame.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados sugerem que o ensino de Física precisa contemplar de maneira mais sistemática o desenvolvimento do letramento científico multimodal, incluindo a leitura e a interpretação de gráficos, tabelas e esquemas técnicos. A ênfase exclusiva na aplicação algorítmica de fórmulas mostra-se insuficiente diante da estrutura dos itens analisados.

Entre as limitações do estudo, é possível destacar o número restrito de itens analisados e a ausência de cruzamento com variáveis sociodemográficas dos candidatos. Além disso, a abordagem adotada foi descritivo-analítica, não permitindo estabelecer relações causais entre estrutura do item e desempenho.

Como encaminhamento para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar a análise com aplicação de testes estatísticos inferenciais, bem como investigar, por meio de estudos qualitativos ou experimentais, os processos cognitivos mobilizados

pelos estudantes durante a resolução de itens que envolvem alta complexidade representacional e modelagem.

Assim, conclui-se que a Habilidade H21, ao longo das edições analisadas, mantém papel relevante na avaliação de competências relacionadas à interpretação de transformações de energia, e sua estrutura oferece elementos importantes para a compreensão das dinâmicas entre avaliação, representação e aprendizagem em Física no contexto do ENEM.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. H. A.; MAZZOTTI, T. B. Ensino de artes e literatura transposto para os itens do Enem. **Revista Brasileira de Educação**, v. 23, p. e230085, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782018230085>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- AMORIM, M. Á.; SILVA, T. C. Letramentos em disputa: o embate entre tradição e práticas literárias de reexistência no Exame Nacional do Ensino Médio. **Trabalhos em Linguística Aplicada**, Campinas, n. 60.3, p. 718-734, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103181311067511520211024>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- BACICH, L.; MORAN, J.; VALENTE, J. A. **Metodologias ativas na educação**: uma abordagem teórico-prática. São Paulo: Editora do Brasil, 2021.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Matriz de Referência ENEM**. Brasília, DF: Inep, [s.d.]. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/download/ENEM/matriz\\_referencia.pdf](https://download.inep.gov.br/download/ENEM/matriz_referencia.pdf). Acesso em: 24 fev. 2026.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Provas e Gabaritos do ENEM – Edições 2019 a 2024**. Brasília: Inep, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- CASTRO, G. A. M.; DE BRITO, L. P. A abordagem CTS em questões de Física do ENEM: Um olhar abrangendo as habilidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Anais [...]**. Natal: ENPEC, 2019.
- COSTA, A. L.; ALMEIDA, M. G. O uso da estatística e da probabilidade no ensino médio: uma abordagem à luz da BNCC. **Revista Brasileira de Educação Matemática**, São Paulo, v. 29, n. 60, p. 35–52, 2021.
- FERREIRA, D. P.; MENDONÇA, C. L. Metodologias ativas no ensino de estatística e probabilidade: práticas alinhadas à BNCC. **Educação Matemática Debate**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 11–28, 2022.
- FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2019.
- FRANCO, M. L. P. B. **Análise de Conteúdo**. 5. ed. Campinas: Autores Associados, 2018.
- GARCIA, F. M. *et al.* O ENEM como política de avaliação e as contradições ao processo de democratização educacional. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 39, n. 3, p.

01–21, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/perspectiva/article/view/68157/47560>. Acesso em: 24 fev. 2026.

INEP. **Matriz de Referência de Matemática e suas Tecnologias – ENEM**. Brasília: MEC/INEP, 2020. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/enem/matriz\\_referencia/matriz\\_referencia\\_matematica.pdf](https://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/matriz_referencia/matriz_referencia_matematica.pdf). Acesso em: 24 fev. 2026.

LIMA, J. R.; COSTA, V. S. BNCC e matemática no ensino médio: uma leitura crítica da abordagem por competências. **Revista de Educação Matemática da Região Sul**, v. 12, n. 2, p. 155–178, 2021.

MIRANDA, Leonídio Antonio Sousa de; FERREIRA, Andrea Claudia Freitas; DIAS, Glaecir Roseni Mundstock. Análise de conteúdo das questões de Fisiologia Humana da Prova de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do Exame Nacional do Ensino Médio (1998-2016). **Ciência & Educação**, v. 25, n. 2, p. 375-393, 2019.

OLIVEIRA, D. A.; CHAVES, T. V. Um estudo sobre a base nacional comum curricular (BNCC) a partir dos pressupostos teóricos da abordagem ciência-tecnologia-sociedade-ambiente (CTSA). **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v. 5, n. 3, p. 631–656, 2021. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/rebecem/article/view/28509>. Acesso em: 24 fev. 2026.

OLIVEIRA, R.; MENDES, J. A BNCC como norte para o ensino de estatística e probabilidade: desafios e possibilidades. **Revista Brasileira de Educação Matemática**, São Paulo, v. 31, n. 66, p. 120-135, 2023.

PASQUALI, L.; PRIMI, R. Fundamentos da teoria da resposta ao item – TRI. **Avaliação Psicológica: Interamerican Journal of Psychological Assessment**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 99-110, 2003.

SAVIANI, D. Educação escolar, currículo e sociedade: o problema da Base Nacional Comum Curricular. **Movimento – Revista de Educação**, Niterói, v. 4, p. 54-84, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/revistamovimento/article/view/32575/18710>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SANTOS, M.; OLIVEIRA, R. Probabilidade e tomada de decisão: uma abordagem com base na BNCC. **Boletim de Educação Matemática**, São Paulo, v. 36, n. 68, p. 210-225, 2021.

STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, M. R. D. Educação CTS: Parâmetros e Propósitos Brasileiros. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 27-56, 2017.

VIEIRA, J. S.; SILVESTRE, C. **Introdução à multimodalidade**: contribuições da gramática sistêmico-funcional, análise de discurso crítica, semiótica social. Brasília: J. Antunes Vieira, 2015.

## **APÊNDICE A – Inventário Consolidado e Parâmetros Psicométricos dos Itens da Habilidade H21 (2010–2024)**

A Tabela 2 apresenta a consolidação dos 24 itens selecionados para o estudo, integrando o tema de Física, a classificação semiótica, o nível de demanda cognitiva e os parâmetros oficiais da Teoria de Resposta ao Item (TRI) extraídos dos microdados do Inep.

Tabela 2 - Inventário Consolidado e Parâmetros Psicométricos dos Itens da Habilidade H21 (2010–2024)

| <b>Código</b> | <b>Ano</b> | <b>CO_ITEM</b> | <b>Tema de Física</b> | <b>Representação Semiótica</b> | <b>Demanda Cognitiva</b> | <b>Discriminação (a)</b> | <b>Dificuldade (b)</b> | <b>Acerto Acaso (c)</b> | <b>ao</b> |
|---------------|------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| 1             | 2024       | 68866          | Eletromagnetismo      | Esquema Técnico                | Interpretação Visual     | 0,57062                  | 0,78773                | 0,02280                 |           |
| 2             | 2023       | 88557          | Termodinâmica         | Texto Padrão                   | Aplicação de Lei         | 2,60420                  | 1,59379                | 0,26321                 |           |
| 3             | 2023       | 83558          | Termodinâmica         | Gráfico (P x T)                | Modelagem                | 1,52403                  | 0,95966                | 0,15221                 |           |
| 4             | 2022       | 81969          | Eletromagnetismo      | Desenho Técnico                | Aplicação de Lei         | 2,00512                  | 1,35453                | 0,16882                 |           |
| 5             | 2022       | 111558         | Eletromagnetismo      | Esquema de Circuito            | Aplicação de Lei         | 3,29206                  | 1,65709                | 0,14008                 |           |
| 6             | 2021       | 81640          | Termodinâmica         | Texto e Tirinha                | Interpretação            | 1,70410                  | 1,93672                | 0,18178                 |           |
| 7             | 2020       | 84063          | Eletromagnetismo      | Texto Contextualizado          | Interpretação            | 2,95498                  | 1,28416                | 0,16449                 |           |
| 8             | 2019       | 96556          | Eletromagnetismo      | Desenho 3D                     | Modelagem                | 1,66258                  | 1,37670                | 0,17468                 |           |
| 9             | 2019       | 89515          | Termodinâmica         | Tabela Nutricional             | Aplicação de Lei         | 3,14647                  | 1,67856                | 0,32644                 |           |
| 10            | 2018       | 39342          | Eletromagnetismo      | Esquema de Pilha               | Interpretação            | 2,07227                  | 1,12818                | 0,24080                 |           |
| 11            | 2018       | 11526          | Eletromagnetismo      | Texto Técnico                  | Interpretação            | 1,62341                  | 0,55700                | 0,27893                 |           |
| 12            | 2017       | 82421          | Eletromagnetismo      | Tabela de Potenciais           | Aplicação de Lei         | 2,89479                  | 1,73480                | 0,11597                 |           |
| 13            | 2017       | 48655          | Eletromagnetismo      | Lista de Componentes           | Modelagem                | 2,90081                  | 1,45295                | 0,15165                 |           |
| 14            | 2016       | 97272          | Eletromagnetismo      | Texto e Esquema                | Interpretação            | 1,43446                  | 1,45486                | 0,11669                 |           |
| 15            | 2015       | 17436          | Termodinâmica         | Texto Cotidiano                | Interpretação            | 1,42594                  | 0,40984                | 0,03604                 |           |
| 16            | 2015       | 28652          | Termodinâmica         | Tabela de Dados                | Aplicação de Lei         | 2,67160                  | 1,44219                | 0,18525                 |           |
| 17            | 2014       | 18105          | Termodinâmica         | Gráfico (Q x h)                | Modelagem                | 2,18334                  | 2,85490                | 0,11594                 |           |
| 18            | 2014       | 16671          | Eletromagnetismo      | Esquema (Ímã/Espira)           | Aplicação de Lei         | 1,16337                  | 1,38241                | 0,12073                 |           |
| 19            | 2013       | 7444           | Termodinâmica         | Texto Numérico                 | Aplicação de Lei         | 3,23090                  | 1,84990                | 0,27740                 |           |
| 20            | 2013       | 38783          | Eletromagnetismo      | Desenho (Barra/Mola)           | Modelagem                | 1,58320                  | 2,88000                | 0,14210                 |           |
| 21            | 2012       | 14980          | Termodinâmica         | Texto e Diagrama               | Interpretação            | 2,54200                  | 1,52100                | 0,15300                 |           |
| 22            | 2011       | 70052          | Eletromagnetismo      | Texto e Esquema                | Interpretação            | 1,50263                  | 0,97069                | 0,13153                 |           |
| 23            | 2011       | 70433          | Termodinâmica         | Texto e Gráfico                | Interpretação            | 2,89783                  | 0,65233                | 0,11280                 |           |
| 24            | 2010       | 70794          | Termodinâmica         | Relato de Experimento          | Aplicação de Lei         | 3,47034                  | 0,64308                | 0,16107                 |           |

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2026) com base nos micro dados do Inep.

## APÊNDICE B – Regras Operacionais para Classificação das Categorias de Análise

Este documento descreve os critérios técnicos utilizados para a classificação dos itens da Habilidade H21, servindo de base para a organização dos dados apresentados no Apêndice A. Para cada categoria, apresenta-se um exemplo prático extraído do corpus desta pesquisa.

### I. Categorias de Densidade Textual (Suporte do Item)

| <b>Categoria</b>     | <b>Descrição Operacional</b>  | <b>Exemplo do Apêndice C</b>  |
|----------------------|---|---|
| <b>Texto Simples</b> | Enunciados diretos, focados em um fenômeno cotidiano e sem cruzamento complexo de dados.        | <b>Item 15 (2015):</b> Relato simples sobre a dificuldade de reabrir uma geladeira.           |
| <b>Texto Médio</b>   | Exige leitura atenta para relacionar conceitos físicos com situações técnicas ou experimentais. | <b>Item 11 (2018):</b> Descrição do funcionamento técnico das etiquetas RFID.                 |
| <b>Texto Denso</b>   | Carga elevada de informações, misturando dados numéricos, técnicos e contextos científicos.     | <b>Item 5 (2022):</b> Tabela de danos físicos por corrente elétrica e valores de resistência. |

### II. Categorias de Representação Semiótica (Linguagem Visual)

| <b>Categoria</b>       | <b>Descrição Operacional</b>  | <b>Exemplo do Apêndice C</b>   |
|------------------------|---|--|
| <b>Texto Padrão</b>    | O item não possui imagens; a informação está apenas no enunciado escrito.     | <b>Item 6 (2021):</b> Discussão sobre suor e umidade (embora use tirinha, a física está no texto). |
| <b>Esquema Técnico</b> | Ilustrações de aparelhos, circuitos ou sistemas (ímãs, fiação, motores).      | <b>Item 4 (2022):</b> Desenho de bússolas ao redor de um fio com corrente elétrica.                |
| <b>Gráfico/Tabela</b>  | Exige extração de valores ou identificação de tendências em suportes visuais. | <b>Item 3 (2023):</b> Gráficos de pressão versus temperatura em pneus.                             |

### III. Categorias de Demanda Cognitiva (Esforço Mental)

| <b>Categoria</b>        | <b>Descrição Operacional</b>   | <b>Exemplo do Apêndice C</b>  |
|-------------------------|--|---|
| <b>Interpretação</b>    | Reconhecer um conceito ou identificar uma transformação de energia já descrita.            | <b>Item 7 (2020):</b> Identificar a Blindagem Eletrostática como proteção em carros.        |
| <b>Aplicação de Lei</b> | Uso de relação matemática ou lei específica (ex: $P.V = n.R.T$ ) para resolver o problema. | <b>Item 2 (2023):</b> Cálculo da pressão de explosão de um aerossol usando a Lei dos Gases. |
| <b>Modelagem</b>        | Integração de imagem, texto e conceitos para construir uma explicação do zero.             | <b>Item 17 (2014):</b> Comparar gases M e V usando gráfico de calor e elevação de pistão.   |

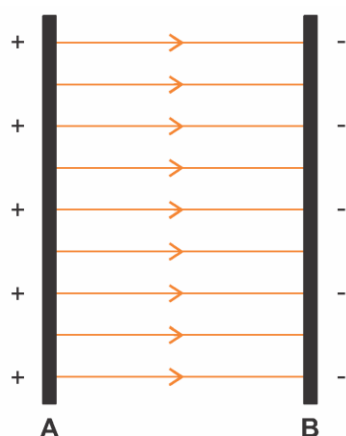
### IV. Categorias Temáticas

| <b>Categoria</b>        | <b>Descrição Operacional</b>  | <b>Exemplo do Apêndice C</b>   |
|-------------------------|---|--|
| <b>Termodinâmica</b>    | Trocas de calor, máquinas térmicas, gases e mudanças de estado físico.  | <b>Item 21 (2012):</b> Eficiência de motores a combustão e o Ciclo de Carnot.        |
| <b>Eletromagnetismo</b> | Eletricidade, magnetismo, motores, geradores e indução eletromagnética. | <b>Item 13 (2017):</b> Construção de um pequeno gerador elétrico com ímãs e espiras. |

## APÊNDICE C – Conjunto de questões do ENEM analisadas na pesquisa com suas respectivas resoluções

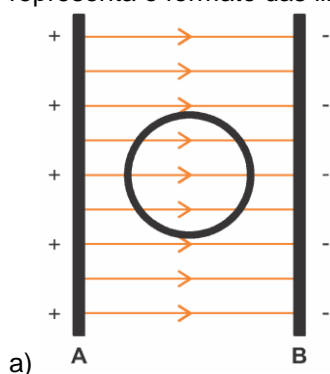
O presente documento reúne as questões de Física relacionadas à Habilidade H21, com foco nos conteúdos de Termodinâmica e Eletromagnetismo, presentes nas edições do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) entre 2010 e 2024, bem como as resoluções detalhadas de cada item analisado.

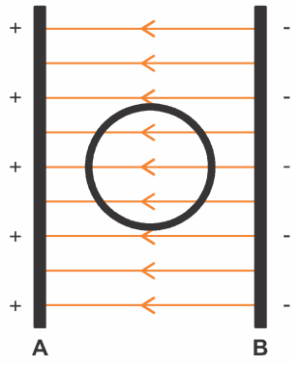
1. (Enem 2024) Em um experimento de laboratório, duas barras metálicas, **A** e **B**, são carregadas com cargas opostas e imersas em óleo. Farelo de milho é jogado sobre o óleo e, após um certo tempo, o farelo assume o formato das linhas de campo elétrico entre as barras. A figura representa a vista superior desse experimento.



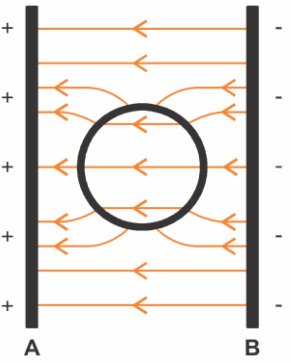
ALMEIDA, M. A. T. *Introdução às ciências físicas 2* –volume 4: módulo 4. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2007 (adaptado).

Ao repetir o experimento colocando um cilindro metálico oco entre as placas, o esquema que representa o formato das linhas de campo assumido pelo farelo é:

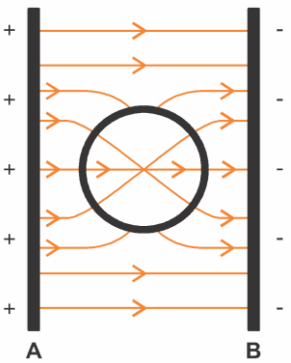




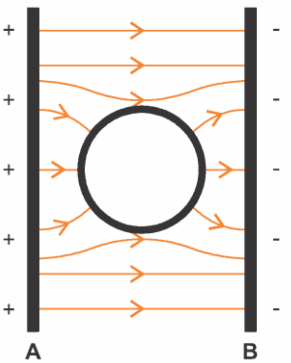
b)



c)



d)



e)

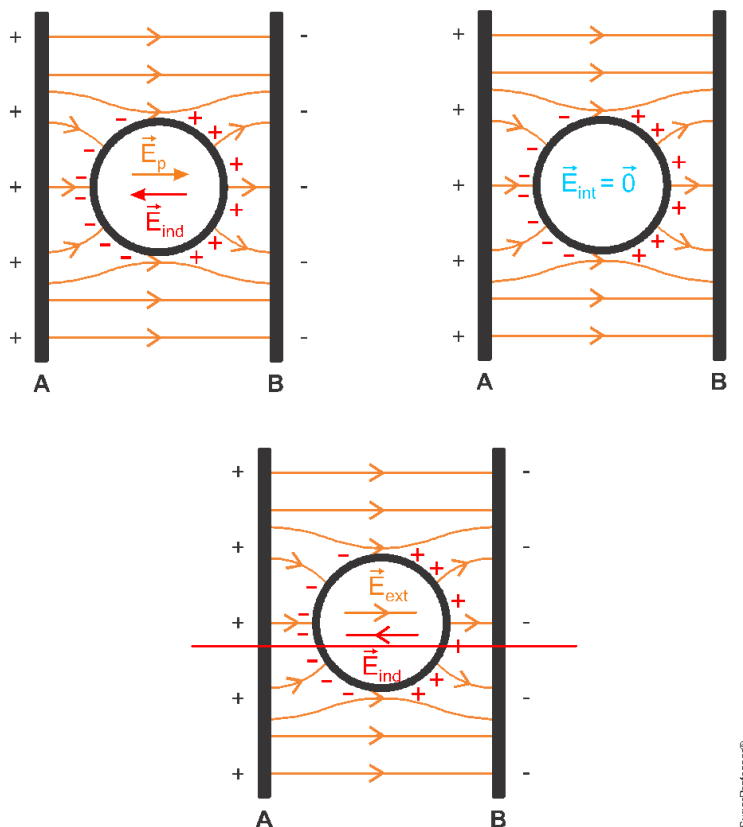


**Resposta:**

[E]

O campo elétrico das placas ( $\vec{E}_p$ ) induz cargas elétricas na superfície do cilindro metálico, gerando um campo elétrico induzido ( $\vec{E}_{ind}$ ), em sentido oposto ao do indutor. No equilíbrio, no interior do cilindro, o campo elétrico resultante ( $\vec{E}_{int}$ ), desses dois campos é nulo. A figura ilustra a situação descrita.

$$\vec{E}_{int} = \vec{E}_p + \vec{E}_{ind} \quad \therefore \quad \vec{E}_{int} = \vec{0}.$$



2. (Enem 2023) De acordo com a Constituição Federal, é competência dos municípios o gerenciamento dos serviços de limpeza e coleta dos resíduos urbanos (lixo). No entanto, há relatos de que parte desse lixo acaba sendo incinerado, liberando substâncias tóxicas para o ambiente e causando acidentes por explosões, principalmente quando ocorre a incineração de frascos de aerossóis (por exemplo: desodorantes, inseticidas e repelentes). A temperatura elevada provoca a vaporização de todo o conteúdo dentro desse tipo de frasco, aumentando a pressão em seu interior até culminar na explosão da embalagem.

ZVIBIL, V. Z. et al. *Cartilha de limpeza urbana*. Disponível em: [www.ibam.org.br](http://www.ibam.org.br). Acesso em: 6 jul. 2015 (adaptado).

Suponha um frasco metálico de um aerossol de capacidade igual a 100 mL, contendo 0,1 mol de produtos gasosos à temperatura de 650°C, no momento da explosão.

Considere:  $R = 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

A pressão, em atm, dentro do frasco, no momento da explosão, é mais próxima de

- a) 756.
- b) 533.
- c) 76.
- d) 53.
- e) 13.

### Resposta:

[C]

$$V = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

$$n = 0,1 \text{ mol}$$

$$T = 650 + 273 = 923 \text{ K}$$

$$R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$P \times V = n \times R \times T$$

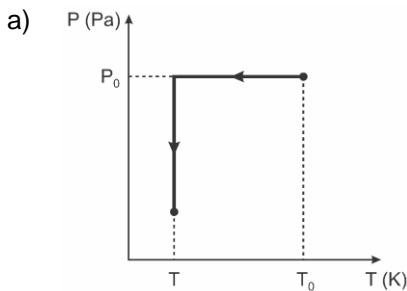
$$P \times 0,1 \text{ L} = 0,1 \text{ mol} \times 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 923 \text{ K}$$

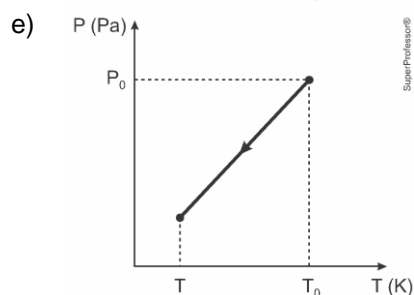
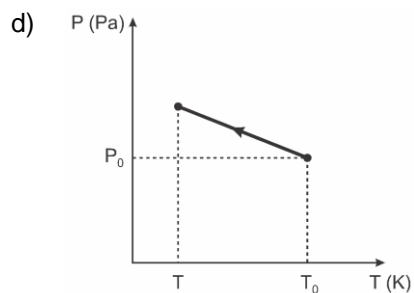
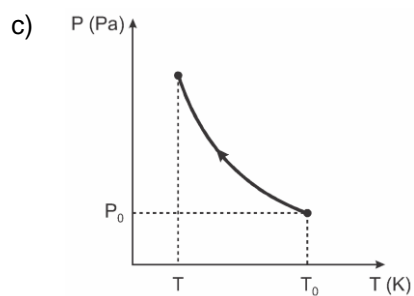
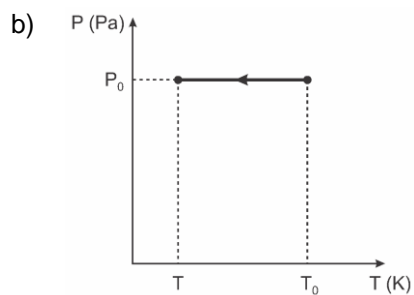
$$P = \frac{0,1 \text{ mol} \times 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 923 \text{ K}}{0,1 \text{ L}} = 75,686 \text{ atm}$$

$$P \approx 76 \text{ atm}$$

3. (Enem 2023) O manual de um automóvel alerta sobre os cuidados em relação à pressão do ar no interior dos pneus. Recomenda-se que a pressão seja verificada com os pneus frios (à temperatura ambiente). Um motorista, desatento a essa informação, realizou uma viagem longa sobre o asfalto quente e, em seguida, verificou que a pressão  $P_0$  no interior dos pneus não era a recomendada pelo fabricante. Na ocasião, a temperatura dos pneus era  $T_0$ . Após um longo período em repouso, os pneus do carro atingiram a temperatura ambiente  $T$ . Durante o resfriamento, não há alteração no volume dos pneus e na quantidade de ar no seu interior. Considere o ar dos pneus um gás perfeito (também denominado gás ideal).

Durante o processo de resfriamento, os valores de pressão em relação à temperatura ( $P \times T$ ) são representados pelo gráfico:





**Resposta:**

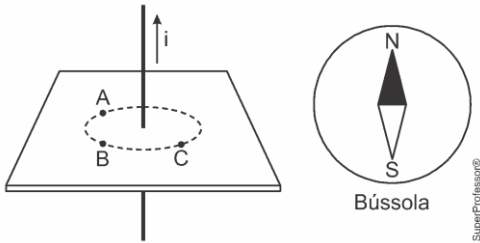
[E]

Trata-se de um resfriamento isométrico. Aplicando a equação de Clapeyron:

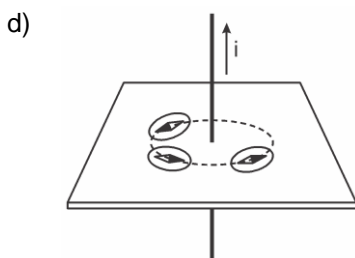
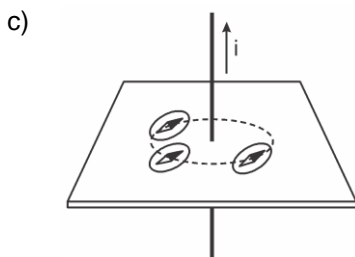
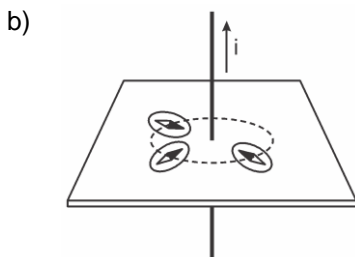
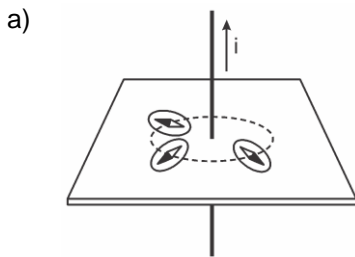
$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nR}{V} T$$

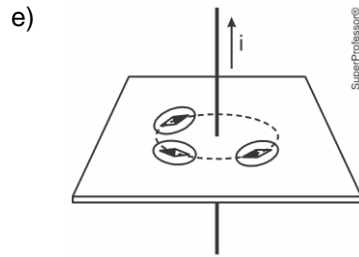
Essa expressão, que é uma das leis de Charles Gay-Lussac, mostra que numa transformação isométrica, pressão e volume são diretamente proporcionais. Então, como se sabe da Matemática, o gráfico  $P \times T$  é um segmento reta que passa pela origem.

4. (Enem 2022) O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica. A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica  $i$ , constante e com sentido para cima. Os pontos **A**, **B** e **C** estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.



Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente  $i$ , as respectivas configurações das bússolas nos pontos **A**, **B** e **C** serão

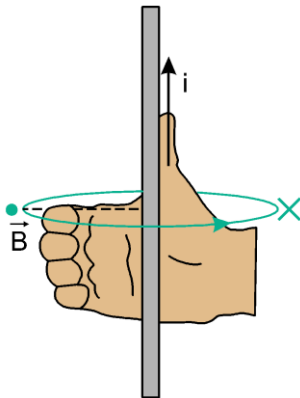




**Resposta:**

[D]

A orientação da agulha da bússola segue a regra da mão direita, ilustrada abaixo.



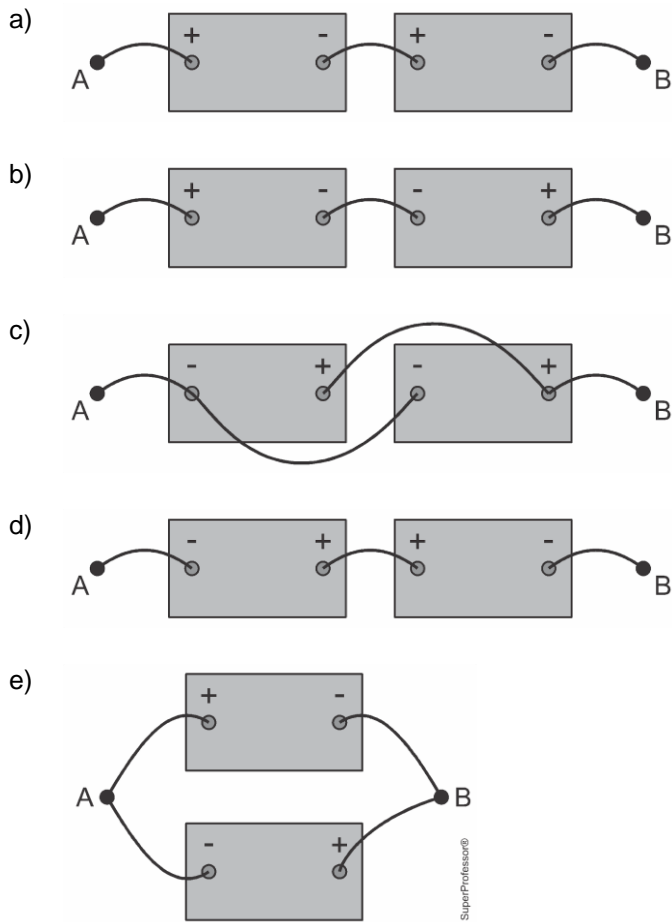
5. (Enem 2022) O quadro mostra valores de corrente elétrica e seus efeitos sobre o corpo humano.

| Corrente elétrica   | Dano físico                       |
|---------------------|-----------------------------------|
| Até 10 mA           | Dor e contração muscular          |
| De 10 mA até 20 mA  | Aumento das contrações musculares |
| De 20 mA até 100 mA | Parada respiratória               |
| De 100 mA até 3 A   | Fibrilação ventricular            |
| Acima de 3 A        | Parada cardíaca e queimaduras     |

A corrente elétrica que percorrerá o corpo de um indivíduo depende da tensão aplicada e da resistência elétrica média do corpo humano. Esse último fator está intimamente relacionado com a umidade da pele, que seca apresenta resistência elétrica da ordem de  $500 \text{ k}\Omega$ , mas, se molhada, pode chegar a apenas  $1 \text{ k}\Omega$ . Apesar de incomum, é possível sofrer um acidente utilizando baterias de 12V. Considere que um indivíduo com a pele molhada sofreu uma parada respiratória ao tocar simultaneamente nos pontos A e B de uma associação de duas dessas baterias.

DURAN, J. E. R. *Biofísica: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003 (adaptado).

Qual associação de baterias foi responsável pelo acidente?



**Resposta:**

[A]

Calculando o intervalo de tensões para a corrente elétrica com a pele molhada acarretar parada respiratória:

$$U = Ri \begin{cases} U_{\text{mín}} = 1.000 \cdot 20 \times 10^{-3} = 20 \text{ V} \\ U_{\text{máx}} = 1.000 \cdot 100 \times 10^{-3} = 100 \text{ V} \end{cases}$$

Dentro desse intervalo, pode se obter tensão de 24 V associando duas baterias de 12V, em série.

6. (Enem 2021) Considere a tirinha, na situação em que a temperatura do ambiente é inferior à temperatura corporal dos personagens.



WATTERSON, B. Disponível em: <https://novaescola.org.br>. Acesso em: 11 ago. 2014.

O incômodo mencionado pelo personagem da tirinha deve-se ao fato de que, em dias úmidos,

- a temperatura do vapor-d'água presente no ar é alta.
- o suor apresenta maior dificuldade para evaporar do corpo.
- a taxa de absorção de radiação pelo corpo torna-se maior.
- o ar torna-se mau condutor e dificulta o processo de liberação de calor.
- o vapor-d'água presente no ar condensa-se ao entrar em contato com a pele.

### Resposta:

[B]

#### [Resposta do ponto de vista da disciplina de Física]

O incômodo mencionado pelo personagem deve-se ao fato de que, em dias úmidos, a evaporação do suor fica dificultada, impedindo que a pele seja refrescada pela perda de calor.

#### [Resposta do ponto de vista da disciplina de Biologia]

Em dias muito úmidos, a taxa de evaporação do suor excretado por certos mamíferos é reduzida, resultando em maior sensação de calor.

7. (Enem 2020) Há muitos mitos em relação a como se proteger de raios, cobrir espelhos e não pegar em facas, garfos e outros objetos metálicos, por exemplo. Mas, de fato, se houver uma tempestade com raios, alguns cuidados são importantes, como evitar ambientes abertos. Um bom abrigo para proteção é o interior de um automóvel, desde que este não seja conversível.

OLIVEIRA, A. *Raios nas tempestades de verão*. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br>. Acesso em: 10 dez. 2014 (adaptado).

Qual o motivo físico da proteção fornecida pelos automóveis, conforme citado no texto?

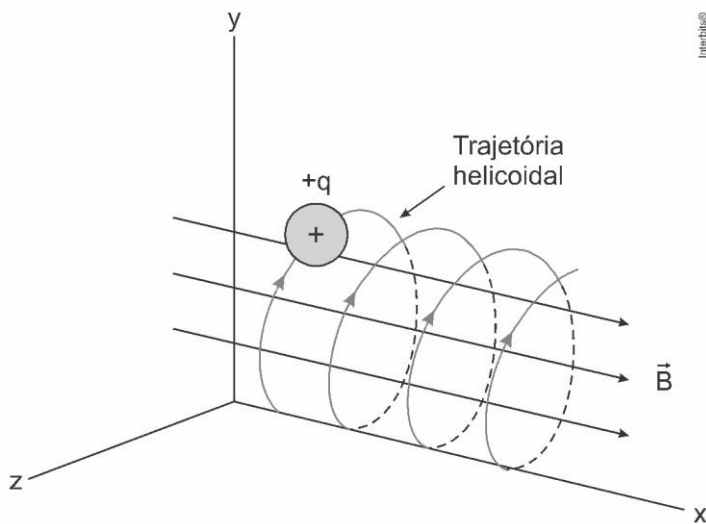
- Isolamento elétrico dos pneus.
- Efeito de para-raios da antena.
- Blindagem pela carcaça metálica.
- Escoamento da água pela lataria.
- Aterramento pelo fio terra da bateria.

**Resposta:**

[C]

O fenômeno está relacionado à blindagem eletrostática (Gaiola de Faraday). No interior de um condutor em equilíbrio eletrostático o campo elétrico é nulo, pois o excesso de carga distribui-se na superfície externa do condutor.

8. (Enem 2019) O espectrômetro de massa de tempo de voo é um dispositivo utilizado para medir a massa de íons. Nele, um íon de carga elétrica  $q$  é lançado em uma região de campo magnético constante  $\vec{B}$ , descrevendo uma trajetória helicoidal, conforme a figura. Essa trajetória é formada pela composição de um movimento circular uniforme no plano  $YZ$  e uma translação ao longo do eixo  $X$ . A vantagem desse dispositivo é que a velocidade angular do movimento helicoidal do íon é independente de sua velocidade inicial. O dispositivo então mede o tempo  $t$  de voo para  $N$  voltas do íon. Logo, com base nos valores  $q, B, N$  e  $t$ , pode-se determinar a massa do íon.



A massa do íon medida por esse dispositivo será

- a)  $\frac{qBt}{2\pi N}$   
 b)  $\frac{qBt}{\pi N}$   
 c)  $\frac{2qBt}{\pi N}$   
 d)  $\frac{qBt}{N}$   
 e)  $\frac{2qBt}{N}$

**Resposta:**

[A]

O raio da órbita da partícula é dado por:

$$F_{\text{mag}} = F_{\text{cp}}$$

$$qBv = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

E o seu período:

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$T = \frac{2\pi \cdot mv}{v \cdot qB}$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Como o íon descreve  $N$  voltas num tempo  $t$ , vem:

$$t = TN = \frac{2\pi mN}{qB}$$

$$\therefore m = \frac{qBt}{2\pi N}$$

9. (Enem 2019) Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é  $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , e sua temperatura inicial era de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

| Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas) |         |
|---|---------|
| Valor energético                            | 70 kcal |
| Carboidratos                                | 0,8 g   |
| Proteínas                                   | 3,5 g   |
| Gorduras totais                             | 3,5 g   |

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

- a) 25
- b) 27
- c) 45
- d) 50
- e) 70

**Resposta:**

[C]

Energia liberada na queima de 2,5 g de castanha-de-caju:

$$Q = 2,5 \text{ g} \cdot \frac{70000 \text{ cal}}{10 \text{ g}} = 17500 \text{ cal}$$

Energia aproveitada para aquecer 350 g de água:

$$Q' = \frac{50}{100} \cdot 17500 \text{ cal} = 8750 \text{ cal}$$

Logo, a temperatura final da água foi de:

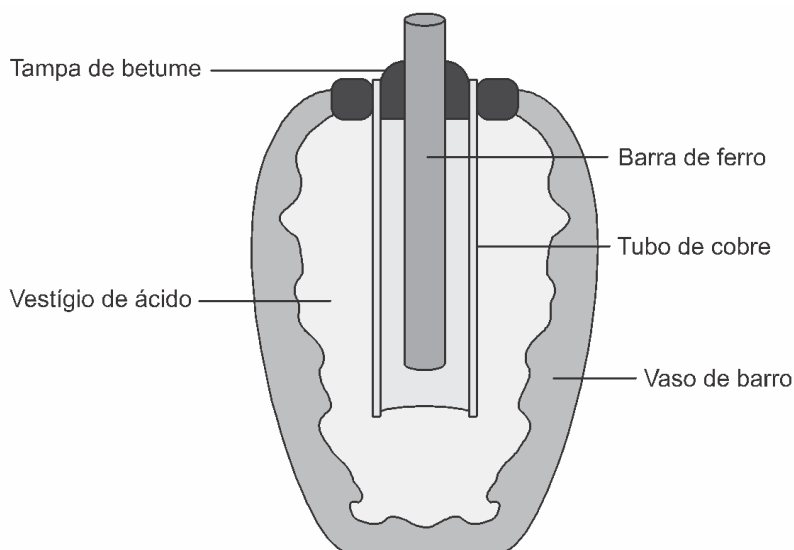
$$Q' = mc\Delta\theta$$

$$8750 = 350 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 20)$$

$$\therefore \theta_f = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

10. (Enem 2018) Em 1938 o arqueólogo alemão Wilhelm König, diretor do Museu Nacional do Iraque, encontrou um objeto estranho na coleção da instituição, que poderia ter sido usado como uma pilha, similar às utilizadas em nossos dias. A suposta pilha, datada de cerca de 200 a.C., é constituída de um pequeno vaso de barro (argila) no qual foram instalados um tubo de cobre, uma barra de ferro (aparentemente corroída por ácido) e uma tampa de betume, conforme ilustrado.

Considere os potenciais-padrão de redução:  $E^\circ_{\text{red}}(\text{Fe}^{2+} | \text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$ ;  $E^\circ_{\text{red}}(\text{H}^+ | \text{H}_2) = 0,00 \text{ V}$ ; e  $E^\circ_{\text{red}}(\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}) = +0,34 \text{ V}$ .



As pilhas de Bagdá e a acupuntura. Disponível em: <http://jornalgggn.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2014 (adaptado).

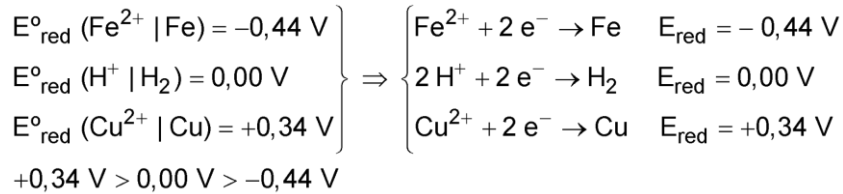
Nessa suposta pilha, qual dos componentes atuaria como cátodo?

- A tampa de betume.
- O vestígio de ácido.
- A barra de ferro.
- O tubo de cobre.
- O vaso de barro.

**Resposta:**

[D]

O cátodo deve apresentar o maior potencial de redução.



Como a barra de ferro (menor potencial de redução) foi, aparentemente, corroída pelo ácido ( $\text{H}^{+}$ ), conclui-se que esta atuou como ânodo e que o tubo de cobre atuou como cátodo.

11. (Enem 2018) A tecnologia de comunicação da etiqueta RFID (chamada de etiqueta inteligente) é usada há anos para rastrear gado, vagões de trem, bagagem aérea e carros nos pedágios. Um modelo mais barato dessas etiquetas pode funcionar sem baterias e é constituído por três componentes: um microprocessador de silício; uma bobina de metal, feita de cobre ou de alumínio, que é enrolada em um padrão circular; e um encapsulador, que é um material de vidro ou polímero envolvendo o microprocessador e a bobina. Na presença de um campo de radiofrequência gerado pelo leitor, a etiqueta transmite sinais. A distância de leitura é determinada pelo tamanho da bobina e pela potência da onda de rádio emitida pelo leitor.

Disponível em: <http://eleletronicos.hsw.uol.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2012 (adaptado).

A etiqueta funciona sem pilhas porque o campo

- elétrico da onda de rádio agita elétrons da bobina.
- elétrico da onda de rádio cria uma tensão na bobina.
- magnético da onda de rádio induz corrente na bobina.
- magnético da onda de rádio aquece os fios da bobina.
- magnético da onda de rádio diminui a ressonância no interior da bobina.

**Resposta:**

[C]

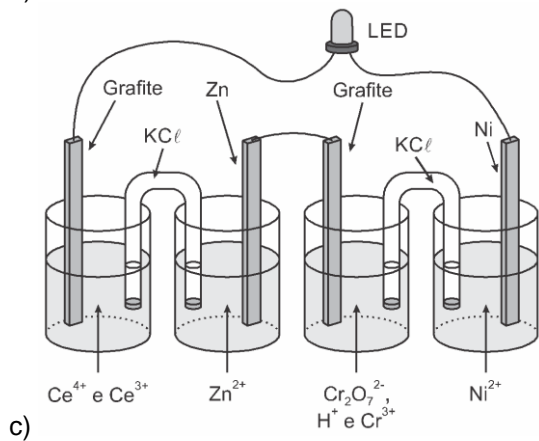
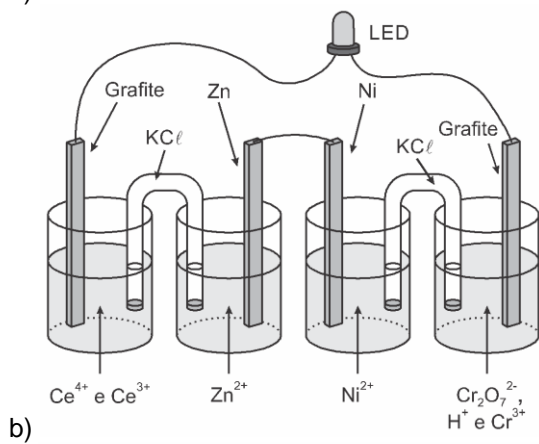
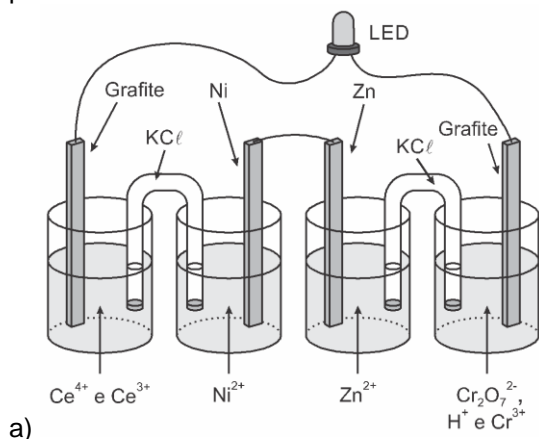
De acordo com a Lei de Faraday, uma corrente elétrica é induzida na bobina quando há variação do fluxo do campo magnético.

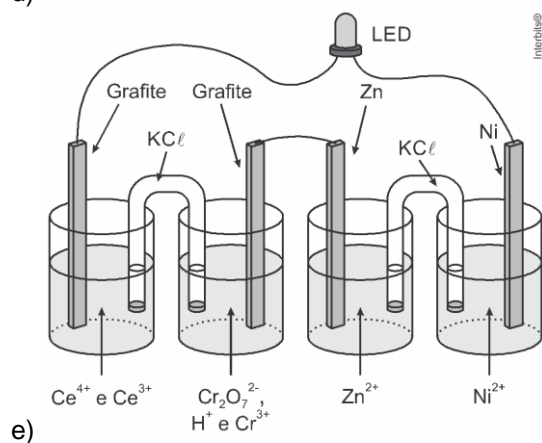
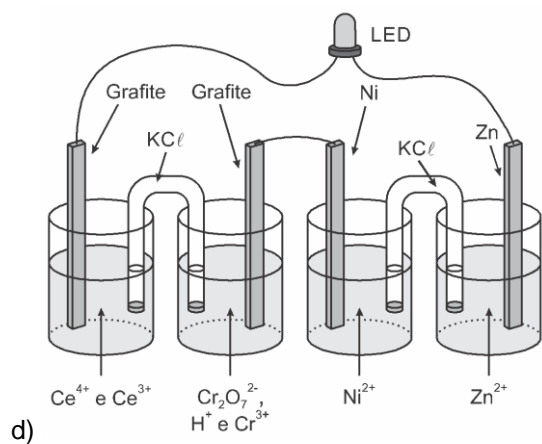
12. (Enem 2017) A invenção do LED azul, que permite a geração de outras cores para compor a luz branca, permitiu a construção de lâmpadas energeticamente mais eficientes e mais duráveis do que as incandescentes e fluorescentes. Em um experimento de laboratório, pretende-se associar duas pilhas em série para acender um LED azul que requer 3,6 volts para o seu funcionamento.

Considere as semirreações de redução e seus respectivos potenciais mostrados no quadro.

| Semirreação de redução   | $E^0$ (V) |
|--|-----------|
| $\text{Ce}_{(\text{aq})}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}_{(\text{aq})}^{3+}$   | +1,61     |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 14 \text{H}^+_{(\text{aq})} + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}_{(\text{aq})}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ | +1,33     |
| $\text{Ni}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$   | -0,25     |
| $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{(\text{s})}$   | -0,76     |

Qual associação em série de pilhas fornece diferença de potencial, nas condições-padrão, suficiente para acender o LED azul?





### Resposta:

[C]

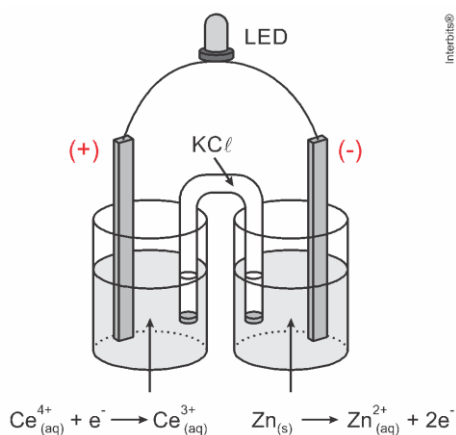
Considerando as semirreações de redução e seus respectivos potenciais mostrados no quadro deve-se procurar a maior diferença de potencial.

| Semirreação de redução  | $E^0$ (V)       |
|---|-----------------|
| $\text{Ce}_{(\text{aq})}^{4+} + e^- \rightarrow \text{Ce}_{(\text{aq})}^{3+}$ | +1,61           |
| $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 e^- \rightarrow \text{Zn}_{(\text{s})}$     | -0,76 (inverte) |

$$\Delta E = E_{\text{maior}} - E_{\text{menor}}$$

$$\Delta E = +1,61 - (-0,76) = +2,37 \text{ V}$$

Pilha 1:



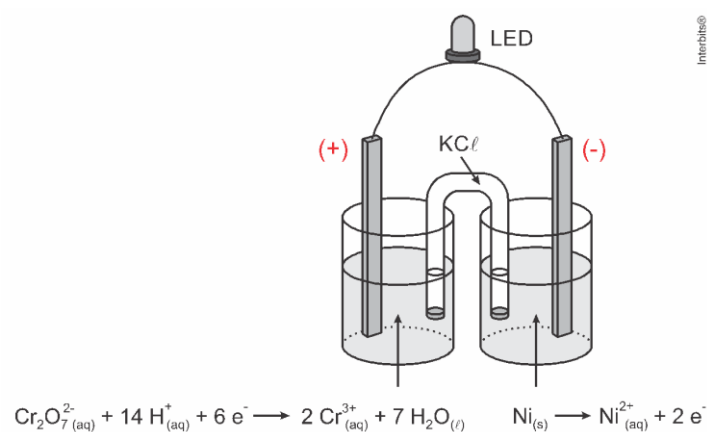
Agora, considerando as semirreações de redução e seus respectivos potenciais mostrados no quadro deve-se procurar a menor diferença de potencial.

| Semirreação de redução   | $E^0$ (V)       |
|--|-----------------|
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 14 \text{H}^{+}_{(\text{aq})} + 6 \text{e}^{-} \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 7 \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ | +1,33           |
| $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$   | -0,25 (inverte) |

$$\Delta E = E_{\text{maior}} - E_{\text{menor}}$$

$$\Delta E = +1,33 - (-0,25) = +1,58 \text{ V}$$

Pilha 2:



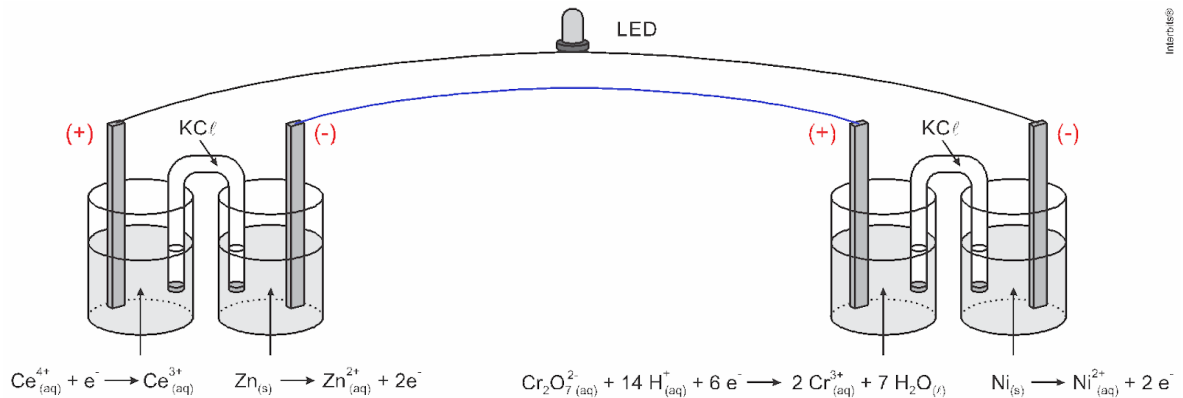
Na associação em série teremos:



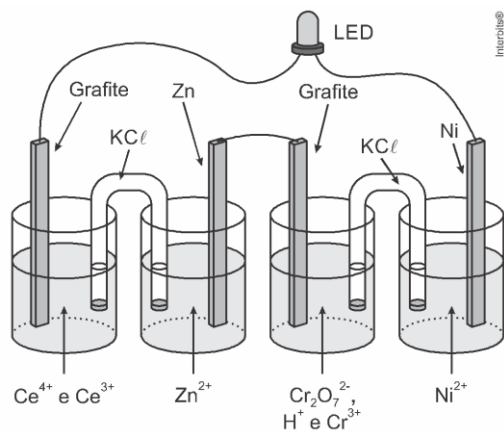
$$\Delta E_{\text{em série}} = +2,37 \text{ V} + 1,58 \text{ V} = 3,95 \text{ V}$$

3,95 V > 3,60 V (O LED acende).

Então, vem:



Ou seja,



13. (Enem 2017) Para demonstrar o processo de transformação de energia mecânica em elétrica, um estudante constrói um pequeno gerador utilizando:

- Um fio de cobre de diâmetro  $D$  enrolado em  $N$  espiras circulares de área  $A$ ;
- Dois ímãs que criam no espaço entre eles um campo magnético uniforme de intensidade  $B$ ; e
- Um sistema de engrenagens que lhe permite girar as espiras em torno de um eixo com uma frequência  $f$ .

Ao fazer o gerador funcionar, o estudante obteve uma tensão máxima  $V$  e uma corrente de curto-circuito  $i$ .

Para dobrar o valor da tensão máxima  $V$  do gerador mantendo constante o valor da corrente de curto

$i$ , o estudante deve dobrar o(a)

- a) número de espiras.
- b) frequência de giro.
- c) intensidade do campo magnético.
- d) área das espiras.
- e) à diâmetro do fio.

**Resposta:**

[A]

$$\begin{cases} V = iR \\ 2V = iR' \end{cases} \Rightarrow R' = 2R$$

Portanto, para dobrar a tensão máxima  $V$  do gerador mantendo constante a corrente de curto  $i$ , devemos dobrar o valor da resistência  $R$ .

$$B = N \frac{\mu i}{2r} = N \frac{\mu U}{2rR} \Rightarrow R = N \frac{\mu U}{2rB}$$

Portanto, uma forma possível de fazê-lo seria dobrando o número  $N$  de espiras.

14. (Enem 2016) A magnetohipertermia é um procedimento terapêutico que se baseia na elevação da temperatura das células de uma região específica do corpo que estejam afetadas por um tumor. Nesse tipo de tratamento, nanopartículas magnéticas são fagocitadas pelas células tumorais, e um campo magnético alternado externo é utilizado para promover a agitação das nanopartículas e consequente aquecimento da célula.

A elevação de temperatura descrita ocorre porque

- o campo magnético gerado pela oscilação das nanopartículas é absorvido pelo tumor.
- o campo magnético alternado faz as nanopartículas girarem, transferindo calor por atrito.
- as nanopartículas interagem magneticamente com as células do corpo, transferindo calor.
- o campo magnético alternado fornece calor para as nanopartículas que o transfere às células do corpo.
- as nanopartículas são aceleradas em um único sentido em razão da interação com o campo magnético, fazendo-as colidir com as células e transferir calor.

**Resposta:**

[B]

O campo magnético alternado faz com que as nanopartículas, que se comportam como nanoímãs, estejam em constante agitação, chocando-se contra as células tumorais, aquecendo-as por atrito.

15. (Enem 2015) Uma pessoa abre sua geladeira, verifica o que há dentro e depois fecha a porta dessa geladeira. Em seguida, ela tenta abrir a geladeira novamente, mas só consegue fazer isso depois de exercer uma força mais intensa do que a habitual.

A dificuldade extra para reabrir a geladeira ocorre porque o (a)

- volume de ar dentro da geladeira diminuiu.
- motor da geladeira está funcionando com potência máxima.
- força exercida pelo ímã fixado na porta da geladeira aumenta.
- pressão no interior da geladeira está abaixo da pressão externa.
- temperatura no interior da geladeira é inferior ao valor existente antes de ela ser aberta.

**Resposta:**

[D]

Quando a geladeira é aberta, ocorre entrada de ar quente e saída de ar frio. Após fechar a porta, esse ar quente, inicialmente à temperatura  $T_0$  e à pressão atmosférica  $P_0$ , é resfriado a volume constante, à temperatura  $T$ .

Da equação geral dos gases:

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0}.$$

Se  $T < T_0 \Rightarrow p < p_0$ , a pressão do ar no interior da geladeira é menor que a pressão externa, dificultando a abertura da porta.

16. (Enem 2015) Uma garrafa térmica tem como função evitar a troca de calor entre o líquido nela contido e o ambiente, mantendo a temperatura de seu conteúdo constante. Uma forma de orientar os consumidores na compra de uma garrafa térmica seria criar um selo de qualidade, como se faz atualmente para informar o consumo de energia de eletrodomésticos. O selo identificaria cinco categorias e informaria a variação de temperatura do conteúdo da garrafa, depois de decorridas seis horas de seu fechamento, por meio de uma porcentagem do valor inicial da temperatura de equilíbrio do líquido na garrafa.

O quadro apresenta as categorias e os intervalos de variação percentual da temperatura.

| Tipo de selo | Variação de temperatura |
|--------------|-------------------------|
| A            | menor que 10%           |
| B            | entre 10% e 25%         |
| C            | entre 25% e 40%         |
| D            | entre 40% e 55%         |
| E            | maior que 55%           |

Para atribuir uma categoria a um modelo de garrafa térmica, são preparadas e misturadas, em uma garrafa, duas amostras de água, uma a  $10^\circ\text{C}$  e outra a  $40^\circ\text{C}$ , na proporção de um terço de água fria para dois terços de água quente. A garrafa é fechada. Seis horas depois, abre-se a garrafa e mede-se a temperatura da água, obtendo-se  $16^\circ\text{C}$ .

Qual selo deveria ser posto na garrafa térmica testada?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

**Resposta:**

[D]

Dados:  $m_1 = \frac{m}{3}$ ;  $T_1 = 10^\circ\text{C}$ ;  $m_2 = \frac{2m}{3}$ ;  $T_2 = 40^\circ\text{C}$ ;  $T_f = 16^\circ\text{C}$ .

Desprezando a capacidade térmica da garrafa, pela equação do sistema termicamente isolado calculamos a temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ):

$$\sum Q = 0 \Rightarrow Q_{\text{água}_1} + Q_{\text{água}_2} = 0 \Rightarrow m_1 c (T_e - T_1) + m_2 c (T_e - T_2) = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{m}{3} c (T_e - 10) + \frac{2m}{3} c (T_e - 40) = 0 \Rightarrow T_e - 10 + 2T_e - 80 \Rightarrow T_e = 30^\circ\text{C}.$$

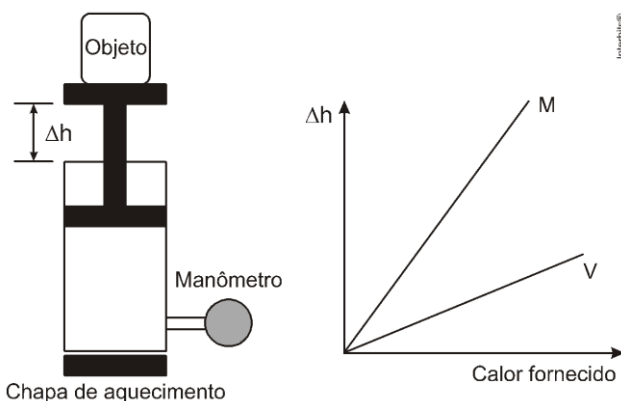
O módulo da variação de temperatura é:

$$|\Delta T| = |T_f - T_e| = |16 - 30| \Rightarrow |\Delta T| = 14^\circ\text{C}.$$

Calculando a variação percentual ( $x\%$ ):

$$x\% = \frac{|\Delta T|}{T_e} \times 100 = \frac{14}{30} \times 100 \Rightarrow \boxed{x\% = 46,7\%}.$$

17. (Enem 2014) Um sistema de pistão contendo um gás é mostrado na figura. Sobre a extremidade superior do êmbolo, que pode movimentar-se livremente sem atrito, encontra-se um objeto. Através de uma chapa de aquecimento é possível fornecer calor ao gás e, com auxílio de um manômetro, medir sua pressão. A partir de diferentes valores de calor fornecido, considerando o sistema como hermético, o objeto elevou-se em valores  $\Delta h$ , como mostrado no gráfico. Foram estudadas, separadamente, quantidades equimolares de dois diferentes gases, denominados M e V.



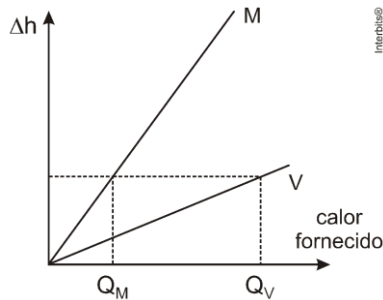
A diferença no comportamento dos gases no experimento decorre do fato de o gás M, em relação ao V, apresentar

- maior pressão de vapor.
- menor massa molecular.
- maior compressibilidade.
- menor energia de ativação.
- menor capacidade calorífica.

**Resposta:**

[E]

Como mostrado no gráfico, para uma mesma elevação  $\Delta h$ , a quantidade calor absorvido pelo gás M é menor do que a absorvida pelo gás V ( $Q_M < Q_V$ ).



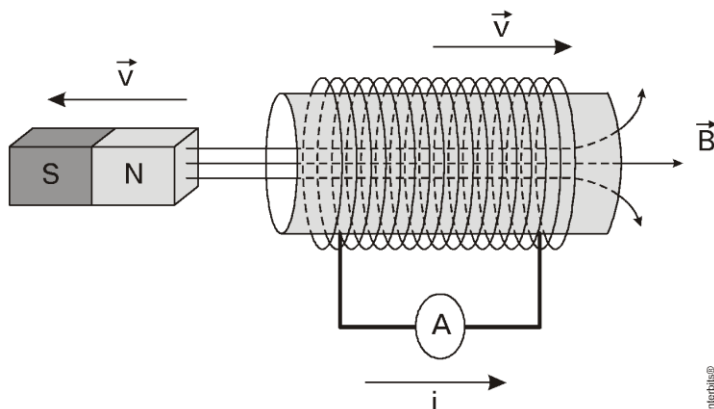
Mas, para uma mesma variação  $\Delta h$ , temos também uma mesma variação de volume ( $\Delta V$ ). Como se trata de transformações isobáricas, os trabalhos realizados ( $W$ ) também são iguais. Supondo gases ideais:

$$W = p \Delta V = n R \Delta T \quad \left\{ \begin{array}{l} W_M = n R \Delta T_M \\ W_V = n R \Delta T_V \end{array} \right\} \Rightarrow n R \Delta T_M = n R \Delta T_V \Rightarrow \Delta T_M = \Delta T_V = \Delta T.$$

Assim:

$$Q_M < Q_V \Rightarrow n C_M \Delta T < n C_V \Delta T \Rightarrow C_M < C_V.$$

18. (Enem 2014) O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a  $v$ , induzindo uma corrente elétrica de intensidade  $i$ , como ilustrado na figura.



A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a

- esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
- direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
- esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
- direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
- esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.

**Resposta:**

[A]

Na figura mostrada, está havendo afastamento relativo entre o ímã e a espira. Nessa situação, de acordo com a lei de Lenz, ocorre força de atração entre ambos, formando um polo sul na extremidade esquerda da espira. Para que uma outra situação apresente corrente no mesmo sentido, a extremidade esquerda da espira deve continuar formando um polo sul. Isso pode ser conseguido invertendo o ímã e provocando um movimento de aproximação relativa entre eles, deslocando o ímã para a direita e a espira para a esquerda.

19. (Enem 2013) 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.

Qual a razão entre a massa de água quente e a massa de água fria na mistura para um banho à temperatura ideal?

- a) 0,111.
- b) 0,125.
- c) 0,357.
- d) 0,428.
- e) 0,833.

**Resposta:**

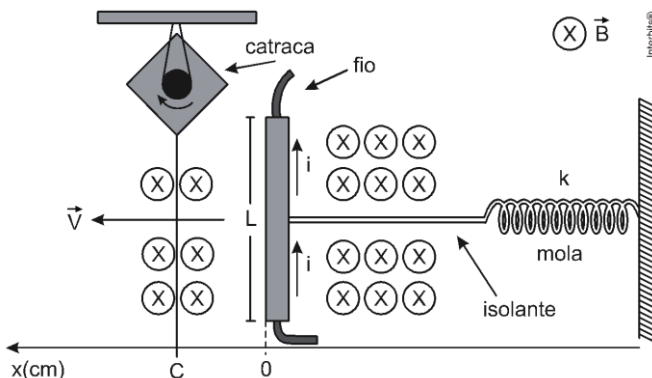
[B]

Considerando o sistema termicamente isolado, temos:

$$Q_{\text{água1}} + Q_{\text{água2}} = 0 \Rightarrow m_{\text{quente}} c_{\text{água}} (30 - 70) + m_{\text{fria}} c_{\text{água}} (30 - 25) \Rightarrow$$

$$\frac{m_{\text{Quente}}}{m_{\text{fria}}} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8} \Rightarrow \frac{m_{\text{Quente}}}{m_{\text{fria}}} = 0,125.$$

20. (Enem 2013) Desenvolve-se um dispositivo para abrir automaticamente uma porta no qual um botão, quando acionado, faz com que uma corrente elétrica  $i = 6A$  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 do equilíbrio a uma velocidade média de 5m/s e atingirá a catraca em 6 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)  $2 \times 10^0 \text{T}$

### Resposta:

[A]

Na direção do movimento, agem na barra duas forças: a magnética ( $\vec{F}_m$ ) e a elástica ( $\vec{F}_{el}$ ).  
- Força magnética:

Dados:  $i = 6 \text{ A}$ ;  $\ell = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$ ;  $\theta = 90^\circ$ .

$$F_m = B i \ell \sin \theta \Rightarrow F_m = B \cdot 6 \cdot 5 \times 10^{-2} \cdot 1 \Rightarrow$$

$$F_m = 0,3 B. \quad (I)$$

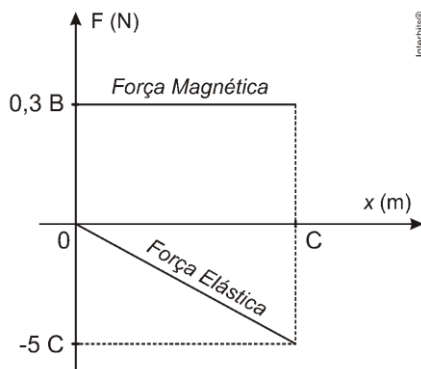
- Força elástica:

Dados:  $k = 5 \times 10^{-2} \text{ N/cm} = 5 \text{ N/m}$ . A mola deforma de  $x = 0$  a  $x = C$ .

$$F_{el} = -k x \Rightarrow F_{el} = -k (C - 0) \Rightarrow$$

$$F_{el} = -5 C. \quad (II)$$

O gráfico registra essas forças, em função do deslocamento:



Considerando que a velocidade média ( $v_m = 5 \text{ m/s}$ ) refere-se ao trecho OC (que não está claro no enunciado), calculamos o deslocamento no intervalo de tempo dado ( $\Delta t = 6 \text{ ms} = 6 \times 10^{-3} \text{ s}$ ):

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow 5 = \frac{(C-0)}{6 \times 10^{-3}} \Rightarrow C = 3 \times 10^{-2} \text{ m}.$$

Considerando, ainda, que no ponto C a resultante das forças ( $\vec{F}_r$ ) é nula (o que também não é especificado no enunciado), temos, de (I) e (II):

$$F_r = F_m + F_{el} \Rightarrow F_r = 0,3 B - 5 C \Rightarrow 0 = 0,3 B - 5 C \Rightarrow$$

$$B = \frac{5 C}{0,3} \Rightarrow B = \frac{5 \cdot 3 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-1}} \Rightarrow$$

$$B = 5 \times 10^{-1} \text{ T.}$$

21. (Enem 2012) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluentes são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br). Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
- as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
- a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

### Resposta:

[B]

A segunda lei da Termodinâmica afirma: “É impossível uma máquina Térmica, operando em ciclos, transformar integralmente calor em trabalho”.

Em termos de cálculo, ela pode ser traduzida pela expressão do ciclo de Carnot, que dá o máximo rendimento ( $\eta$ ) possível para uma máquina térmica operando em ciclos entre uma fonte quente e uma fonte fria, respectivamente, a temperaturas absolutas  $T_1$  e  $T_2$ :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Para transformar integralmente calor em trabalho, o rendimento teria que ser igual  $\eta = 1$ .

Nesse caso:

$$1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 0 \Rightarrow T_2 = 0 \text{ K.}$$

Ou seja, temperatura da fonte fria deveria ser zero absoluto, o que é um absurdo.

22. (Enem 2011) O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto:

Esse captador comum consiste de uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente. O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante.

Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon

- isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
- varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
- apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.
- induz correntes elétricas na bobina mais intensas que a capacidade do captador.
- oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

### Resposta:

[C]

De acordo com o enunciado: **“O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra...”**. Trocando-se as cordas de aço (material ferromagnético) por cordas de nylon, o efeito de magnetização torna-se muito fraco, desprezível, não enviando sinais ao amplificador.

23. (Enem 2011) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.

CARVALHO, A. X. Z. *Física Térmica*. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a

- liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

### Resposta:

[C]

De acordo com a segunda lei da termodinâmica. **“É impossível uma máquina térmica, operando em ciclos, converter integralmente calor em trabalho.**

24. (Enem 2010) Sob pressão normal (ao nível do mar), a água entra em ebulição à temperatura de 100 °C. Tendo por base essa informação, um garoto residente em uma cidade litorânea fez a seguinte experiência:

- Colocou uma caneca metálica contendo água no fogareiro do fogão de sua casa.
- Quando a água começou a ferver, encostou cuidadosamente a extremidade mais estreita de uma seringa de injeção, desprovida de agulha, na superfície do líquido e, erguendo o êmbolo da seringa, aspirou certa quantidade de água para seu interior, tapando-a em seguida.
- Verificando após alguns instantes que a água da seringa havia parado de ferver, ele ergueu o êmbolo da seringa, constatando, intrigado, que a água voltou a ferver após um pequeno deslocamento do êmbolo.

Considerando o procedimento anterior, a água volta a ferver porque esse deslocamento

- a) permite a entrada de calor do ambiente externo para o interior da seringa.
- b) provoca, por atrito, um aquecimento da água contida na seringa.
- c) produz um aumento de volume que aumenta o ponto de ebulição da água.
- d) proporciona uma queda de pressão no interior da seringa que diminui o ponto de ebulição da água.
- e) possibilita uma diminuição da densidade da água que facilita sua ebulição.

### Resposta:

[D]

Considerando o procedimento anterior, a água volta a ferver porque esse deslocamento proporciona uma queda de pressão no interior da seringa que diminui o ponto de ebulição da água, quanto maior a pressão sob a superfície da água, maior a temperatura de ebulição e vice-versa.