



# Torneio de Física para Meninas 2023

Problemas e soluções

M L Miguez, N M Bigolin, F W A Sobreira e K W Capelle

**EDIÇÕES  
INESP**



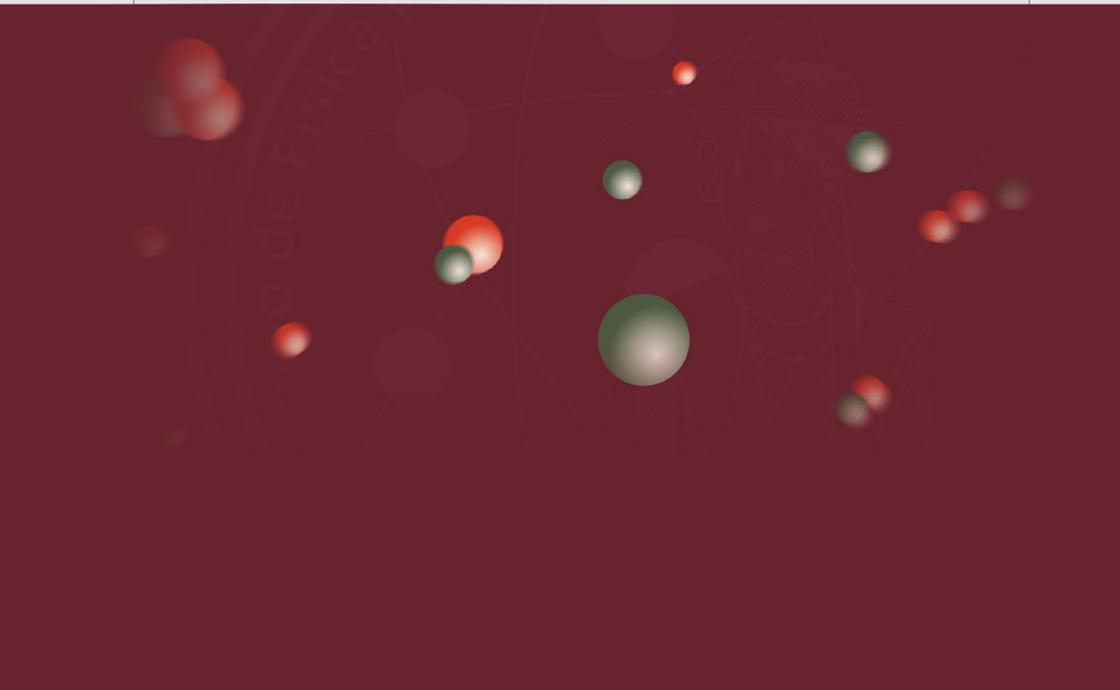


**ALECE**  
ASSEMBLEIA LEGISLATIVA  
DO ESTADO DO CEARÁ



# Torneio de Física para Meninas 2023

Problemas e soluções





M L Miguez, N M Bigolin, F W A Sobreira e K W Capelle



# Torneio de Física para Meninas 2023

Problemas e soluções

**INESP**

Fortaleza - Ceará

2024

Copyright © 2024 by Inesp

**Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o  
Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp)**

**João Milton Cunha de Miranda**  
Coordenador Editorial

**Rachel Garcia Bastos de Araújo**  
**Valquiria Moreira Carlos**

Assistentes Editoriais

**Luzia Leda Batista Rolim**  
Assessora de Comunicação

**Gustavo**  
Revisor Ortográfico

**José Gotardo de Paula Freire Filho**  
Capista, Diagramador e Adaptador do Projetista Gráfico Original

**Juliano Lima Barreto**  
Diagramador e Ilustrador Original

**Gráfica do Inesp**  
Impressão e Acabamento

**Luiz Ernandes dos Santos do Carmo**  
Coordenador de Impressão

Edição Institucional da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará  
**VENDA E PROMOÇÃO PESSOAL PROIBIDAS**

Catalogado por Daniele Sousa do Nascimento CRB-3/1023

M634t Miguez, Maria Luiza.

Torneio de física para meninas 2023 [livro eletrônico]:  
problemas e soluções / Maria Luiza Miguez ... [et al.]. –  
Fortaleza: INESP, 2024.

119 p. : il. color. ; 5700 KB ; PDF

ISBN: 978-65-84902-28-2

1. Física – competição. I. Ceará. Assembleia Legislativa.  
Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do  
Estado. II. Título.

CDD 530.1

Permitida a divulgação dos textos contidos neste livro,  
desde que citados autores e fontes.

**Inesp**

Rua Barbosa de Freitas, 2674, Anexo II, 5º andar,

Assembleia Legislativa do Estado do Ceará,

bairro: Dionísio Torres, Fortaleza - CE, CEP: 60.170-174.

Telefone: (85) 3277-3702. | E-mail: [inesp@al.ce.gov.br](mailto:inesp@al.ce.gov.br)

Site: <https://www.al.ce.gov.br/paginas/instituto-de-estudos-e-pesquisas-sobre-o-desenvolvimento-do-ceara-inesp>



## TORNEIO DE FÍSICA PARA MENINAS 2023

Problemas e soluções

Maria Luiza Miguez

*IFNMG, Januária/MG*

Nara Martini Bigolin

*UFMS, Frederico Westphalen/RS*

Fernando Wellysson de Alencar Sobreira

*IFCE, Itapipoca/CE*

*IIF - UFRN, Natal/RN*

Klaus Werner Capelle

*UFABC, Santo André/SP*

*IIF - UFRN, Natal/RN*



# Apresentação

As conquistas femininas e as ações visando a igualdade de gênero precisam do amparo institucional para avançar em todos os aspectos: comportamental, científico, econômico, político e social. Tais temas nunca foram tão pertinentes e os avanços devem ser preservados e ampliados. Então, mesmo que tímida, a presença de mulheres nas diversas áreas é fundamental, em um contexto histórico de muito preconceito, exclusão e violência.

A pesquisa sobre a participação feminina nas principais olimpíadas do Brasil constatou que o seu percentual de premiação equivale ao das mulheres em espaço de poder, sendo sempre abaixo do marco de participação masculino. O Movimento Meninas Olímpicas tem, então, o objetivo de aumentar a presença das mulheres em olimpíadas de conhecimento.

A Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Alece), por meio do Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp), edita e distribui este livro, com a certeza da contribuição preciosa à sociedade, com informações necessárias ao fortalecimento das políticas públicas para as mulheres e ao debate de enfrentamento à cultura do machismo.

**Deputado Estadual Evandro Leitão**  
Presidente da Assembleia Legislativa do  
Estado do Ceará



# Prefácio

O Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp), criado em 1988, é um órgão técnico e científico de pesquisa, educação e memória. Ao idealizar e gerenciar projetos atuais que se alinhem às demandas legislativas e culturais do estado, objetiva ser referência no cenário nacional.

Durante seus mais de 30 anos de atuação, o Inesp prestou efetiva contribuição ao desenvolvimento do estado, assessorando, por meio de ações inovadoras, a Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Alece). Dentre seus mais recentes projetos, destacam-se o “Edições Inesp” e o “Edições Inesp Digital”, que têm como objetivos editar livros, coletâneas de legislação e periódicos especializados. O “Edições Inesp Digital” obedece a um formato que facilita e amplia o acesso às publicações de forma sustentável e inclusiva. Além da produção, revisão e editoração de textos, ambos os projetos contam com um núcleo de Design Gráfico.

O “Edições Inesp Digital” já se consolidou. A crescente demanda por suas publicações alcança uma marca de 4 milhões de downloads. As estatísticas demonstram um crescente interesse nas publicações, com destaque para as de Literatura, Ensino, Legislação e História, estando a Constituição Estadual e o Regimento Interno entre os primeiros colocados.

O Torneio de física para meninas 2023 é mais uma obra do diversificado catálogo de publicações do “Edições Inesp Digital”, que, direta ou indiretamente, colaboram para apresentar respostas às questões que afetam a vida do cidadão.

**Prof. Dr. João Milton Cunha de Miranda**

Diretor-Executivo do Instituto de Estudos e Pesquisas  
sobre o Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp)



# Sumário

<b>Apresentação do torneio.....</b>	<b>17</b>
Quem foi Lise Meitner?.....	19
Movimento Meninas Olímpicas.....	22
Papel do IIF no TFM.....	25
Estrutura da competição.....	28
<b>1ª fase do TFM.....</b>	<b>29</b>
<b>2ª fase do TFM.....</b>	<b>53</b>
Problema 1 - Liberação de energia por fissão nuclear...55	
Problema 2 - Compressão de um gás ideal.....	59
Problema 3 - Cunha e bloquinhos... ..	65
Problema 4 - Levitação.....	70
Problema 5 - Difusão.....	74
<b>Estudantes medalhistas.....</b>	<b>79</b>
1º ano do Ensino Médio.....	81
2º ano do Ensino Médio.....	90
3º e 4º anos do Ensino Médio.....	101
<b>Estatísticas de participantes.....</b>	<b>107</b>
Estudantes inscritas.....	109
Participantes da 2ª fase.....	111
Estudantes medalhistas.....	113
<b>Comissão organizadora.....</b>	<b>117</b>



# Introdução

Este livro foi concebido com a ideia de visibilizar a primeira Olimpíada Nacional de Física exclusivamente para Meninas realizada no Brasil, o Torneio de Física para Meninas - TFM. A proposta é que esta competição seja mais um elemento de incentivo para que as meninas possam descobrir sua vocação, despertar seu interesse, mostrar suas habilidades e iniciar as suas carreiras nas áreas das ciências exatas.

Aqui são apresentados aspectos gerais da competição, desde o motivo da sua criação, a vida da cientista Lise Meitner, que é homenageada na logo da olimpíada, do envolvimento do Movimento Meninas Olímpicas e do Instituto Internacional de Física até o formato da competição. Também apresentamos os problemas, com soluções, que compuseram as duas fases do Torneio, bem como estatísticas de cada etapa. Fazemos uma homenagem apresentando os nomes das estudantes que se destacaram, nesta primeira edição do TFM, como medalhistas, e suas escolas.

Esperamos que esse registro inspire futuras gerações de jovens cientistas a perseguirem seus sonhos para que possam tornar o mundo mais igualitário. Que estas páginas sejam a celebração da dedicação e do talento de todas as participantes, que foram apoiadas por suas escolas, professores e familiares que acreditam no potencial ilimitado das mulheres nas ciências.

*This work was supported by the Simons Foundation [Grant No. 1023171 (RC)]. Este trabalho foi apoiado pela FUNPEC através do projeto FUNPEC/UFRN/Fronteiras da Ciência.*

***Os autores***





# **Apresentação do torneio**



## Quem foi Lise Meitner?



O Torneio de Física para Meninas é representado pela física Lise Meitner. A logo oficial<sup>1</sup> foi feito a partir de uma foto<sup>2</sup> de 1906 dessa cientista, que a retrata ainda jovem com 28 anos.

Lise Meitner nasceu na Áustria e dedicou a vida ao estudo da Física Nuclear. Ela foi a segunda mulher a receber o doutorado em física na Universidade de Viena, Áustria, e a primeira mulher a se tornar professora de física na Alemanha. Sua principal contribuição é no entendimento da fissão nuclear. Durante o regime nazista, por ser judia, Lise Meitner ficou exilada na Suécia, e nesse período ela conseguiu explicar a física por trás dos experimentos com núcleos pesados realizados por seu colaborador de longa data, Otto Hahn.

A escolha dessa logo para representar o TFM deve ser

<sup>1</sup>A logo do Torneio de Física para Meninas foi uma arte criada por Gabriel Iron de Lima Lopes, estudante do curso técnico de Administração integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Pará - IFPA, campus Paragominas.

<sup>2</sup>CORRADINI, D. A., GEIGER, K., MAZOHL, B. **Lise Meitner (1878–1968): Pionierin der Atomphysik.** url: <https://doi.org/10.1515/9783110634259-010>.

atribuída a toda a trajetória de Lise Meitner.

Quando Lise Meitner percebeu que queria estudar Física e Matemática e seguir uma carreira científica, as mulheres ainda eram proibidas, na Áustria, de frequentar a universidade. Somente aos 23 anos Lise Meitner pode prosseguir seus estudos nessas áreas. Posteriormente, foi trabalhar em Berlim, sem saber que na época em questão as mulheres não podiam estudar para obter um diploma em uma universidade prussiana, mas apenas ouvir palestras, e mesmo assim apenas com a permissão de um professor.

Para poder dar continuidade às pesquisas experimentais que já fazia em Viena, Lise Meitner começou a trabalhar no laboratório do jovem químico Otto Hahn, que na época procurava um físico para colaborar em suas pesquisas sobre radioatividade. Vale ressaltar que, como mulher, ela tinha que entrar e sair do instituto pela porta dos fundos, não recebia salário e o laboratório era improvisado em uma oficina de carpintaria já que ela não tinha permissão para trabalhar nos laboratórios da universidade.

Após cinco anos de pesquisas bem-sucedidas na oficina de carpintaria, Meitner conquistou seu primeiro cargo remunerado. Isso fez dela a primeira mulher a ser membro assalariado do corpo docente de uma universidade prussiana.

A partir de 1933, com a ascensão do Nazismo na Alemanha, Lise Meitner, que era judia, perdeu a autorização para lecionar e proferir palestras. Mas permaneceu na Alemanha até 1938, quando se exilou na Suécia. Por correspondência, continuou a contribuir com Otto Hahn, e foi dessa forma que Lise Meitner conseguiu explicar teoricamente a fissão nuclear e calcular a enorme quantidade de energia que seria liberada nessa reação.

Ao bombardear átomos de urânio com nêutrons, Hahn observou vestígios do elemento Bário, o que indicava que o átomo de urânio se dividia em fragmentos mais leves, resultado que Hahn

não soube explicar. Lise Meitner interpretou a reação como sendo a fissão nuclear e calculou a energia liberada no processo.

Em 1944, Otto Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química “pela sua descoberta da fissão de núcleos pesados”. Mesmo com o reconhecido envolvimento de Lise Meitner neste avanço científico, a premiação foi apenas para Otto Hahn. Esse episódio tem sido lembrado como um exemplo da falta de reconhecimento e visibilidade concedida às mulheres por suas contribuições à ciência. Lise Meitner foi indicada 49 vezes para o prêmio Nobel, dentre as quais sete vezes por Max Planck e uma por Otto Hahn, mas nunca foi escolhida pelo comitê do prêmio.

As realizações científicas de Lise Meitner conquistaram reconhecimento internacional desde cedo. Ela recebeu diversos prêmios incluindo o Prêmio Ignaz Lieben (1925), a Medalha Max Planck (1949) e o Prêmio Enrico Fermi (1966). Lise Meitner recusou um convite para trabalhar no desenvolvimento da bomba atômica e, até o fim, ela esperava que seu desenvolvimento não fosse possível.

Em 1997, Lise Meitner foi imortalizada pelo elemento químico recém-descoberto com número atômico 109 na tabela periódica que foi denominado Meitnério (Mt). Em 2018 a Sociedade Max Planck, na Alemanha, criou o Programa Lise Meitner de Excelência, dedicado ao apoio de mulheres talentosas na ciência. Um asteroide, uma cratera na lua e vários prêmios e programas de bolsas tem o nome dela, em reconhecimento à sua importância.

Após a sua morte, uma publicação de jornal<sup>3</sup> com o título “Madame Curie da Áustria” terminava com a conclusão de que Lise Meitner tinha “de fato, tal como Madame Curie, provado que as mulheres podem alcançar coisas significativas na área das ciências naturais”.

---

<sup>3</sup>Arbeiterzeitung, Österreich (Austria), 29.10.1968.



cargo, a presença das mulheres diminui. Esse comportamento se repete nos cargos de chefia das empresas, no meio científico pelas distribuições de bolsas de apoio aos pesquisadores e no meio político. Por exemplo, as juízas são 44% das ingressantes, mas apenas 12% chegam a desembargadoras. Quando se analisam os dados das bolsas de iniciação científica financiadas pelo CNPq, verifica-se que 59% dos bolsistas são mulheres, atuando, predominantemente, nas áreas das humanas. Mas, analisando as bolsas de nível 1A (destinadas aos pesquisadores mais atuantes), apenas 24,6% pertencem às mulheres. Este é o efeito “funil”, que também acontece nas olimpíadas científicas.

Neste contexto várias ações foram propostas como:

- (a) Elaboração de propostas para a criação do Prêmio Meninas Olímpicas pelos poderes públicos, como Poder Legislativo Municipal (Câmara de Vereadores), Estadual (Assembleias Legislativas) e Federal (Câmara e Senado) através de projeto de lei.
- (b) Criação de prêmios especiais para as meninas nas olimpíadas científicas nacionais e internacionais como na IMO - Olimpíada Internacional de Matemática.
- (c) Criação e apoio às olimpíadas femininas nacionais e estaduais como o Torneio Feminino de Computação - TFC (2020) e apoio ao Torneio de Física para Meninas – TFM (2023), à Olimpíada Nacional Feminina de Química - Quimeninas (2023) e à Olimpíada Feminina de Matemática do Estado da Bahia - OFMEBA (2021).
- (d) Criação e organização de eventos olímpicos, como I Workshop Brasileiro de Olimpíadas Científicas (WBOC 2021) e o Painel Olimpíadas Científicas durante o Congresso da sociedade Brasileira de Computação - CSBC 2020.
- (e) Levantamento dos dados sobre a sub-representação femininas em olimpíadas científicas.
- (f) Divulgação de relatos de meninas olímpicas para sensibilizar

a opinião pública de suas dificuldades.

- (g) Incentivo na participação do Brasil em olimpíadas femininas internacionais, como a EGMO - European Girls' Mathematical Olympiad, e EGOI - European Girls' Olympiad in Informatics que foram criadas devido à baixa participação feminina na área de STEM.

O Movimento Meninas Olímpicas<sup>4</sup> está em expansão no Brasil e algumas universidades criaram projetos de extensão “Meninas Olímpicas” nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste, como o Projeto Meninas Olímpicas do IMPA (2019), Meninas Olímpicas da UFAL (2023) e Meninas Olímpicas na UNB (2023).

Como resultados de nossas ações, a presença das meninas e equipes das olimpíadas internacionais tem aumentado. Elas são menos de 5% das representantes. Em 2021, a equipe que representou o Brasil na Olimpíada Internacional de Química (ICHO) teve 75% de meninas em sua equipe. Na Olimpíada Internacional de Informática (IOI) 2021, uma brasileira teve o melhor resultado mundial. Na Olimpíada Brasileira de Informática (OBI), uma menina do 8º teve o melhor desempenho nas provas no nível da 2ª e 3ª séries do Ensino Médio.

É relevante que, além das escolas, os pais e mães de meninas as incentivem, pois elas são extraordinárias e podem ter resultados incríveis nas olimpíadas e serem protagonistas de sua própria história. Os pais e mães de meninos precisam também aconselhar seus filhos a serem receptivos às meninas olímpicas, pois o ambiente olímpico é ainda muito masculino. Acreditamos na importância do Movimento Meninas Olímpicas, como uma forma de incentivar e valorizar as capacidades cognitivas das meninas, aumentando, assim, a participação e manutenção delas nas áreas das ciências e das tecnologias.

---

<sup>4</sup>**Movimento Meninas Olímpicas.** url: <https://tfcbr.inf.ufsm.br/meninas-olimpicas>.

## Papel do IIF no TFM

O Instituto Internacional de Física (IIF) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) foi criado em Natal em 2009, com a missão de constituir um polo de física teórica no Brasil e atuar como vitrine da física brasileira perante o mundo. Para este fim, o IIF realiza pesquisa de ponta em física teórica, organiza conferências e escolas científicas nacionais e internacionais em física e áreas afins, e mantém programas para visitas científicas de curta e longa duração e de pós-doutorado.

Embora pesquisa e internacionalização sejam as missões precípua do IIF, ficou claro durante a primeira década da sua existência, que a competência instalada no instituto, a infraestrutura criada no seu prédio próprio e seus programas de visitantes e de eventos podem contribuir com outras pautas importantes também. Em particular, o Comitê Assessor Internacional do IIF – órgão composto por cientistas do mais alto nível internacional, que periodicamente avalia as atividades do instituto e elabora sua estratégia de longo prazo – apontou que a partir da retomada das atividades no cenário pós-pandêmico o instituto deveria dedicar parte dos seus recursos a pautas educacionais.

Claramente, tais pautas educacionais não deveriam ser interpretadas como graduação e pós-graduação tradicionais em física – atividades realizadas com competência no departamento de física da universidade e que não precisam, nem deveriam, ser duplicadas em outra unidade. Considerando a missão e o perfil de atividades do IIF, seu envolvimento com educação deveria focar em modelos menos explorados e mais inovadores, para públicos-alvo selecionados de acordo com o perfil do instituto, em particular, alunos com vocação especial e/ou altas habilidades para a ciência.

Por este motivo, iniciou-se, a partir de 2021, um processo de debate e exploração de possíveis atividades e programas educacio-

---

nais no IIF. Este processo levou à identificação de várias atividades atualmente em andamento ou em preparação, mas desde o começo, o envolvimento com Olimpíadas Científicas, seja como centro de treinamento para os estudantes e seus professores ou como coorganizador, foi considerado uma vertente particularmente promissora.

Em paralelo, outro processo em andamento no IIF visa o aumento da diversidade entre os integrantes, visitantes e estudantes do instituto. Embora ambas essas linhas de atuação, as pautas educacionais e a diversidade, tenham objetivos distintos, há claras oportunidades para sinergias benéficas entre elas. O Torneio de Física para Meninas ilustra de forma perfeita essas sinergias.

Na prática, o envolvimento do IIF como o TFM foi facilitado pelo fato de três dos coorganizadores do TFM (FW, MLM e KC) atuarem no IIF, como integrantes ou visitantes do seu Grupo de Ciência e Ensino Interdisciplinar (CEI). O IIF se encarregou da organização da cerimônia de lançamento do torneio e da sua cerimônia de premiação, que ambas foram realizadas on-line e transmitidas ao vivo pelo canal de YouTube do instituto, e divulgadas e acompanhadas pela equipe jornalística do IIF.

Aproveitando um diálogo já aberto entre o IIF e a Sociedade Brasileira de Física (SBF), responsável pela organização das olimpíadas nacionais de física no Brasil, o TFM foi apresentado à direção da SBF e à coordenação da Olimpíada Brasileira de Física (OBF). A partir dessa apresentação, a SBF reconheceu o TFM formalmente como uma olimpíada de física – reconhecimento que aumentou fortemente a credibilidade e visibilidade do torneio.

Negociou-se, ainda, um acesso direto para meninas bem classificadas no TFM para o processo seletivo que leva à formação das equipes brasileiras para as olimpíadas internacionais de física, equiparando, assim, o TFM aos níveis de entrada da própria OBF e da Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas (OB-

FEP). Especificamente, a coordenação da OBF concedeu até 10 vagas para meninas premiadas no TFM para as Seletivas para as Olimpíadas Internacionais de Física (SOIF) e até 5 vagas para o Torneio Brasileiro de Física (TBF). A concessão dessas vagas a egressas do TFM, mesmo antes da realização da sua primeira edição, constituiu um importante voto de confiança da SBF e da coordenação da OBF com a proposta do TFM e o IIF.

Às 15 vagas concedidas pela OBF na SOIF e no TBF somam-se mais 5 vagas na Vivência Científica do IIF, atividade presencial de imersão em ciência realizada pelo instituto para alunos com engajamento e habilidades destacados. Dessa forma, além dos benefícios intrínsecos do próprio TFM para suas participantes, para vinte delas este torneio também se tornou porta de acesso para outros desafios e oportunidades.

Como a edição de 2024 do TBF também foi realizada em Natal, com coorganização do IIF, foi possível entrevistar presencialmente as meninas classificadas para o TBF pelo TFM, bem como meninas que se classificaram para o TBF de outras formas, para colher suas impressões e consultá-las acerca de sugestões para a próxima edição do TFM.

As impressões das participantes, a repercussão geral do TFM, a colaboração com a OBF/SBF, e a avaliação interna do torneio pelo próprio IIF têm sido muito positivas, o que levou o IIF a renovar seu compromisso com o TFM e colocar-se à disposição para continuar promovendo o torneio na sua próxima edição.

## Estrutura da competição

Nesta primeira edição do TFM, o público alvo foram estudantes que se identificaram com o sexo feminino, regularmente matriculadas no ensino médio (EM) em instituições de ensino brasileiras. A competição foi aplicada gratuitamente em todo o território nacional.

As estudantes participantes foram avaliadas através de seu desempenho em duas fases da competição, sendo:

(a) 1ª fase:

Prova com 15 (quinze) questões de múltipla escolha aplicada em formato digital através do sistema Olimpo, com duração de 2 (duas) horas. Esta fase foi aberta para todas as participantes.

(b) 2ª fase:

Prova com 5 (cinco) questões dissertativas aplicada presencialmente em todo o território nacional em locais cadastrados como polos locais de aplicação. A prova teve duração de 4 (quatro) horas. Participaram desta fase apenas as estudantes que tiveram desempenho igual ou acima da nota de corte na prova da primeira fase.

Os conteúdos das provas da 1ª e 2ª fases foram baseados em um programa estabelecido no Regulamento da competição.

As estudantes com o melhor desempenho na prova da 2ª fase foram classificadas por série (1ª série do EM, 2ª série do EM, e, 3ª e 4ª séries do EM) e para cada série foram estabelecidos critérios de desempenho para atribuir medalhas de Ouro, Prata e Bronze.



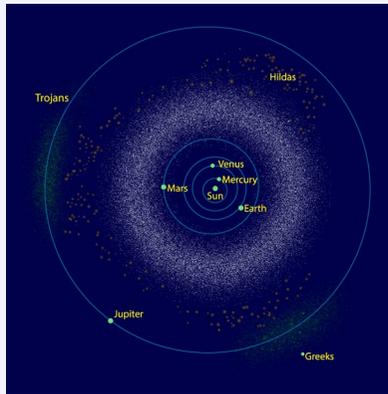
## **1ª fase do TFM**





**Problema 1.** O asteroide 6999 Meitner, ou simplesmente Meitner, foi descoberto em 16 de outubro de 1977 e posteriormente nomeado em homenagem à cientista de origem austríaca Lise Meitner (1878-1968).

O asteroide está numa órbita com semieixo maior de 2,3 UA e fica situado na região conhecida como cinturão de asteroides; uma região entre as órbitas dos planetas Marte e Júpiter povoada por diversos asteroides que giram em torno do Sol, conforme ilustram os pontos em branco na figura.



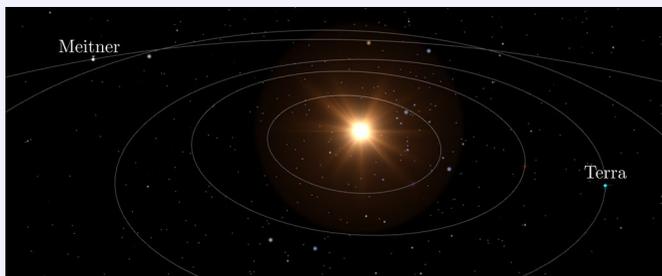
Desde a sua descoberta até hoje, quantas voltas em torno do Sol o asteroide Meitner já executou, aproximadamente?

- (a) 3,5
- (b) 4,6
- (c) 13
- (d) 46
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Nota: 1 UA  $\approx$  150.000.000 km é a distância aproximada entre a Terra e o Sol.

**Solução 1.** [Alternativa (c)] De acordo com a 3ª lei de Kepler, o cubo do semieixo maior da órbita é proporcional ao quadrado do período da mesma ( $a^3 = kT^2$ ). Neste caso, tomando a Terra com período  $T_0 = 1$  ano e semieixo maior  $a_0 = 1$  UA, é possível escrever:  $T_M^2/2,28^3 = (1ano)^2/1^3$ , em que  $T_M$  indica o período da órbita do asteroide Meitner. Como resultado obtemos  $T_M \approx 3,5$  anos. Como entre a descoberta do asteroide e a data de aplicação da prova é cerca de 45,9 anos, o número de voltas é  $45,9/3,5 \approx 13$  voltas.

**Problema 2.** Ainda sobre as características do asteroide Meitner, estima-se que ele tenha cerca de 2,9 km de diâmetro (o diâmetro do Sol é cerca de  $1,4 \cdot 10^7$  km). O seu albedo, i.e. a quantidade de luz solar refletida pela sua superfície vale 0,33 (para se ter uma ideia isso é quase três vezes maior que o albedo da Lua).



Fonte: <https://www.spacereference.org/asteroid/6999-meitner-4379-t-3>

A figura mostrada ilustra as posições aparentes entre o Sol, a Terra e o asteroide no dia de hoje (24/08/2023). Supondo que a Terra e o asteroide Meitner estejam às distâncias 1 UA e 2,3 UA do Sol, respectivamente, a razão entre a intensidade da luz recebida na Terra pela reflexão de Meitner e diretamente do Sol é de qual ordem de grandeza?

- (a)  $10^{-4}\%$
- (b)  $10^{-8}\%$
- (c)  $10^{-12}\%$
- (d)  $10^{-16}\%$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Nota: 1 UA  $\approx$  150.000.000 km é a distância aproximada entre a Terra e o Sol.

**Solução 2.** [Alternativa (d)] Seja  $I_0$  a intensidade da luz emitida na superfície do Sol (a uma distância  $R_S$  do seu centro). Supondo que a intensidade se distribua uniformemente, os valores da intensidade da luz solar ao atingir diretamente o asteroide Meitner e a Terra são dados, respectivamente, por  $I_M = I_0 \cdot (R_S/a_M)^2$  e  $I_T = I_0 \cdot (R_S/a_T)^2$ , sendo  $a_M$  e  $a_T$  as distâncias de Meitner e da Terra ao Sol.

A potência total incidente sobre Meitner é dada por  $P_M = I_M \pi R_M^2$ , sendo  $R_M$  o raio de Meitner. A potência refletida devido ao albedo ( $\alpha$ ) é dada por  $P_{M,r} = \alpha P_M$  e ao se distribuir uniformemente no espaço, chega à Terra uma intensidade dada por  $I_{M,T} = P_{M,r}/4\pi(a_M + a_T)^2$ , uma vez que a Terra e Meitner estão aproximadamente diametralmente opostos na situação indicada. Neste caso,  $I_{M,T} = \alpha I_M \cdot [R_M/2(a_M + a_T)]^2$ .

Sendo assim, a razão entre as intensidades é dada por:

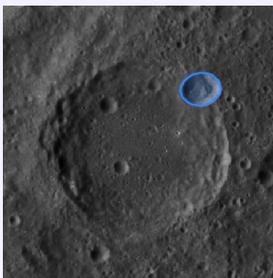
$$\begin{aligned} \frac{I_{M,T}}{I_T} &= \frac{\alpha I_0 \cdot (R_S/a_M)^2 \cdot [R_M/2(a_M + a_T)]^2}{I_0 \cdot (R_S/a_T)^2} \\ &= \alpha \left( \frac{a_T}{a_M} \right)^2 \left[ \frac{R_M}{2(a_M + a_T)} \right]^2 \end{aligned}$$

Substituindo os valores do enunciado e levando em conta que 1 UA  $\approx$  1.500.000 km, temos:

$$\begin{aligned}\frac{I_{M,T}}{I_T} &\approx 0,33 \cdot \left(\frac{1}{2,3}\right)^2 \cdot \left(\frac{2,9}{2 \cdot 3,3 \cdot 150000000}\right)^2 \\ &= 5,4 \cdot 10^{-19} \sim 10^{-16}\%\end{aligned}$$

**Problema 3.** As crateras lunares são nomeadas pela União Astronômica Internacional (UAI) regularmente desde 1919 seguindo a tradição iniciada em 1651 pelo astrônomo italiano Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) de nomeá-las em homenagem a cientistas e outros exploradores.

Dentre elas, em 1970 foi nomeada formalmente pela UAI a *cratera 276* que passou a se chamar Meitner, em homenagem à cientista de origem austríaca Lise Meitner (1878-1968).



Como pode ser vista na figura, a cratera possui um formato aproximadamente circular com diâmetro da ordem de 87 km. Além da cratera principal, centralizada na figura, é comum que outras se encontrem no entorno, como é o exemplo da cratera em destaque na cor azul. Essas crateras menores são chamadas de crateras satélites.

Avaliando a figura apresentada, a razão, aproximada, entre as áreas da cratera satélite destacada e a cratera Meitner é dada

por:

- (a) 0,025
- (b) 0,04
- (c) 1,25
- (d) 0,01
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 3.** [Alternativa (b)] Usando uma régua sobre a tela é possível encontrar uma proporção entre os diâmetros das duas crateras. Utilizando um zoom na tela foram obtidos para a cratera maior cerca de 73 mm de diâmetro e 15 mm de diâmetro para a cratera satélite. A razão entre as áreas é dada aproximadamente pelo quadrado da razão entre essas distâncias, i.e.  $(15/73)^2 \approx 0,04$ . Note-se que os valores podem variar de uma estimativa para outra, mas são sempre maiores que 0,03 e menores que 0,05 em estimativas adequadas uma vez que a cratera satélite tem dois diâmetros bem definidos e para uma melhor estimativa deve se usar um valor intermediário entre os mesmos.

**Problema 4.** Diversos fenômenos que ocorrem na natureza podem ser descritos matematicamente em termos de evoluções exponenciais, como exemplo recente a propagação do vírus SARS-CoV-2 responsável pela doença conhecida como COVID-19. Dentre estes diversos fenômenos, um deles se destaca como uma característica de diversos átomos que compõem a matéria: a radioatividade.

Nesse fenômeno, o núcleo de um átomo pode se desintegrar espontaneamente, com a emissão de partículas ou radiação eletromagnética. Apesar de ser um fenômeno natural, ela também pode ser induzida artificialmente através do bombardeio de núcleos atômicos por nêutrons, por exemplo.

Em particular, o isótopo 231 do Protactínio ( $^{231}\text{Pa}$ ), descoberto por Lise Meitner e seu colaborador Otto Hahn, tem tempo de meia vida de 32700 anos. Esse é o isótopo com maior ocorrência natural e são produzidos também em reatores nucleares, sendo um dos elementos que contribuem para a radiotoxidade de longo prazo. Este isótopo também é utilizado para fins de datação geológica.

Considere, por exemplo, que o penúltimo período glacial ocorreu a cerca de 130.800 anos. Se uma amostra de 0,25 g de  $^{231}\text{Pa}$  desta era for encontrada numa determinada região da Terra, qual a massa original de  $^{231}\text{Pa}$  da amostra encontrada?

- (a) 0,0625 g
- (b) 1,0 g
- (c) 4,0 g
- (d) 16 g
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Nota: Considere que não há elementos radioativos capazes de gerar átomos de  $^{231}\text{Pa}$ .

**Solução 4.** [Alternativa (c)] O período indicado no enunciado (130.800 anos) corresponde a 4 tempos de meia vida do  $^{231}\text{Pa}$ . Por este motivo, a amostra inicial deveria ter uma massa  $2^4 = 16$  vezes maior que a encontrada. Portanto, a massa original da amostra era de  $16 \cdot 0,25 \text{ g} = 4 \text{ g}$ .

**Problema 5.** O processo de fissão nuclear foi descoberto pela cientista de origem austríaca Lise Meitner (1878-1968) e colaboradores. O processo consiste na fragmentação de um núcleo atômico induzido pela incidência de partículas subatômicas que, ao possuírem energia cinética suficiente, são capazes de romper as fortes energias de ligação das partículas do núcleo.

Para induzir o processo de fissão nuclear do  $^{238}\text{U}$  é preciso incidir sobre os mesmos nêutrons com energia cinética da ordem de 1 MeV. Sabendo que a massa típica de um nêutron é  $940 \text{ MeV}/c^2$  e supondo que os efeitos da relatividade restrita pudessem ser desprezados nesse tipo de situação, qual deveria ser a velocidade de um nêutron ao atingir um átomo de  $^{238}\text{U}$  para que seja induzido um processo de fissão nuclear?

- (a)  $3,2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
- (b)  $9,8 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
- (c)  $1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- (d)  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dado: considere que a velocidade da luz é dada por  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

**Solução 5.** [Alternativa (c)] Considerando que não há efeitos relativísticos na situação, conforme indica o enunciado, a energia cinética do nêutron com velocidade  $v$  é dada por  $E = mv^2/2$ . Substituindo os valores dados no problema, temos:

$$1 \text{ MeV} = \frac{1}{2} 940 \frac{\text{MeV}}{c^2} v^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{v^2}{c^2} = \frac{2}{940} = \frac{1}{470}$$
$$\Rightarrow \quad v = \frac{c}{\sqrt{470}}$$

Substituindo o valor de  $c$ , obtemos  $v \approx 1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ .

**Problema 6.** No processo de fissão nuclear do  $^{238}\text{U}$  são liberados cerca de 210 MeV para cada fissão. Desta energia liberada, apenas uma parte pode ser utilizada para realizar trabalho útil, por exemplo na geração de energia elétrica.

Suponha que você construiu uma pequena usina de fissão nuclear em casa e a cada processo de fissão de um núcleo de  $^{238}\text{U}$  são liberados 200 MeV. Supondo que você dispõe de 1 g de  $^{238}\text{U}$  para a produção de energia e utilize a energia produzida na sua usina para manter acesa uma lâmpada que consome uma potência de 100 W, o tempo pelo qual essa lâmpada ficaria acesa até consumir toda a energia produzida é mais próximo de:

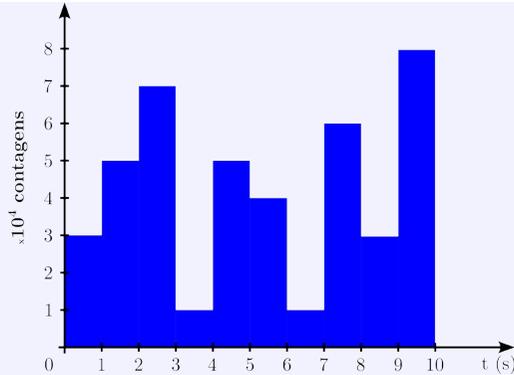
- (a) 24 horas
- (b) 24 dias
- (c) 24 meses
- (d) 24 anos
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Adote como valor de carga para o elétron  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C e  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  como sendo a constante de Avogadro.

**Solução 6.** [Alternativa (d)] A energia liberada por 1 g de  $^{238}\text{U}$  seria igual a  $E = 200N$  MeV, em que  $N$  é o número de átomos de  $^{238}\text{U}$  em 1 g da amostra. Nessa amostra há uma quantidade de átomos igual a  $N = N_A \cdot 1/238 \approx 2,5 \cdot 10^{21}$  átomos. Isso irá gerar uma energia igual a  $E = 5,0 \cdot 10^{23}$  MeV  $\approx 8,1 \cdot 10^{10}$  J. O tempo que a lâmpada ficaria acesa é dado por  $T = E/(100 \text{ W}) = 8,1 \cdot 10^8 \text{ s} \approx 26$  anos.

**Problema 7.** O gráfico a seguir indica a detecção resultante de um decaimento radioativo medido através de um contador Geiger durante um intervalo de tempo curto. As barras verticais indicam a contagem entre dois instantes de tempo, por exemplo, entre os instantes  $t_1 = 2$  s e  $t_3 = 3$  s foram detectados  $7 \cdot 10^4$  decaimentos.

Caso o padrão de decaimentos se repita, aproximadamente, para a amostra analisada, quantos decaimentos se espera obter em um dia?



- (a)  $3,7 \cdot 10^9$   
 (b)  $3,7 \cdot 10^{10}$   
 (c)  $3,7 \cdot 10^5$   
 (d)  $3,7 \cdot 10^4$   
 (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 7.** [Alternativa (a)] Nos 10 s apresentados foram obtidos  $43 \cdot 10^4$  eventos de decaimento. Isso significa que em um dia deverão ser observados  $N = 43 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 24 = 3,7 \cdot 10^9$  decaimentos.

**Problema 8.** Costuma-se expressar a massa de partículas subatômicas em unidades de  $\text{MeV}/c^2$ . O uso dessa unidade se torna mais prático em Física Nuclear uma vez que os valores de massa envolvida são bastante pequenos para serem utilizados em quilogramas.

Para entender como funciona essa unidade, basta lembrar da famosa equação proposta por Albert Einstein ( $E = mc^2$ ) que relaciona a energia associada a uma determinada massa. Aqui,  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  é a energia necessária para fazer um elétron atravessar uma diferença de potencial igual a 1 V.

Caso toda a massa de um conjunto de nêutrons (a massa de um nêutron é cerca de  $940 \text{ MeV}/c^2$ ) fosse convertida em energia elétrica para alimentar uma casa que consome em média  $150 \text{ kWh}$  por mês, aproximadamente quantos nêutrons precisariam ser consumidos (por mês) para alimentar essa casa?

- (a)  $4 \cdot 10^{24}$
- (b)  $4 \cdot 10^{18}$
- (c)  $4 \cdot 10^{15}$
- (d)  $4 \cdot 10^{12}$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Nota: considere que  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

**Solução 8.** [Alternativa (b)] A energia total produzida ao consumir  $N$  nêutrons é dada por  $E = N \cdot 940 \text{ MeV}$ , uma vez que cada nêutron contribui com  $940 \text{ MeV}$ . Utilizando o consumo mensal indicado no enunciado, temos:

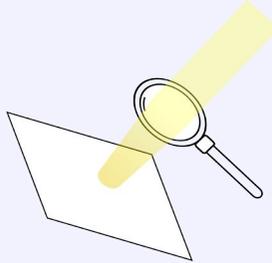
$$N = \frac{150 \cdot 10^3 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{940 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ nêutrons}$$

em que utilizamos  $1 \text{ kWh} = 10^3 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ .

**Problema 9.** O Sol emite cerca de  $3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$  de potência. Essa energia é produzida principalmente por processos de fusão nuclear que liberam bastante energia quando prótons do núcleo de átomos de hidrogênio se chocam e produzem átomos de hélio.

Essa potência produzida pelo Sol atinge a Terra com intensidade de cerca de  $1380 \text{ W/m}^2$ , valor também conhecido como constante solar.

Imagine que você use uma lupa para concentrar esses raios solares com o intuito de fazer essa intensidade luminosa quadruplicar sobre uma superfície que está a 6 cm de uma lupa que possui 3 cm de diâmetro. Qual deve ser a distância focal da lupa utilizada para obter essa situação?

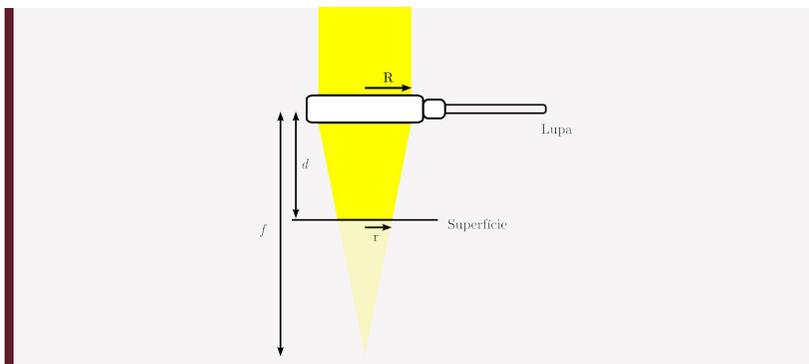


- (a) 2 cm
- (b) 8 cm
- (c) 12 cm
- (d) 18 cm
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 9.** [Alternativa (c)] Para que a intensidade seja quatro vezes maior, é preciso que a área sobre a qual a luz se distribui seja quatro vezes menor.

Neste caso, conforme mostra a figura, sabendo que os raios chegam do Sol na Terra aproximadamente paralelos e que irão convergir para o foco da lente, teremos:

$$\frac{f}{f-d} = \frac{R}{r} = \sqrt{\frac{A}{A'}} = \sqrt{4} = 2 \quad \Rightarrow \quad f = 2d = 12 \text{ cm}$$



**Problema 10.** Fazer ciência não é uma tarefa fácil, por isso é bastante comum precisar de algum incentivo. Algo que mantenha o espírito de curiosidade sempre aceso. Um desses elementos de incentivo é, inclusive, um dos gostos nacionais, o café.

A figura a seguir mostra um diagrama de uma cafeteira tipo italiana bastante utilizada para promover a ciência. Nela estão mostrados o reservatório de água, que será aquecida e irá passar pelo pó de café para produzir o café que tomamos.



Dos itens a seguir, qual deles melhor indica como se dá o funcionamento deste dispositivo.

- (a) Durante o aquecimento da água a sua densidade diminui

- o que a faz subir passando pelo filtro que contém o café.
- (b) Ao atingir o ponto de ebulição a água líquida se torna vapor e este vapor é que atravessa o tubo passando pelo filtro com café.
  - (c) Ao aquecer o reservatório que contém água tanto o ar quanto a água líquida aquecem, o que dificulta a passagem da água pelo tubo.
  - (d) Ao aquecer o reservatório, o ar aquece causando um aumento de pressão, que é responsável por pressionar o líquido contra o tubo e produzir a passagem de água pelo filtro de café.
  - (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 10.** [Alternativa (d)] O aquecimento do gás envolvido no reservatório que contém água causa o seu aumento de pressão. Isso causa uma subida lenta da coluna de água no tubo. O fluxo de água que atravessa o filtro com café produz a bebida e continua enquanto houver pressão suficiente para elevar o líquido.

**Problema 11.** Nesse ano ocorreu a copa do mundo de futebol feminino. O evento foi disputado em dois países, Austrália e Nova Zelândia, e teve um recorde de participação com 32 equipes na disputa.

O elemento central do futebol é a bola, que deve ser conduzida pelas esportistas com o objetivo de pontuar através de gols. As dimensões típicas de uma bola de futebol são regulamentadas pela Federação Internacional de Futebol (FIFA) e tem que ter entre 68 e 70 centímetros de perímetro. considere que o perímetro seja medido ao longo da bola em qualquer círculo que contenha o centro da bola.

Supondo que  $\pi = 3$ , a quantidade mínima de material necessária para fazer essa bola é cerca de

- (a) 0,04 m<sup>2</sup>
- (b) 0,16 m<sup>2</sup>
- (c) 0,64 m<sup>2</sup>
- (d) 1,9 m<sup>2</sup>
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 11.** [Alternativa (b)] Considerando que o perímetro da bola é  $C = 0,70$  m e que as respostas estão em unidades de área, a menor quantidade de material deve ser utilizada corresponde à área da bola. Considerando a bola como uma esfera, o seu raio será dado por  $r = C/2\pi$  e, portanto, a área será:

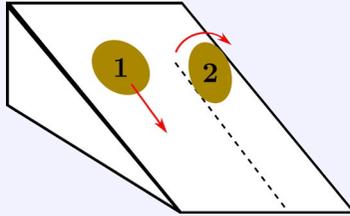
$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot \pi \cdot \frac{C^2}{4 \cdot \pi^2} = \frac{C^2}{\pi} = \frac{0,7^2}{3} \text{ m}^2 \approx 0,16 \text{ m}^2$$

**Problema 12.** Apesar de ter contribuído de maneira fundamental para explicar o processo de fissão nuclear, a brilhante cientista Lise Meitner não foi laureada com o prêmio Nobel. Ao receber essa premiação, os agraciados recebem também uma medalha de ouro simbolizando a conquista.

Considere que uma medalha como essa tenha o formato de um disco circular homogêneo. Suponha que você decide colocar essa medalha de ouro 18 quilates, obtida como prêmio após uma grande contribuição científica, sobre um plano inclinado. A medalha pode deslizar sobre a sua superfície (situação 1) ou rolar sobre a sua borda (situação 2), conforme mostra a figura.

Supondo que ambas as medalhas são soltas a partir do repouso, que no primeiro caso não haja atrito e no segundo

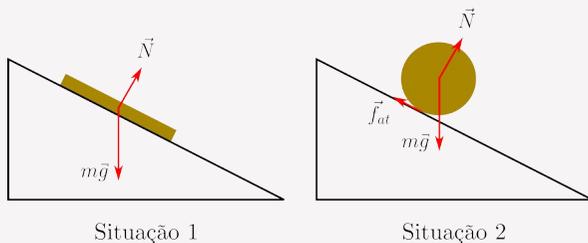
caso o atrito seja o suficiente para provocar a descida com o rolamento da medalha, o que se pode afirmar sobre o tempo a medalha leva para descer uma certa altura?



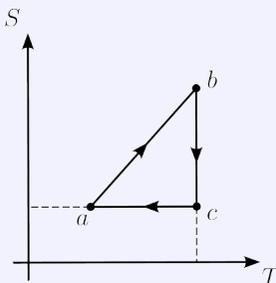
- (a) A situação 2 permite que a medalha desça de uma certa altura em menor tempo, uma vez que o movimento de rolamento permite adquirir maiores velocidades que o movimento de deslizamento.
- (b) A situação 1 permite que a medalha desça mais rápido uma vez que não havendo atrito com a superfície sua aceleração é maior.
- (c) A situação 2 permite uma descida mais rápida uma vez que a energia potencial gravitacional se transforma em energia cinética de translação e de rotação, contribuindo mais para o movimento que na situação 1.
- (d) De acordo com o princípio da conservação da energia não há diferença entre os tempos nas duas situações, uma vez que toda a energia potencial se transforma em energia cinética.
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 12.** [Alternativa (b)] Analisando as forças que atuam nas duas situações, conforme mostra a figura a seguir, a componente da força resultante na situação 1, correspondente à componente da força peso na direção da superfície do plano inclinado, é maior que na situação 2, na qual é preciso descontar

o valor da força de atrito. Portanto a aceleração do centro de massa na situação 2 é menor, levando a um menor tempo para percorrer uma determinada distância na situação 1.



**Problema 13.** O diagrama ilustrado na figura a seguir mostra um ciclo termodinâmico ( $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$ ) realizado por um gás ideal quando visto através de um diagrama de entropia ( $S$ ) como função da temperatura ( $T$ ).



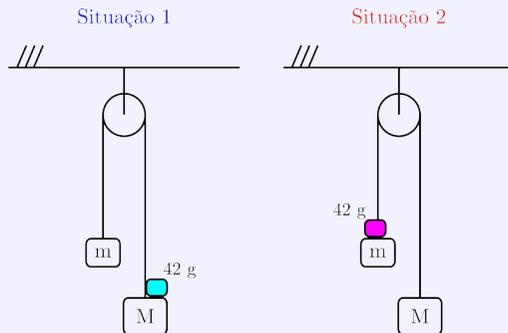
Sobre os processos termodinâmicos que ocorrem no ciclo, é correto afirmar que:

- (a) O processo  $c \rightarrow a$  ocorre sem que haja troca de calor do sistema com as vizinhanças.
- (b) A área destacada no gráfico representa o calor total fornecido ao sistema.
- (c) A área destacada no gráfico representa o trabalho total

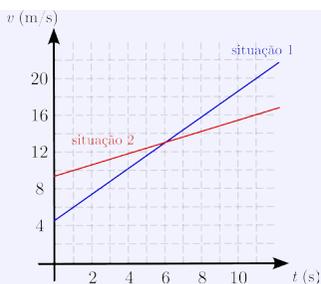
- realizado pelo sistema.
- (d) O processo  $b \rightarrow c$  ocorre sem que seja realizado trabalho.
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 13.** [Alternativa (a)] Por se tratar de um processo no qual a entropia se mantém constante, o processo  $c \rightarrow a$  ocorre sem que haja troca de calor do sistema com as vizinhanças. Como o ciclo ocorre no sentido horário nesse diagrama, a área do gráfico representa os calores cedidos e recebidos pelo gás ao realizar o ciclo completo. O processo isotérmico  $b \rightarrow c$  ocorre com a realização de trabalho sobre o sistema.

**Problema 14.** Um dos exemplos mais conhecidos de sistema mecânico é a máquina de Atwood. Ela consiste de uma polia através da qual passa um fio que liga dois blocos. O sistema serve para erguer pesos como mostra as situações 1 e 2, nas quais uma massa  $M$  é utilizada para erguer uma massa  $m$ . Nas duas situações uma massa de 42,0 g é colocada sobre a massa  $M$  (situação 1) ou sobre a massa  $m$  (situação 2).



Uma pessoa decidiu medir a velocidade de queda da massa  $M$  em cada uma das situações e obteve como resultado o gráfico a seguir.



Qual o valor da diferença entre as massas  $M$  e  $m$ ?

- (a) 16,8 g
- (b) 18 g
- (c) 98 g
- (d) 105 g
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 14.** [Alternativa (d)] A aceleração numa máquina de Atwood é dada por

$$a = \frac{\Delta M}{\Sigma M} g$$

em que  $\Delta M$  indica a diferença entre as massas presas ao fio e  $\Sigma M$  a soma das massas, em gramas.

Analisando as situações 1 e 2, obtemos as suas respectivas acelerações  $a_1$  e  $a_2$  como sendo

$$a_1 = \frac{M + 42 - m}{M + 42 + m} g, \quad \text{e} \quad a_2 = \frac{M - 42 - m}{M + 42 + m} g$$

de maneira que:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{M - m + 42}{M - m - 42} = \frac{x + 42}{x - 42}$$

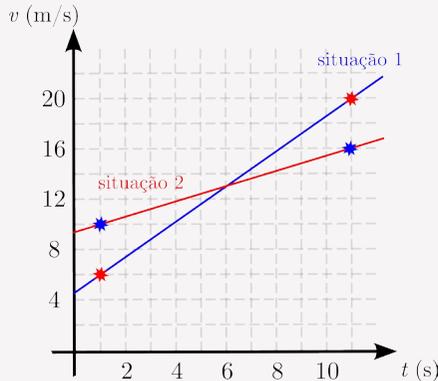
em que  $x$  representa a diferença entre as massas na qual estamos interessados. Reorganizando a equação anterior temos:

$$x = 42 \cdot \left( \frac{a_1 + a_2}{a_1 - a_2} \right)$$

Pelo gráfico apresentado no enunciado é possível obter as acelerações das massas como função da inclinação das retas de  $v$  contra  $t$ . Para isso, marcamos sobre cada linha dois pontos que serão utilizados como referência para obter a inclinação das retas. As acelerações podem ser obtidas como:

$$a_1 = \frac{20 - 6 \text{ m/s}}{11 - 1 \text{ s}} = \frac{14}{10} \text{ m/s}^2 = 1,4 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = \frac{16 - 10 \text{ m/s}}{11 - 1 \text{ s}} = \frac{6}{10} \text{ m/s}^2 = 0,6 \text{ m/s}^2$$

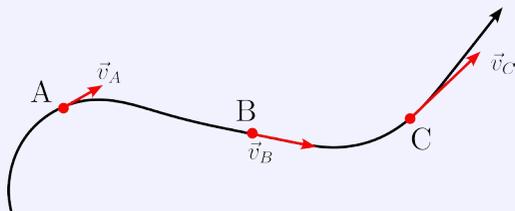


Note os pontos marcados que utilizamos para obter a inclinação das retas, eles foram escolhidos o mais distante possível, para garantir um erro menor no cálculo da inclinação da reta, e de forma que cruzassem a grade pontilhada.

Substituindo na expressão obtida para calcular o valor de  $x$ , temos:

$$x = 42 \text{ g} \cdot \left( \frac{1,4 + 0,6}{1,4 - 0,6} \right) = 42 \text{ g} \cdot \frac{2,0}{0,8} = 105 \text{ g}$$

**Problema 15.** Um carro descreve um movimento uniformemente variado ao longo de uma trajetória curva sobre uma estrada plana e horizontal, conforme mostra a figura.



Sabendo que o móvel partiu do repouso no instante em que se iniciou o movimento, é possível afirmar que

- (a) No ponto A a aceleração é maior que no ponto C.
- (b) No ponto C a aceleração é maior que no ponto A.
- (c) No ponto B a aceleração é paralela à velocidade.
- (d) No ponto B a aceleração é perpendicular à velocidade.
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

**Solução 15.** [Alternativa (c)] Nos pontos A e C o móvel descreve trechos curvos e, portanto, é necessário haver uma ace-

leração centrípeta para mantê-lo na trajetória apresentada. O valor da aceleração centrípeta depende do raio da trajetória no local em que se está determinando essa aceleração e, portanto, não é possível afirmar se a aceleração (tangencial + centrípeta) é maior no ponto A ou no ponto C. No ponto B, o trecho é aproximadamente retilíneo e portanto não há aceleração centrípeta. Neste caso, apenas a aceleração tangencial, paralela à velocidade, atua.





## **2ª fase do TFM**





## Problema 1 - Liberação de energia por fissão nuclear

O processo de fissão nuclear se baseia na divisão do núcleo de um elemento atômico em elementos menores. A ideia deste problema é estimar, através de um modelo grosseiro, a energia liberada num processo desse tipo.

No modelo adotado neste problema, o núcleo atômico de carga  $Q$  (situação 1) se divide em dois outros idênticos entre si (situação 2), conforme mostra a fig. 2. Consideramos que a densidade dos núcleos antes e depois da fissão é a mesma.

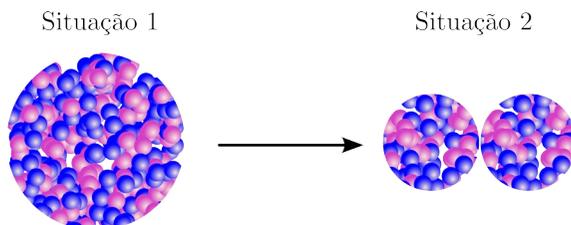


Figura 2: Modelo grosseiro para a fissão nuclear.

Num sistema clássico, a energia  $U$  armazenada em forma de energia potencial elétrica para uma carga  $Q$  uniformemente distribuída em uma esfera de raio  $R$  é dada por:

$$U = \frac{3}{5} \frac{kQ^2}{R}, \quad (1)$$

em que  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$  é a constante de Coulomb.

Para resolver os itens a seguir, considere que o núcleo que estamos tratando é o de  $^{235}\text{U}$  que tem número atômico  $Z = 92$  e raio  $R = 7 \cdot 10^{-3} \text{ pm}$ .

**1.a** Determine o valor da energia potencial armazenada na situação 1 em joule e MeV.

**Solução:**

Na situação descrita a carga do núcleo é dada por  $Q = Z \cdot e$ , e portanto:

$$U_1 = \frac{3 k Q^2}{5 R} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (92 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^2}{5 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-12}} \text{ J}$$

$$\Rightarrow U_1 = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ J, ou } U_1 = 1,0 \text{ GeV}$$

**1.b** Determine o raio dos núcleos atômicos na situação 2.

**Solução:**

No modelo do problema, o volume do núcleo original deve ser igual à soma dos núcleos resultantes e, portanto:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r^3 + \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \Rightarrow \quad r^3 = \frac{R^3}{2}$$

$$r = \frac{R}{\sqrt[3]{2}} \approx 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ pm}$$

**1.c** Determine o valor da energia potencial armazenada na situação 2 em joule e MeV.

**Solução:**

As duas distribuições esféricas irão contribuir com uma mesma energia. considerando que a nova carga de cada distribuição é metade da anterior ( $q = Q/2$ ), a soma das duas será

$$E_1 = 2 \cdot \frac{3}{5} \frac{kq^2}{r} = 1,05 \cdot 10^{-10} \text{ J, ou } E_1 = 0,56 \text{ GeV}$$

Como os núcleos carregados estão a uma distância  $2r$ , eles interagem com uma energia dada por:

$$E_2 = \frac{kq^2}{2r} = 4,4 \cdot 10^{-11} \text{ J, ou } E_2 = 0,27 \text{ GeV}$$

Nesta situação, a energia potencial do conjunto será:

$$U_2 = E_1 + E_2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J, ou } U_2 = 0,83 \text{ GeV}$$

**1.d** No processo é prevista liberação de energia? Se sim compare com o valor de energia liberada num processo típico (200 MeV), se não sugira quais as possíveis falhas do modelo?

### Solução:

Como a energia potencial é menor na situação 2 do que na situação 1, este resultado indica que haverá liberação de energia. O valor de energia liberada será

$$\Delta U = U_1 - U_2 = (1,0 - 0,83) \text{ GeV} \approx 0,17 \text{ GeV} = 170 \text{ MeV}$$

Esse resultado é comparável com a energia liberada no processo de fissão, mostrando que se trata de um bom modelo simplificado.

**1.e** Supondo que a variação de energia potencial da situação 1 para a situação 2 corresponda a uma variação de massa dos núcleos dos reagentes e produtos envolvidos na fissão. Estime qual a variação de massa no sistema entre as situações 1 e 2. Expresse seu resultado em termos da massa do nêutron  $m_N = 940 \text{ MeV}/c^2$ .

**Solução:**

Usando o resultado do item anterior e a relação de Einstein ( $E = mc^2$ ), a variação de massa  $\Delta m$  seria dada por:

$$\Delta m = \frac{\Delta U}{c^2} = 170 \text{ MeV}/c^2$$

Comparando com a massa do nêutron teríamos:

$$\frac{\Delta m}{m_N} = \frac{170}{940} \approx 0,18 \text{ ou } 18\%$$

A variação de massa seria cerca de 18% da massa do nêutron.

## Problema 2 - Compressão de um gás ideal

Suponha que um gás ideal exótico possua calor específico molar a volume constante dado por  $c_V = R$ , em que  $R$  é a constante dos gases ideais. Uma certa quantidade desse gás, inicialmente à temperatura  $T_0 = 27^\circ\text{C}$  está armazenada num contêiner de forma cilíndrica com área de seção transversal  $A = 20\text{ cm}^2$ , conforme mostra a fig. 3.

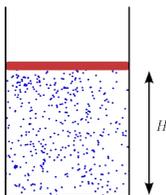


Figura 3: Gás ideal exótico armazenado num contêiner.

Inicialmente a altura da região ocupada pelo gás é  $H = 40\text{ cm}$  e vedada por um pistão, que pode se mover verticalmente sem atrito, com massa  $m = 250\text{ g}$ .

**2.a** Desconsiderando quaisquer efeitos da pressão atmosférica local e assumindo que  $R = 8,0\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ , determine o número de mols do gás dentro do cilindro.

### Solução:

Como o pistão se encontra em equilíbrio, a soma das forças deve ser nula, e, portanto:

$$p \cdot A = mg$$

em que  $p$  é a pressão no gás. De acordo com a equação do gás ideal:

$$pV = nRT \Rightarrow n = \frac{pV}{RT} = \frac{\frac{mg}{A}AH}{RT_0} \Rightarrow n = \frac{mgH}{RT_0}$$

Substituindo os valores, temos:

$$n = \frac{0,25 \cdot 10 \cdot 0,4}{8,0 \cdot 300} \text{ mol} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Suponha agora que um objeto com massa  $M = 750 \text{ g}$  seja colocado sobre o pistão móvel. Responda aos itens a seguir.

**2.b** Caso as paredes do recipiente sejam diatérmicas determine a altura final ( $h$ ) da região ocupada pelo gás. A temperatura ambiente é  $T_0$ .

### Solução:

Como se trata de um processo isotérmico, é válida a relação  $pV = \text{cte}$ . Neste caso:

$$p_0V_0 = pV \Rightarrow p_0AH = pAh \Rightarrow mgH = (m + M)gh$$

$$\Rightarrow h = \left( \frac{m}{m + M} \right) H$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$h = \left( \frac{250}{250 + 750} \right) \cdot 40 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

Supondo agora que as paredes do recipiente são adiabáticas, responda aos itens a seguir:

**2.c** Caso o corpo de massa  $M$  seja lentamente solto sobre o pistão, determine a altura final da região ocupada pelo gás e qual a temperatura do mesmo.

**Solução:**

Nesta situação o gás desenvolve um processo adiabático e o pistão está sempre em equilíbrio mecânico. Sendo  $\gamma$  o coeficiente de Poisson do gás, temos:

$$p_0 V_0^\gamma = p V^\gamma \quad \Rightarrow \quad p_0 (AH)^\gamma = p (Ah)^\gamma$$

$$\Rightarrow \quad mgH^\gamma = (m + M)gh^\gamma \quad \Rightarrow \quad h = \left( \frac{m}{m + M} \right)^{1/\gamma} H$$

Para determinar o coeficiente de Poisson é possível usar a relação de Meyer, i.e.  $c_p = c_v + R$  e, portanto,  $c_p = 2R$ . O coeficiente de Poisson é dado por  $\gamma = c_p/c_v = 2$ .

Neste caso:

$$\Rightarrow \quad h = \left( \frac{m}{m + M} \right)^{1/\gamma} H = \sqrt{\frac{m}{m + M}} \cdot H$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$h = \sqrt{\frac{250}{250 + 750}} \cdot 40 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Para obter a temperatura basta usar a relação entre volume e temperatura para um processo adiabático ( $TV^{\gamma-1} = \text{cte}$  ou simplesmente  $TV = \text{cte}$ ), para obter:

$$T_0 V_0 = TV \quad \Rightarrow \quad T = \frac{V_0}{V} \cdot T_0 = \frac{H}{h} \cdot T_0 = \sqrt{\frac{m+M}{m}} \cdot T_0$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$T = \sqrt{\frac{250 + 750}{250}} \cdot 300 \cdot K = 600 \text{ K, ou } T = 573^\circ\text{C}$$

**2.d** Caso o corpo de massa  $M$  seja solto abruptamente sobre o pistão, determine a altura da região ocupada pelo gás e qual a temperatura do mesmo quando o pistão parar pela primeira vez. Considere que a equação de estado para um processo adiabático continua válida nessa situação.

### Solução:

Considerando que não haja perdas de energia no sistema a energia se conserva. Na situação final o pistão estará novamente em repouso e teremos:

$$(U_{pg} + E_{\text{gás}})_{\text{início}} = (U_{pg} + E_{\text{gás}})_{\text{final}}$$

$$(m + M)gH + nc_V T_0 = (m + M)gh + nc_V T$$

Usando que  $c_V = R$ , e que  $T_0V_0 = TV$  ou  $T_0H = Th$ , temos:

$$(m + M)gH + nRT_0 = (m + M)gH\frac{T_0}{T} + nRT$$

Pelo item (a), temos  $nRT_0 = mgH$ , o que nos leva a:

$$(m + M)gH + mgH = (m + M)gH\frac{T_0}{T} + mgH\frac{T}{T_0}$$

$$\Rightarrow T^2 - \left(2 + \frac{M}{m}\right) T_0 \cdot T + \left(1 + \frac{M}{m}\right) T_0^2 = 0$$

Substituindo os valores fornecidos no enunciado obtemos:

$$T_1 = T_0 = 300 \text{ K, situação inicial}$$

$$T_2 = 4 \cdot T_0 = 1200 \text{ K, situação pedida}$$

E, portanto, a temperatura final será 1200 K ou 1173°C. A altura será, neste caso:

$$h = \frac{T_0}{T} H = \frac{300}{1200} \cdot 40 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

**2.e** Na situação do item anterior, qual a aceleração (módulo e sentido) da massa  $M$  no instante considerado?

**Solução:**

Como  $pV^2 = \text{cte}$ , o que é equivalente a  $p_0H^2 = ph^2$ , temos:

$$p = p_0 \left( \frac{H}{h} \right)^2 = 16p_0$$

Note que  $p_0A = mg$  e, portanto  $pA = 16mg$ , de maneira que a força resultante na situação final nos dá a aceleração do conjunto ao aplicarmos a 2ª lei de Newton. Temos:

$$F_R = pA - (m + M)g \quad \Rightarrow \quad (m + M)a = 16mg - (m + M)g$$

Substituindo os valores numéricos:

$$\Rightarrow a = (16 \cdot 0,25 \cdot 10 - 10) \text{ m/s}^2 \quad \Rightarrow \quad a = 30 \text{ m/s}^2$$

### Problema 3 - Cunha e bloquinhos...

Normalmente analisamos sistemas em que blocos são colocados sobre uma cunha triangular. Neste problema, considere que uma cunha triangular é posta sobre dois blocos conforme mostra a fig. 4.

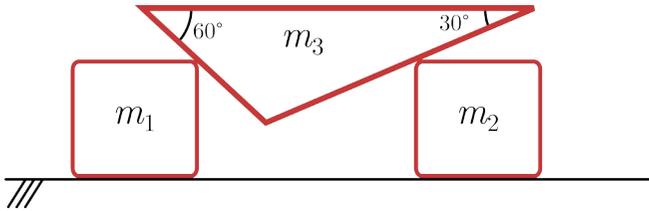


Figura 4: Cunha colocada sobre blocos.

Na situação mostrada os ângulos de abertura da cunha são  $60^\circ$  e  $30^\circ$  e uma das faces, em todos os casos a serem analisados aqui, permanece sempre na horizontal.

Considere que não haja atrito entre as superfícies da cunha e dos blocos. O coeficiente de atrito entre os blocos e o solo é  $\mu$ . Considere em todos os itens a seguir que  $m_1 = m_2 = m_3 = M$ .

**3.a** Qual é o menor valor do coeficiente de atrito  $\mu$  para o qual os blocos não irão se mover?

#### Solução:

Na figura 5 estão representados os diagramas de corpo livre para cada um dos corpos.

Para que a cunha esteja em equilíbrio é preciso que  $\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + m\vec{g} = 0$ , o que nos leva a:

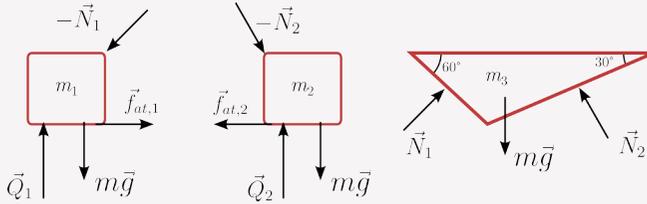


Figura 5: Diagrama de corpo livre.

$$\begin{cases} N_1 = mg \operatorname{sen} 30^\circ \\ N_2 = mg \operatorname{cos} 30^\circ \end{cases}$$

Aplicando a condição de equilíbrio para os blocos  $m_1$  e  $m_2$  somos levados a:

$$\begin{cases} Q_1 = N_1 \operatorname{cos} 60^\circ + mg = mg \operatorname{cos} 60^\circ \operatorname{sen} 30^\circ + mg \\ Q_2 = N_2 \operatorname{cos} 30^\circ + mg = mg \operatorname{cos} 30^\circ \operatorname{cos} 30^\circ + mg \end{cases}$$

Por fim, como o valor da força de atrito está limitado a  $f_{\text{at}} \leq \mu Q$ , o menor valor de coeficiente de atrito para que cada um dos blocos permaneça em repouso é dado por:

- Equilíbrio de  $m_1$ :

$$N_1 \operatorname{sen} 60^\circ = f_{\text{at},1} \leq \mu_1 Q_1$$

$$mg \operatorname{sen} 30^\circ \operatorname{sen} 60^\circ \leq \mu_1 mg (\operatorname{cos} 60^\circ \operatorname{sen} 30^\circ + 1)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4} mg \leq \frac{5}{4} \mu_1 mg \quad \Rightarrow \quad \mu_1 \geq \frac{\sqrt{3}}{5}$$

- Equilíbrio de  $m_2$ :

$$N_2 \sin 30^\circ = f_{\text{at},2} \leq \mu_2 Q_2$$

$$mg \cos 30^\circ \sin 30^\circ \leq \mu_2 mg (\cos 30^\circ \cos 30^\circ + 1)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4} mg \leq \frac{7}{4} \mu_2 mg \quad \Rightarrow \quad \mu_2 \geq \frac{\sqrt{3}}{7}$$

Como  $\mu_1 > \mu_2$  é preciso que  $\mu$  seja, pelo menos, igual a  $\mu_1$  para que nenhum dos blocos se mova. Portanto:

$$\mu \geq \frac{\sqrt{3}}{5} \quad \text{ou} \quad \mu \geq 0,35.$$

**3.b** Considerando que o valor de coeficiente de atrito é ligeiramente menor que o obtido no item anterior, qual das massas ( $m_1$  ou  $m_2$ ) irá se mover?

**Solução:**

Como a condição sobre  $m_1$  deixa de valer mas continua valendo a condição sobre  $m_2$ , o corpo de massa  $m_1$  irá se mover.

A seguir, considere que não haja forças de atrito entre as superfícies que estão em movimento e que o bloco  $m_2$  esteja fixo no solo.

**3.c** Determine qual o valor das acelerações da cunha  $m_3$  e do bloco  $m_1$ .

**Solução:**

À medida que se move para a esquerda a cunha também desce. Para obter as suas acelerações, precisamos de um ponto de referência sobre a mesma. Iremos usar, neste caso, o ponto  $P$  (vértice inferior da cunha), conforme mostrado na figura 6.

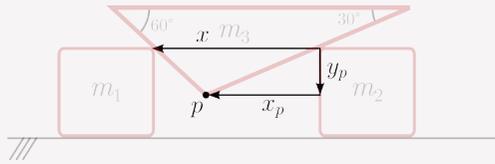


Figura 6: Vínculos geométricos.

Sendo  $x$  a distância entre os blocos  $m_1$  e  $m_2$  as distâncias  $x_P$  e  $y_P$  mostradas na figura podem ser facilmente obtidas como:

$$x_P = x \cos 30^\circ \sin 60^\circ \quad \text{e} \quad y_P = x \sin 30^\circ \sin 60^\circ$$

Sendo  $A$  a aceleração de  $m_1$  as acelerações da cunha serão, portanto:

$$a_x = A \cos 30^\circ \sin 60^\circ = \frac{3}{4}A \quad (\text{i})$$

$$\text{e} \quad a_y = A \sin 30^\circ \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4}A \quad (\text{ii})$$

O diagrama de corpo livre para a cunha e para o bloco  $m_1$  estão mostrados na figura 7.

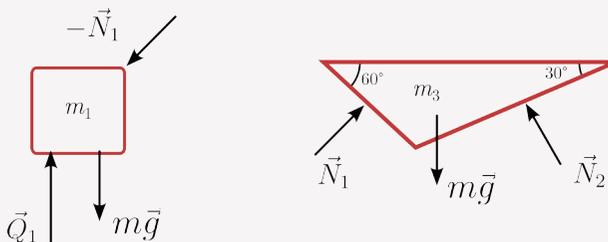


Figura 7: Diagrama de corpo livre.

Aplicando a 2ª lei de Newton aos corpos temos:

$$mg - N_2 \cos 30^\circ - N_1 \cos 60^\circ = ma_y \quad (\text{iii})$$

$$N_2 \sin 30^\circ - N_1 \sin 60^\circ = ma_x \quad (\text{iv})$$

$$N_1 \sin 60^\circ = mA \quad (\text{v})$$

Desta maneira, utilizando (i) e (ii) nas equações (iii) e (iv), obtemos:

$$mg - N_2 \cos 30^\circ - N_1 \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4}mA \quad (\text{vi})$$

$$N_2 \sin 30^\circ - N_1 \sin 60^\circ = \frac{3}{4}mA \quad (\text{vii})$$

Utilizando o resultado da eq. (v) na eq. (vii), obtemos:

$$N_2 \sin 30^\circ - mA = \frac{3}{4}mA \quad \Rightarrow \quad N_2 \sin 30^\circ = \frac{7}{4}mA \quad (\text{viii})$$

Utilizando os resultados (v) e (viii) em (iii), chegamos a:

$$\begin{aligned} mg - \frac{7}{4}mA \cos 30^\circ - mA \cos 60^\circ &= \frac{\sqrt{3}}{4}mA \\ \Rightarrow A &= \frac{\sqrt{3}}{7}g \end{aligned} \quad (\text{bloco})$$

E, portanto, para a cunha:

$$a_x = \frac{3\sqrt{3}}{28}g \quad \text{e} \quad a_y = \frac{3}{28}g$$

Ou, em termos numéricos:  $A = 2,5 \text{ m/s}^2$ ,  $a_x = 1,9 \text{ m/s}^2$  e  $a_y = 1,1 \text{ m/s}^2$ .

## Problema 4 - Levitação

Sabemos que a luz pode ser tratada como sendo constituída de diversas “partículas” chamadas de fótons. Cada um desses fótons, com frequência bem definida  $f$ , se move no ar com a velocidade da luz  $c$  carregando consigo energia de valor  $hf$  e quantidade de movimento linear de valor  $hf/c$ , sendo  $h$  a constante de Planck.

Imagine que você deseja utilizar as propriedades dos fótons para fazer levitar uma peça em forma de um prisma triangular (veja a fig. 8) de massa  $M = 15$  mg fazendo incidir luz vermelha de uma fonte ideal (frequência  $4 \times 10^{14}$  Hz) de baixo para cima, conforme mostrado na figura.

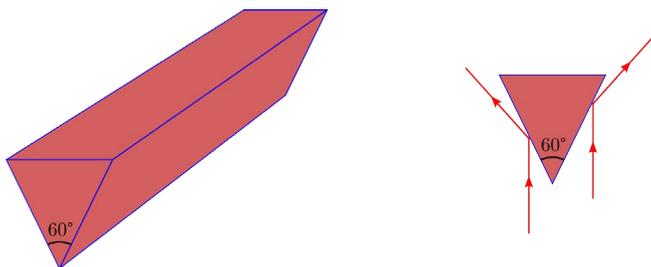


Figura 8: Levitação de um prisma de base triangular.

Supondo que as faces do cilindro sob incidência luminosa sejam revestidas por uma superfície espelhada ideal e tenham uma abertura angular de  $60^\circ$  entre si, responda aos itens a seguir.

**4.a** Determine o valor numérico da energia, em J e em eV, de cada fóton utilizado no experimento.

**Solução:**

Utilizando os dados do problema, a energia de um fóton é dada por:

$$E = hf = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{14} = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Para obter este valor em eV, basta dividir pelo valor da carga elementar, daí:

$$E_{\text{eV}} = \frac{E}{e} \stackrel{N}{=} 1,7 \text{ eV}$$

**4.b** Determine o valor numérico da quantidade de movimento de cada fóton utilizado no experimento.

**Solução:**

Utilizando os dados do problema, a quantidade de movimento de um fóton é dada por:

$$q = \frac{hf}{c} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{14}}{3 \cdot 10^8} \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 8,8 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

**4.c** Qual o valor da variação do módulo da quantidade de movimento, na direção vertical, de um fóton refletido numa das faces do cilindro?

**Solução:**

O desvio do raio luminoso após atingir uma face espelhada é de  $60^\circ$  como pode ser visto na figura 9.

Neste caso a componente vertical da quantidade de movimento passa a ser:

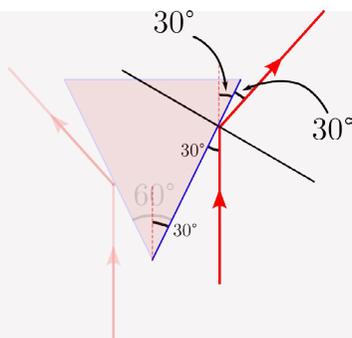


Figura 9: Desvio do raio luminoso.

$$q_{y,\text{final}} = q \cdot \cos 60^\circ$$

A variação de movimento na vertical é, portanto:

$$\Delta q = q \cdot (\cos 60^\circ - 1) = -\frac{q}{2} = -4,4 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Como no enunciado o valor é pedido em módulo, temos  $|\Delta q| = 4,4 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

**4.d** Qual deve ser a potência mínima da fonte luminosa para que o prisma permaneça em repouso no ar? Você considera esse resultado razoável?

### Solução:

Precisamos relacionar a potência do laser com a força exercida sobre o prisma. A força está relacionada com a variação da quantidade de movimento dos fótons, enquanto a

potência está relacionada com a energia dos mesmos. Vamos determinar qual é essa relação.

Para isso, veja que a potência do laser é dada por:

$$P = \frac{\Delta n}{\Delta t} h f$$

em que  $\Delta n/\Delta t$  representa a quantidade de fótons emitidos por intervalo de tempo e  $hf$  é a energia de cada um desses fótons.

A força exercida pelos fótons sobre o prisma será dada por:

$$F_y = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta(nq)}{\Delta t} = \frac{\Delta n}{\Delta t} \frac{q}{2}$$

Como  $q = hf/c$ , obtemos:

$$F_y = \frac{\Delta n}{\Delta t} \frac{hf}{2c} = \frac{P}{2c}$$

No equilíbrio  $F_y = mg$ , o que nos leva a:

$$P = 2m g c = 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ W} = 90000000 \text{ W}$$

$$\text{ou } P = 9 \cdot 10^7 \text{ W}$$

## Problema 5 - Difusão

Na figura 10 está representada uma trajetória típica em zigue-zague de uma partícula de poeira no ar. As escalas estão indicadas na figura através do quadrado de lado 1 cm.

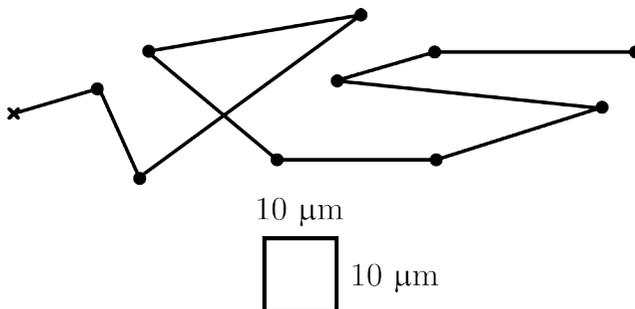


Figura 10: Exemplo de uma trajetória de poeira no ar.

Nesse tipo de movimento a partícula muda abruptamente de direção através de colisões (indicadas pelos círculos) da partícula de poeira com as moléculas presentes no ar e se move em linha reta entre estas colisões.

**5.a** Para esta trajetória indicada, faça uma tabela das distâncias  $\ell$  percorridas pela partícula em cada um dos trechos retilíneos, entre duas colisões consecutivas. Após isso, determine o valor médio  $\langle \ell \rangle$  da distância percorrida pela partícula entre duas colisões.

### Solução:

Para obter os valores com a régua é preciso fazer a associação de que a cada 1 cm medido na régua correspondem 10

$\mu\text{m}$ . Com isso em mente as medidas obtidas são:

Medida #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\ell$ ( $\mu\text{m}$ )	11	13	37	28	22	21	23	35	13	27

$$\langle \ell \rangle = 23 \mu\text{m}$$

Esse tipo de movimento é conhecido como *movimento browniano* e o seu entendimento tem profundos impactos no conhecimento acerca da natureza corpuscular da matéria. No movimento browniano em duas dimensões, conforme ilustrado na fig. 10, dizemos que a partícula se difunde no ar através de uma equação do tipo:

$$\langle d^2 \rangle = 2Dt, \quad (2)$$

em que  $d^2$  representa o quadrado da distância da partícula a um ponto inicial de observação (como aquele indicado por um X na fig. 10),  $D$  representa o coeficiente de difusão da partícula no meio e  $t$  o tempo de observação. O símbolo  $\langle \ \rangle$  indica que estamos tomando o valor médio de uma grandeza após um grande conjunto de medidas para o mesmo fenômeno, nesta equação o quadrado da distância. Isso é necessário porque, por se tratar de um processo aleatório, observar apenas uma trajetória de difusão de uma partícula, como a da fig. 10, não é o suficiente para obter uma descrição completa do fenômeno.

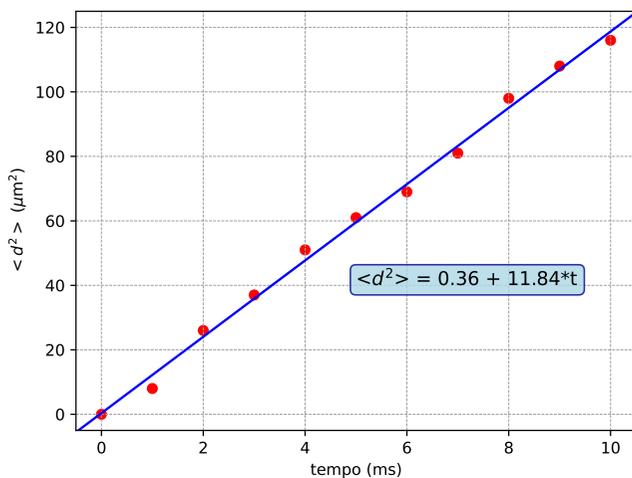
Por exemplo, após um conjunto de medidas para várias trajetórias foi anotado o valor de  $\langle d^2 \rangle$  como função do tempo de observação. Os valores obtidos estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Distância quadrática média obtida para a difusão de uma partícula de poeira no ar como função do tempo.

$\langle d^2 \rangle$ ( $\mu\text{m}^2$ )	0	8	26	37	51	61	69	81	98	108	116
$t$ (ms)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**5.b** Faça um gráfico de  $\langle d^2 \rangle$  como função do tempo e obtenha, a partir deste, uma estimativa para o coeficiente de difusão  $D$ .

**Solução:**



De acordo com o gráfico uma estimativa para  $D$  é:

$$D \approx 6,0 \mu\text{m}^2/\text{ms}$$

**5.c** Estime o valor médio da velocidade (módulo) da partícula durante o movimento de difusão.

**Solução:**

Por análise dimensional obtemos  $\langle D \rangle = \langle v \rangle \cdot \langle \ell \rangle$ . Assim, uma estimativa é:

$$\langle v \rangle = \frac{\langle D \rangle}{\langle \ell \rangle} = \frac{6,0 \mu\text{m}^2/\text{ms}}{23 \mu\text{m}} = 0,26 \mu\text{m}/\text{ms} = 0,26 \text{ mm}/\text{s}$$





# **Estudantes medalhistas**





## Medalhistas TFM 2023

### 1º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Ouro

Amanda de Lima e Oliveira  
*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Ana Karen Silveira Pereira Caracas  
*Colégio Militar de Fortaleza - Fortaleza - CE*

Ana Letícia Cirilo Almeida  
*Educandário Américo Mesquita - Piancó - PB*

Cecília dos Santos Goes  
*Ari de Sá Cavalcante Sede Aldeota - Fortaleza - CE*

Clara Lopes Mussel  
*Colégio Agostiniano Nossa Senhora de Fátima - Goiânia - GO*

Jamile Rafaela Delmondes Oliveira  
*Colégio CEV Unidade Jockey - Teresina - PI*

Laís Corrêa Carvalho  
*IFSP - Campus Suzano - Suzano - SP*

Luana Valadares Prata de Andrade  
*Colégio Arena - Goiânia - GO*

Mariane Cardoso de Moraes  
*Colégio Objetivo - Teresina - PI*

Raquel Rebelo Brito Aguiar  
*Colégio Santa Maria - Recife - PE*

## Medalhistas TFM 2023

### 1º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Prata

Ana Victória Camelo Duarte

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Beatriz Maia Casselli

*Farias Brito Colégio de Aplicação - Fortaleza - CE*

Camila Dias Teixeira

*Colégio Ângulo de Viçosa - Viçosa - MG*

Carolina Helena de Piza Christofolletti

*Colégio Oficina do Estudante - Campinas - SP*

Eduarda Paoliello Nascimento

*Colégio Magnum Agostiniano Nova*

*Floresta - Belo Horizonte - MG*

Gabriela Navarro de Assunção

*ETEC Rosa Perrone Scavone - Itatiba - SP*

Gabrielle Luiza Aragão Martins

*Farias Brito Colégio de Aplicação - Fortaleza - CE*

Giovanna Lacerda de Oliveira

*Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP*

Isabela Lopes de Azevedo

*Farias Brito Pré-Vestibular*

*Aldeota - Fortaleza - CE*

Isabelly Chen

*Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP*

Júlia Holanda Parente

*Farias Brito Pré-Vestibular*

*Aldeota - Fortaleza - CE*

Karoliny Vitória Martins de Souza

*Farias Brito Pré-Vestibular*

*Aldeota - Fortaleza - CE*

Liana da Costa Souza

*Farias Brito Pré-Vestibular*

*Aldeota - Fortaleza - CE*

Livia Fernandes Tabosa

*Colégio e Curso Evolução - João Pessoa - PB*

Maria Eduarda Balreira Pinto  
*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Raissa Loana Moreira Gomes  
*Farias Brito Pré-Vestibular  
Aldeota - Fortaleza - CE*

Valentina André Fedele  
*Colégio FAAP Ribeirão Preto - Ribeirão Preto - SP*

## Medalhistas TFM 2023

### 1º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Bronze

Alana Gressler da Trindade  
*Escola de Educação Básica Educar-  
se - Santa Cruz do Sul - RS*

Amanda Braga Vieira  
*EEEP Prof. Plácido Ade-  
raldo Castelo - Mombaça - CE*

Ana Beatriz Rodrigues de Souza  
*IFSP - Campus Avançado Tupã - Tupã - SP*

Ana Beatriz de Souza Oliveira  
*IFPE Campus Recife - Recife - PE*

Ana Carolina Albuquerque Nery  
*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Ana Clara de Andrade Monteiro  
*IFPR - Campus Londrina - Londrina - PR*

Bárbara Paludo Zeve

*Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS*

Giovanna Amorim Dos Santos

*E.E. Coronel Carlos Porto - Jacareí - SP*

Giovanna Tanan Hortega

*Colégio Cruzeiro - Centro - Rio de Janeiro - RJ*

Helena Tavares de Albuquerque

*Colégio Cruzeiro - Centro - Rio de Janeiro - RJ*

Heloyza Batista de Sousa Neves

*Colégio de Educação Básica Santa  
Esmeralda - Arapiraca - AL*

Isabela Correia Shimabukuro

*Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP*

Isabelly de Souza Santos

*E.E. Coronel Carlos Porto - Jacareí - SP*

Iully Jardim Pedraza Lino

*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Jéssica Tabosa Barros

*E.E.M.T.I. Menezes Pimentel - Pacoti - CE*

Júlia Beatriz Demenech Mori

*IFPR - Campus Londrina - Londrina - PR*

Júlia Cardoso Abreu

*Colégio da Polícia Militar do Ceará Te-  
nente Mario Lima - Maracanaú - CE*

Júlia Moura Menezes

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Júlia Sirtoli Vieira de Sousa

*Colégio Militar de Fortaleza - Fortaleza - CE*

Letícia Albuquerque Vieira

*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Luíza Schwantes

*Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS*

Maria Cecilia Aragão Fontanari

*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Maria Clara Reis Silva

*IFSP - Campus Avançado Tupã - Tupã - SP*

Marina Rios Rodrigues Caetano

*Farias Brito Colégio Pré-  
Vestibular Central - Fortaleza - CE*

Sara Viana Pinheiro

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Yasmin de Andrade Lima

*Sesi 160 Centro Educacional - Jacareí - SP*

Ágatha Gabriella Souza de Lima

*IFPE - Campus Abreu e Lima - Abreu e Lima - PE*

## Medalhistas TFM 2023

### 2º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Ouro

Ana Carolina de Oliveira Santos

*Ari de Sá Cavalcante Sede Aldeota - Fortaleza - CE*

Antonia Vitória Lorena Araújo Silva

*Colégio 7 de Setembro - EBS - Fortaleza - CE*

Clara Nogueira Rodrigues

*UFMG - Colégio Técnico - Belo Horizonte - MG*

Gisela Ceresér Kassick

*Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS*

Helena Vieira Lima

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Iany Maria Nascimento Linhares

*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Joelle Calado Venâncio  
*Colégio Santa Maria - Recife - PE*

Luiza Lanza Lopes Temponi  
*Colégio Bernoulli - Belo Horizonte - MG*

Natália Sakane Stucki  
*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

## Medalhistas TFM 2023

### 2º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Prata

Alessandra Martins Kattah  
*Colégio Arena - Goiânia - GO*

Ana Clara Borges de Araújo Lima  
*Colégio 7 de Setembro - EBS - Fortaleza - CE*

Ana Luisa Rodrigues Nogueira Lima  
*Farias Brito Colégio Pré-  
Vestibular Central - Fortaleza - CE*

Anne Kaory Koga Tokuy  
*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Camila Souza Nascimento  
*Colégio 7 de Setembro - EBS - Fortaleza - CE*

Cíntia Fernandes Sobral  
*IFCE - Campus Juazeiro do  
Norte - Juazeiro do Norte - CE*

Daniele Matute Almeida  
*Colégio Pitágoras de Juruti - Juruti - PA*

Denyse Pinheiro de Zamenhof  
*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Elisa Pearce Valois  
*Farias Brito Colégio de Aplicação - Fortaleza - CE*

Gabriela Oliveira Marques de Velasco  
*Colégio Elite Mace - Campo Grande - MS*

Isabela Ferreira de Cas-  
tro Seabra Baylão  
*Colégio Arena - Goiânia - GO*

Isabela Xavier de Miranda  
*CPH - Campus Realengo II - Rio de Janeiro - RJ*

Letícia Stofeles da Fraga Jinkings  
*Colégio Militar de Santa Maria - Santa Maria - RS*

Livia Saraiva da Costa  
*Farias Brito Pré-Vestibular  
Aldeota - Fortaleza - CE*

Manuela Furlan Peres  
*Emilio Ribas Colégio de Ensino  
Médio - Pindamonhangaba - SP*

Mariana de Fátima Ferreira Nojoza  
*Colégio 7 de Setembro - EBS - Fortaleza - CE*

Maryanna Lima de Menezes  
*Colégio Cecília Meireles Master - Fortaleza - CE*

Renata Loureiro Comparim  
*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Samara Hermínia Pagan Rodrigues  
*Colégio Villa Lobos - Amparo - SP*

## Medalhistas TFM 2023

### 2º ano do Ensino Médio

#### Medalha de Bronze

Alba Lavinia Marques Ornellas  
*Colégio Tiradentes da PMMG Unidade Nossa  
Senhora das Vitórias - Belo Horizonte - MG*

Aline Luciana Ribeiro  
*Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais - Belo Horizonte - MG*

Allane Masaro de Souza  
*IFSP - Campus Avançado Tupã - Tupã - SP*

Ana Julia da Silva Cruz  
*Colégio Master Sul - Fortaleza - CE*

Ana Jéssica Dantas Uchôa Pereira  
*E.E.M.T.I. Menezes Pimentel - Pacoti - CE*

Ananda Nicole Ferreira de Souza  
*Colégio 3º Milênio - Limoeiro - PE*

Anna Livia Paulino Messias  
*CETI Pedro Coelho de Resende - Boa Hora - PI*

Anny Rafaella Pereira da Silva  
*CETI Pedro Coelho de Resende - Boa Hora - PI*

Beatriz Nunes Fonseca  
*Escola Estadual Senador  
João Bosco - Parintins - AM*

Beatriz Pontes de Moraes  
*IFSP - Campus Avançado Tupã - Tupã - SP*

Bianca Celi Dos Santos  
*Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS*

Catarina Lis Sacramento Pinto  
*Colégio Master Sul - Fortaleza - CE*

Dhenice Vitória Alves Sá  
*CETI Pedro Coelho de Resende - Boa Hora - PI*

Dávila Maria Tavares Saraiva  
*Colégio Paraíso - Juazeiro do Norte - CE*

Emily Horrana Lima  
Rodrigues Armando

*IFSULDEMINAS - Campus Avançado  
Três Corações - Três Corações - MG*

Giovanna Garcia Scarelli

*Objetivo Centro Interescolar Uni-  
dade Paulista - São Paulo - SP*

Iris Lohanny Gomes Saraiva

*CETI Pedro Coelho de Resende - Boa Hora - PI*

Isabelle Marin Della Méa

*Colégio Militar de Santa Maria - Santa Maria - RS*

Isadora Alcântara Lima

*EEEP Gerardo Cristino de Menezes - Coreaú - CE*

Isadora Lopes Vieira Furtado

*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Janice Medeiro Lima

*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Karen Sofia de Vasconcelos Ramos

*Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE*

Letícia Bozelli Vieira

*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Lisandra Menezes Fagundes

*Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS*

Luana de Oliveira Sá Bezerra

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Ludmila de Oliveira Agra

*IFCE - Campus Juazeiro do  
Norte - Juazeiro do Norte - CE*

Luiza Avila de Oliveira

*Colégio Militar de Santa Maria - Santa Maria - RS*

Luiza Rodrigues Rissato

*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Mabel Amaê Barbosa Acácio

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Maria Eduarda Silva Brandão

*Colégio 7 de Setembro - EBS - Fortaleza - CE*

Maria Rita Paulino Resende  
*CETI Pedro Coelho de Resende - Boa Hora - PI*

Maria Vitória Miranda Paim  
*EEEP Pedro de Queiroz Lima - Beberibe - CE*

Mariah Clara Santos de Medeiros Alves  
*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Maysa Grazielle Dos Santos Pessoa  
*IFPA - Campus Altamira - Altamira - PA*

Nicolly Gonçalves de Oliveira  
*ETEC Rosa Perrone Scavone - Itatiba - SP*

Rayssa Cristhiny Santos Baker  
*IFRO - Campus Colorado do  
Oeste - Colorado do Oeste - RO*

Rita de Cássia da Silva  
*IFRN - Campus Apodi - Apodi - RN*

Sarah Tiemi Cava Tokumoto  
*Cooperativa Educacional de Ba-  
riri COEBA - Bariri - SP*

Serena Teodoro Mastroyannis  
*Colégio Classe A - Campo Grande - MS*

Thais de Oliveira Cavalcante  
*Farias Brito Colégio Pré-  
Vestibular Central - Fortaleza - CE*

## Medalhistas TFM 2023

3º e 4º anos do Ensino Médio

### Medalha de Ouro

Luiza Akemi Bidoia de Freitas

*Objetivo Centro Interescolar Uni-  
dade Paz - São Paulo - SP*

Lívia Tiemi Bidoia de Freitas

*Objetivo Centro Interescolar Uni-  
dade Paz - São Paulo - SP*

Mariana Naves Tana

*IFSULDEMINAS - Cam-  
pus Machado - Machado - MG*

Rita de Cássia dos Anjos Pinheiro

*Colégio Master - Fortaleza - CE*

Sara Miyuka Abe

*Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP*

## Medalhistas TFM 2023

### 3º e 4º anos do Ensino Médio

#### Medalha de Prata

Carolina Mallmann  
*Farias Brito Pré-Vestibular*  
*Aldeota - Fortaleza - CE*

Joana Linda dos Santos Cezar  
*Colégio Objetivo - Teresina - PI*

Luiza Moreira  
*Colégio Souza e Almeida - São Paulo - SP*

Lys Larissa Souza Oliveira  
*Centro Educacional Plataforma*  
*- Santo Antônio de Jesus - BA*

Maria Cecília Alves Bezerra  
*EEEP Maria Altair Americo*  
*Saboia - Independência - CE*

Maria Eduarda da Silva Nascimento  
*Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP*

Maria Júlia Akemi Kogure Monfredini Bessa  
*IFSP - Campus Sertãozinho - Sertãozinho - SP*

Marina Araújo Ferraz  
*EEEP Maria Altair Américo  
Sabóia - Independência - CE*

Marina Carvalho Souza  
*Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais - Belo Horizonte - MG*

Victória Ferreira Duarte Marques  
*EEEP Maria Altair Américo  
Sabóia - Independência - CE*

## Medalhistas TFM 2023

3º e 4º anos do Ensino Médio

### Medalha de Bronze

Ana Joyce Araújo Macedo

*EEEP Maria Altair Américo  
Sabóia - Independência - CE*

Ana Luiza Pantoja de Farias

*Colégio Pitágoras de Juruti - Juruti - PA*

Ana Livia Tavares Moscoso

*Escola Estadual Profa Claudizete  
Lima Eleutério - Rio Largo - AL*

Bianca Júlia Castelo Soares Rodrigues

*Colégio Lourenço Filho Central - Fortaleza - CE*

Cecília Ferreira Nunes

*IFB - Campus Riacho Fundo - Brasília - DF*

Gabrianny Lima dos Santos

*Colégio Pitágoras de Juruti - Juruti - PA*

Giovanna Monteiro Santos Ventura  
*Colégio Master Sul - Fortaleza - CE*

Isabela Souza Ferreira  
*EEEP Walter Ramos de Araújo -  
São Gonçalo do Amarante - CE*

Isabelli Ferreira da Silva  
*IFSP - Campus Cubatão - Cubatão - SP*

Kauanny Gabriely Copola da Silva  
*E.E. Prof. Eduardo Soares - Alambari - SP*

Luíza de Jesus Gomes  
*Colégio Interativo Ensino  
Médio - Volta Redonda - RJ*

Maria Alice de Souza Lisboa  
*Colégio Pitágoras de Juruti - Juruti - PA*

Maria Brena Mendes Cristino  
*Colégio Santanense - Santana do Acaraú - CE*

Maria Luiza Bexiga de Oliveira  
*IFSP - Campus Avaré - Avaré - SP*

Mariana Maia de Oliveira

*IFRN - Campus Pau dos Ferros - Pau dos Ferros - RN*

Mariana Pedrosa de Lima

*E.E. Professora Maria Bernadete Amgarten Peres - Indaiatuba - SP*

Nicolly Santana Silva Santos

*Colégio Arena - Goiânia - GO*

Sophia de Oliveira Theodoro

*Colégio Gibran Khalil Gibran - Taboão da Serra - SP*



## **Estatísticas de participantes**



## Estudantes inscritas

Na edição do Torneio de Física para Meninas de 2023 tivemos 1770 meninas inscritas para realizar a prova online da primeira fase. Estudantes de 401 escolas em 226 municípios diferentes no Brasil.

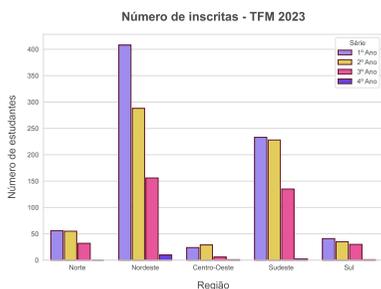


Figura 11: Número de estudantes inscritas no TFM 2023 por série em cada região do país.

Do total de inscritas, os estados do Nordeste destacam-se com um número maior quando comparado com as demais regiões do país, principalmente entre estudantes de 1º ano do ensino médio.

Analisando a representação entre escolas públicas e privadas, exceto na região centro-oeste, o TFM teve mais estudantes inscritas de escolas públicas.

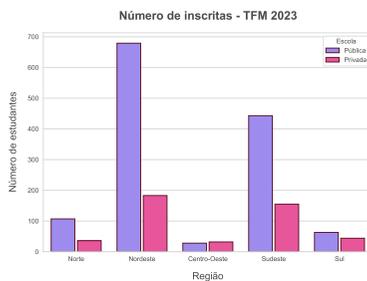


Figura 12: Número de estudantes inscritas no TFM 2023 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.

O TFM tem como objetivo alcançar o maior número de meninas e a garantia da participação gratuita é essencial para obter êxito.

Dentre os estados participantes, o destaque é o estado do Ceará com um número de inscritas que representa 1/3 do total de meninas.

Destaque também para participação de quase todos os estados do Brasil, apenas no Acre não houve estudantes inscritas na edição de 2023.

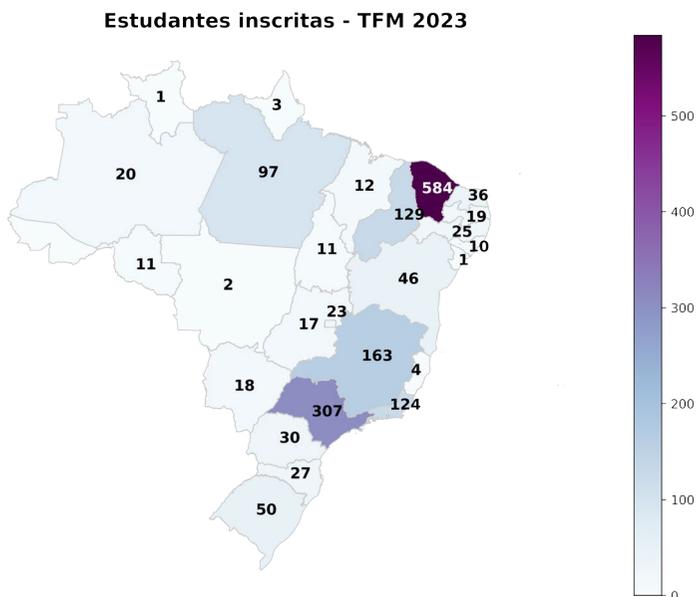
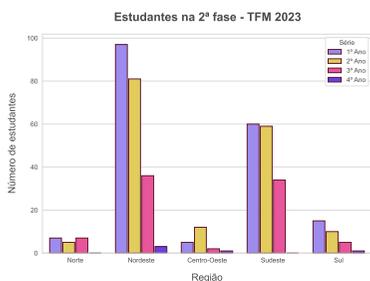


Figura 13: Número de estudantes inscritas no TFM 2023 em cada estado brasileiro.

## Participantes da 2ª fase

Nesta edição, 439 estudantes foram selecionadas para fazer a 2ª fase. As provas foram realizadas presencialmente e, em sua maioria, na escola das próprias estudantes.

A aplicação das provas dessa forma tem o objetivo de minimizar as ausências nas provas garantindo uma alta porcentagem de participação.



Passaram para segunda fase estudantes de todas as 5 regiões do Brasil. Destaque novamente para a região Nordeste com o maior número de participantes da segunda fase.

Figura 14: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2023 por série em cada região do país.

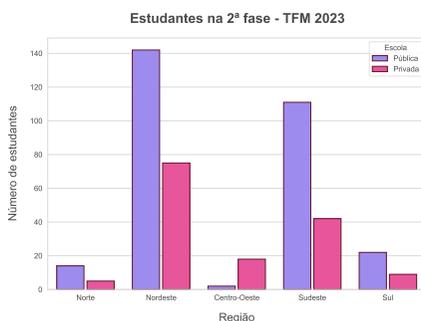


Figura 15: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2023 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.

Na 2ª fase, ainda são maioria as estudantes de escolas públicas, exceto na região centro-oeste.

Com relação à distribuição por estado, na segunda fase houve representação em 19 estados, com estudantes de 108 municípios e 161 escolas.

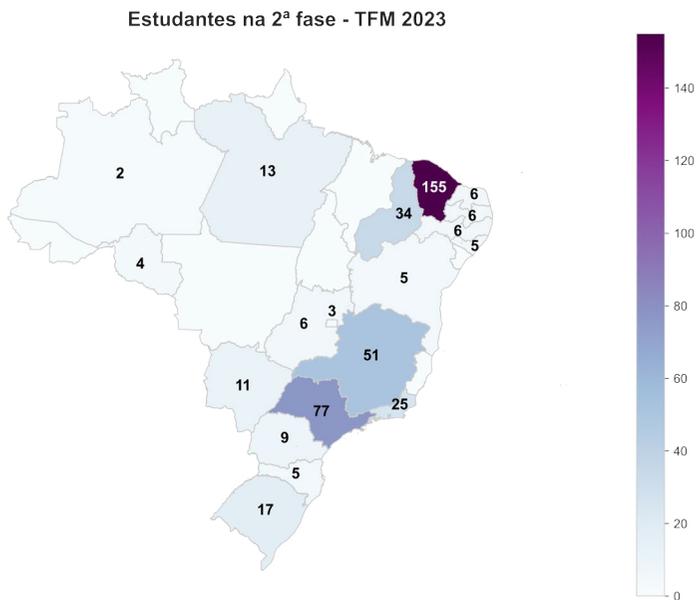
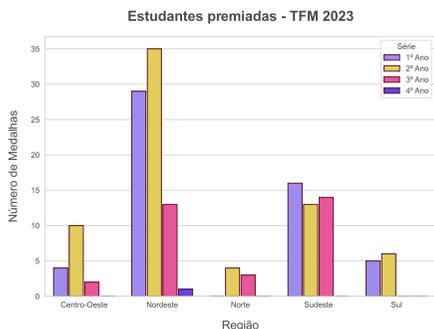


Figura 16: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2023 em cada estado brasileiro.

## Estudantes medalhistas

Ao final desta edição do TFM foram premiadas 155 estudantes com medalhas de ouro, prata e bronze. Essas estudantes estão distribuídas em 56 municípios diferentes e 79 escolas.



Destaque para a região Nordeste com mais que o dobro de premiadas que as demais regiões do Brasil.

Figura 17: Número de estudantes premiadas no TFM 2023 por série em cada região do país.

Entre estudantes de escolas públicas e privadas a distribuição percentual de medalhas foi de 39% e 61%, respectivamente.



Figura 18: Número de estudantes premiadas no TFM 2023 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.



Figura 19: Número de estudantes premiadas no TFM 2023 por tipo de escola (pública ou privada) para cada tipo de medalha (ouro, prata e bronze).

Com relação à distribuição de medalhas de ouro, prata e bronze, a região Nordeste teve o melhor desempenho nas três categorias. Apenas a região Norte não teve estudantes com medalhas de ouro.

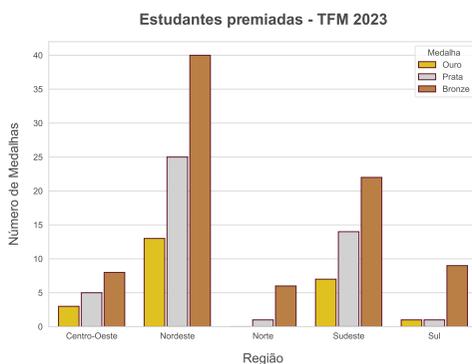


Figura 20: Número de medalhistas do TFM 2023 por tipo de medalha (ouro, prata e bronze) em cada região do país.

Na distribuição de medalhistas por estado, o Ceará é o estado com maior número de meninas premiadas, seguido pelo estado de São Paulo.



Figura 21: Número de estudantes medalhistas no TFM 2023 em cada estado brasileiro.





## **Comissão organizadora**





## Comissão Organizadora

Maria Luiza Miguez (IFPA & IFNMG)

*Coordenadora Geral*

Nara Martini Bigolin (UFSM)

*Coordenadora do Movimento Meninas Olímpicas*

Maria Eduarda Gonçalves Freitas (Dartmouth College)

Yara Hellen Firmo Gomes (IFSC-USP)

Fernando Wellysson de Alencar Sobreira (IFCE & IIF-UFRN)

Klaus Werner Capelle (UFABC & IIF-UFRN)

## Instituições apoiadoras



## Instituições promotoras



## Instituição realizadora







# EDIÇÕES INESP

**João Milton Cunha de Miranda**  
Diretor Executivo

## EDIÇÕES INESP

**Ernandes do Carmo**  
Orientador da Célular de Edição e Produção Gráfica

**Cleomárcio Alves (Márcio), Francisco de Moura,  
Hadson França e João Alfredo**  
Equipe de Acabamento e Montagem

**Aurenir Lopes e Tiago Casal**  
Equipe de Produção em Braille

**João Victor Sampaio, Mário Giffoni e Rical Gomes de Oliveira**  
Diagramação

**José Gotardo Filho, Saulo Macedo e Valdemice Costa (Valdo)**  
Equipe de Design Gráfico

**Jerdeth Almeida e Leticia Albuquerque**  
Estagiários

**Rachel Garcia Bastos de Araújo**  
Redação

**Valquiria Moreira**  
Secretaria Executiva / Assistente Editorial

**Manuela Cavalcante**  
Secretaria Executiva

**Luzia Léda Batista Rolim**  
Assessoria de Imprensa

**Gustavo Rodrigues de Vasconcelos, Lúcia Maria Jacó Rocha  
e Sandra Bastos Mesquita**  
Equipe de Revisão

**Marta Léda Miranda Bezerra e Maria Marluce Studert Vieira**  
Equipe Auxiliar de Revisão

**Site:**

**E-mail:** [presidenciainesp@al.ce.gov.br](mailto:presidenciainesp@al.ce.gov.br)

**Fone:** (85) 3277-3702



## ALECE

Av. Desembargador Moreira, 2807,  
Dionísio Torres, Fortaleza, Ceará, CEP: 60.170-900  
Site: <https://www.al.ce.gov.br/>  
Fone: (85) 3277.2500





# ALECE

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA  
DO ESTADO DO CEARÁ

## Mesa Diretora 2023-2024

**Deputado Evandro Leitão**  
Presidente

**Deputado Fernando Santana**  
1º Vice-Presidente

**Deputado Osmar Baquit**  
2º Vice-Presidente

**Deputado Dannel Oliveira**  
1º Secretário

**Deputada Juliana Lucena**  
2ª Secretária

**Deputado João Jaime**  
3º Secretário

**Deputado Dr. Oscar Rodrigues**  
4º Secretário



Escaneie o QR CODE  
e acesse nossas  
publicações