



Luciana Vital Dantas Sousa  
Frederico Ayres de Oliveira Neto

# PELOS CAMINHOS DA MECÂNICA RELACIONAL:

ATIVIDADES PARA SALA DE AULA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

# PELOS CAMINHOS DA MECÂNICA RELACIONAL:

ATIVIDADES PARA SALA DE AULA

LUCIANA VITAL DANTAS SOUSA  
FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO

CUIABÁ - 2021

# SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| Introdução .....  | 5  |
| Já ouviu falar do experimento do Balde de Newton? .....   | 6  |
| Quem foi Isaac Newton? .....  | 7  |
| Mecânica Newtoniana .....   | 10 |
| Vale ou não vale? .....   | 12 |
| O experimento do balde de Newton .....  | 14 |
| Newton e as Leis do Movimento .....   | 18 |
| Espaço Absoluto ou Referencial Inercial? .....  | 20 |
| Afinal, por que essa experiência é tão importante? .....  | 22 |
| Considerações Gerais .....  | 25 |
| Leibniz e o Movimento Relativo .....  | 27 |
| Berkeley e o Movimento Relativo .....   | 28 |
| Ernst Mach .....  | 30 |
| Mecânica Relacional .....   | 31 |
| Curiosidade com DICA! .....   | 31 |
| André Koch Torres de Assis .....  | 33 |
| Aprofundando.....   | 35 |
| Ainda sobre os Postulados.....  | 35 |
| E se fosse trabalhado com energia ao invés de forças, o que ocorreria com estes postulados? ..... | 37 |
| Aplicações da Mecânica Relacional com o balde de Newton .....                                     | 38 |
| Que tal fazermos uma experiência do pensamento? .....   | 39 |
| E quais são os resultados obtidos com a Mecânica Relacional? .....                                | 40 |
| Para finalizar.....   | 41 |
| Referências .....   | 42 |
| Respostas .....   | 43 |

# FICHA TÉCNICA

KARIN ELIZABETH REES DE AZEVEDO

Revisão

FIAMA BAMBERG

Projeto gráfico e diagramação

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

INSTITUTO DE FÍSICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Sousa, Luciana Vital Dantas  
Pelos caminhos da mecânica relacional  
[livro eletrônico] : atividades para sala de  
aula / Luciana Vital Dantas Sousa, Frederico  
Ayres de Oliveira Neto. -- 1. ed. -- Cuiabá, MT :  
Fundação Unilselva, 2021.  
PDF.

Bibliografia.  
ISBN 978-65-86743-49-4

1. Física - Estudo e ensino 2. Mecânica  
3. Mecânica relacional I. Neto, Frederico Ayres  
de Oliveira. II. Título.

22-102124

CDD-530.7

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Física : Estudo e ensino 530.7

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



# INTRODUÇÃO

Este material com tema em física, denominado **“PELOS CAMINHOS DA MECÂNICA RELACIONAL: ATIVIDADES PARA SALA DE AULA”**, é fruto de pesquisa de mestrado e busca servir como suporte para o trabalho do professor com os estudantes, no contexto de sala de aula e, também, para quem se interessar pelo assunto.

A física é a ciência que estuda a Natureza, sendo assim responsável por estudos que envolvem os fenômenos naturais de forma que permite entender mais sobre a relação com o Mundo e o Universo, propiciando compreender que não existem teorias, postulados, paradigmas e modelos absolutos sobre essa relação, sendo todos relativos e suscetíveis de novas descobertas e entendimentos.

Assim, as atividades propostas visam dar um enfoque de ludicidade para a aprendizagem de aspectos da física de maneira a promover a integração entre teoria e prática. Como forma de auxiliar o ensino, ao final do material são expostas as respostas para as atividades propostas.

Espera-se que este material permita facilitar e contextualizar o ensino da física, sendo útil para a prática pedagógica.



# PELOS CAMINHOS DA MECÂNICA RELACIONAL

Observe com atenção o CÓDIGO a seguir para resolver alguns enigmas e atividades ao longo da leitura desta revista.

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b> | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>H</b> | <b>I</b> | <b>J</b> | <b>K</b> | <b>L</b> | <b>M</b> |
| 13       | 11       | 3        | 1        | 8        | 6        | 5        | 15       | 24       | 18       | 26       | 23       | 25       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>N</b> | <b>O</b> | <b>P</b> | <b>Q</b> | <b>R</b> | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>U</b> | <b>V</b> | <b>W</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Z</b> |
| 9        | 4        | 12       | 14       | 16       | 22       | 20       | 21       | 7        | 17       | 19       | 2        | 10       |

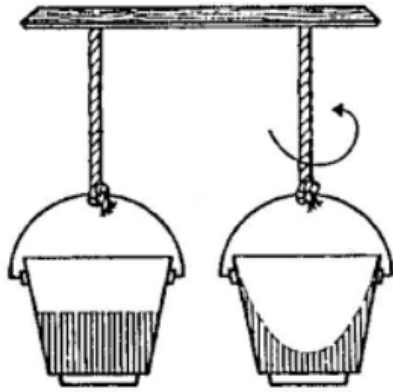
Observação: o CÓDIGO se aplica tanto para uso de letras maiúsculas como para as minúsculas.

## Já ouviu falar do experimento do balde de Newton?

Pode ser que VOCÊ nunca tenha ouvido falar, mas saiba que este é um dos experimentos mais importantes para a física?

Este experimento é tão importante que Newton, quando foi escrever sua principal obra, o Principia, introduziu o experimento do balde, antes dos seus três axiomas, que hoje são conhecidos por Leis de Newton.

**POR QUE SERÁ QUE ESTE EXPERIMENTO É TÃO IMPORTANTE?  
O QUE HÁ POR TRÁS DESTES MISTERIOSO E DESCONHECIDO  
EXPERIMENTO?**



Antes de se chegar, especificamente, no experimento do balde de Newton, se irá transitar um pouco pela história de Isaac Newton com a Mecânica Newtoniana.



## Quem foi Isaac Newton?

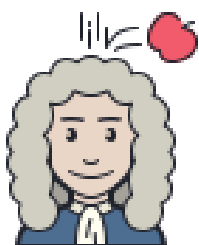
Isaac Newton foi físico, matemático, astrônomo, alquimista, filósofo e teólogo, um verdadeiro gênio. Seus trabalhos sobre a formulação das três Leis do Movimento levaram à Lei da Gravitação Universal, a composição da luz branca conduziu à moderna física óptica, na matemática, Newton lançou os fundamentos do cálculo infinitesimal.

### ISAAC NEWTON FOI QUEM ESTUDOU...

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | A | G | I | A | M | Q | W | E | T | R |
| D | S | Q | T | S | M | N | Z | X | K | A |
| C | T | N | M | Z | Z | P | Q | V | H | C |
| Z | R | Y | A | Q | X | L | W | B | U | I |
| R | O | K | R | T | C | K | E | N | M | O |
| P | S | L | T | D | U | N | R | T | A | C |
| B | F | X | E | F | V | R | D | Y | N | I |
| S | D | C | V | T | B | W | E | U | I | N |
| K | X | V | S | G | N | S | U | Z | D | I |
| E | S | B | Q | U | M | X | S | I | A | O |
| L | C | Q | T | B | Q | A | F | O | D | L |
| P | A | A | R | Z | W | T | G | A | E | O |
| S | L | Z | M | A | D | F | A | S | K | G |
| T | C | K | V | K | R | R | N | D | J | I |
| Q | U | R | B | L | T | S | A | F | L | C |
| S | L | T | M | R | Y | O | T | G | K | O |
| x | O | U | A | Y | U | I | U | H | J | W |
| Q | S | I | G | C | I | E | N | C | I | A |

Respostas na página 43.

# Você sabia que Newton tem duas datas de nascimento?



Isaac Newton nasceu no povoado de Woolsthorpe, uma pequena aldeia da Inglaterra e por incrível que pareça ele tem duas datas de nascimento.

Quando Newton nasceu, a Inglaterra utilizava o calendário juliano e, segundo este calendário, Newton nasceu em 25/12/1642, ou seja, no Natal.

Porém, neste mesmo período, Portugal e suas colônias, como é o caso do Brasil, já adotavam o calendário gregoriano. E segundo o calendário Gregoriano, Newton nasceu em 04/01/1643 e, por este motivo, ele tem duas datas de nascimento.

## CURIOSIDADE!!!



Isaac Newton nasceu prematuro e não chegou a conhecer seu pai, que morreu três meses antes do seu nascimento e, por isso, ele foi batizado com o nome do pai.

## VOCÊ SABIA?



Com a morte de seu pai, a sua mãe, Hannah Ayscough Newton, se casou novamente com um Pastor chamado Barnabas Smith e Isaac Newton foi morar com sua avô materna Margery Ayscough. Depois de alguns anos, Hannah ficou viúva novamente e Newton voltou a morar com sua mãe e seus meio irmãos na fazenda. Foi nesta época que Newton e seus irmãos foram estudar na Escola The Kings School, inclusive, esta escola tem registrada a assinatura de Newton no parapeito da janela da biblioteca.



## FATO CURIOSO



Você sabia que Newton carregava uma lista com os 48 pecados cometidos até os seus 19 anos?

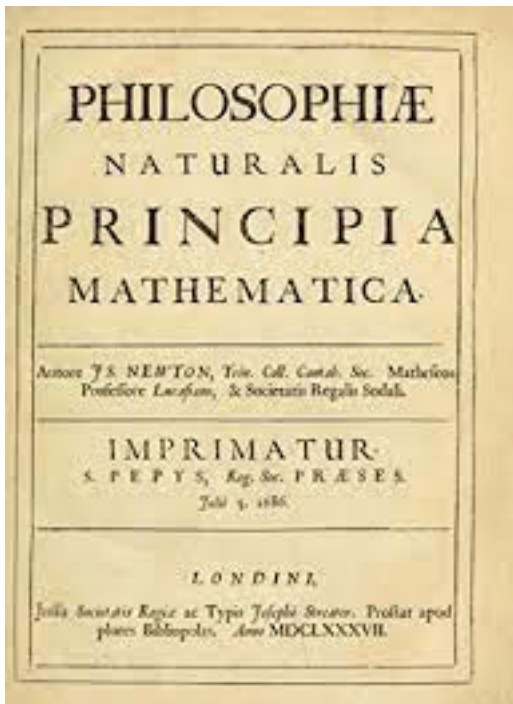
*Usando cada letra da palavra “Pecados”, qual será a frase correta para alguns dos pecados que Newton listou aos 19 anos? Lembre-se de que as frases estão embaralhadas.*

P \_\_\_\_\_  
E \_\_\_\_\_  
C \_\_\_\_\_  
A \_\_\_\_\_  
D \_\_\_\_\_  
O \_\_\_\_\_  
S \_\_\_\_\_

- 1. impuros Pensamentos.*
- 2. domingo para Escolher bolo fazer noite a.*
- 3. fogo padrasto dentro e mãe Colocar na sua com casa.*
- 4. ratoeira dia Armar do senhor no uma.*
- 5. mãe meio Desobedecer sua irmã em batendo a.*
- 6. igreja uma comer Ousar na maçã.*
- 7. vizinho do roubar cereja Subir para muro o.*

Respostas na página 43.

# Mecânica Newtoniana



Isaac Newton estreia a Ciência Moderna com a publicação da obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, em 1687, a qual foi chamada por *Principia*. Nesta obra, Isaac Newton introduz uma série de conceitos científicos que se tornariam fundamentais para a compreensão dos fenômenos em vários campos da física.

COMO DIZIA ALBERT EINSTEIN...



“Newton, o primeiro inventor de um sistema de física teórica, imenso e dinâmico, não hesita em acreditar que conceitos fundamentais e leis fundamentais de seu sistema saíram diretamente da experiência. Creio que se deve interpretar neste sentido sua declaração de princípio *“hypotheses non fingo.”* (EINSTEIN, 1981, p.149).

MAS NEWTON DIZIA...

“

”

|        |                 |                      |
|--------|-----------------|----------------------|
| 9 12 4 | 24 9 7 8 9 20 4 | 15 24 12 4 20 8 22 8 |
| _____  | _____           | _____                |

Observe os símbolos acima e decifre a fala de Newton, usando o CÓDIGO exposto na página inicial. Respostas na página 43.

Isaac Newton divulgou esta frase no “Escólio Geral” da segunda edição dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Muitos leitores desta obra acreditavam que Newton, por intermédio desta afirmação polêmica, estava dizendo aos seus leitores que ele não

seguia o modo de pensar de Descartes, principalmente, por conta de afirmar a existência de um vórtex – um meio sutil para explicar o movimento planetário, baseado em suposições que não feririam a sua Filosofia. Uma das principais características de Newton seria a matemática e, depois, os experimentos. Acredita-se que foi a dedicação deste método que levou Newton a esse conhecimento profundo sobre o Universo, mas isso não significa que ele não deu importância para a utilização dos dados provenientes das experiências para elaboração da sua física. Sendo assim, esse novo método seria, predominantemente, experimental baseado na indução, como quantitativo e não somente observacional, que o levaria às leis e aos princípios matemáticos.

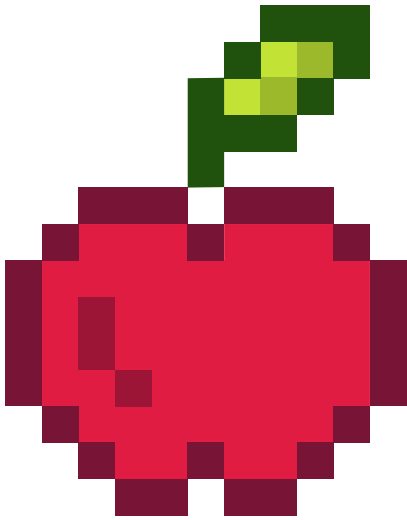
## PINTE OS QUADRADINHOS

Agora você irá descobrir qual figura aparecerá ao pintar os quadrinhos, posteriormente vamos dialogar sobre o surgimento da sua relação com a história contada por Isaac Newton, #partiudescoberta.

|    | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**G:** 12, 13, 14, 15 / **H:** 11, 16 / **I:** 10, 14, 15, 17 / **J:** 10, 16, 18 / **K:** 10, 18 / **L:** 6, 7, 8, 9, 11, 17 / **M:** 5, 6, 7, 8, 10, 18 / **N:** 4, 5, 6, 7, 10, 18 / **O:** 4, 5, 6, 10, 17 / **P:** 4, 5, 11, 16 / **Q:** 12, 13, 14, 15





## Vale ou não Vale?

Após ganhar uma bolsa para sua pós-graduação, Newton teve que voltar para fazenda por conta da peste bubônica, com a Universidade fechada por conta da peste, ele ficou quase dois anos por lá.

Foi justamente nessa época que Newton se dedicou aos estudos sobre matemática, ótica e a Lei da Gravidade, chegando a famosa história de Newton com a maçã.

Contam que ele estava debaixo de uma árvore e que a maçã caiu em sua cabeça, e ali surgiu a ideia sobre a Lei da Gravidade, e foi ali que ele pensou que existia uma semelhança da queda da maçã e o movimento da Lua em torno da Terra.

Enfim, na verdade, essa história de Newton com a maçã caindo em sua cabeça é lenda, isso não aconteceu, inclusive, existem alguns relatos de seus familiares que, na verdade, ele observou a queda da maçã da janela de seu quarto, ou seja, um mito. No entanto, se sabe que na história da ciência existem alguns mitos que são supernaturais.

Enfim, a maçã que caiu na cabeça de Newton é um exemplo ilustrativo do resultado de muito estudo sobre o peso. Com todas essas pesquisas em mente e anos a fio de estudo e concentração, Newton pode formalizar a Teoria da Gravitação Universal.



## DESAFIO

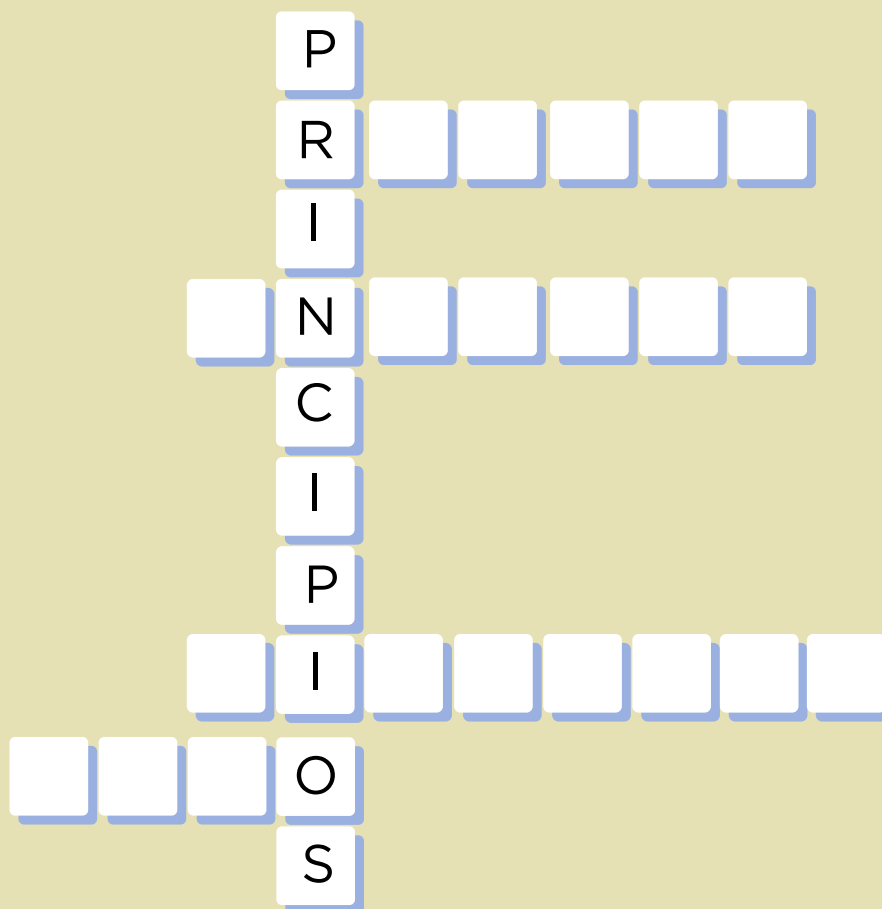
Quais são as leis que possibilitam e constituem a base primária para a compreensão dos comportamentos estáticos e dinâmicos dos corpos materiais?

Veja a seguir...

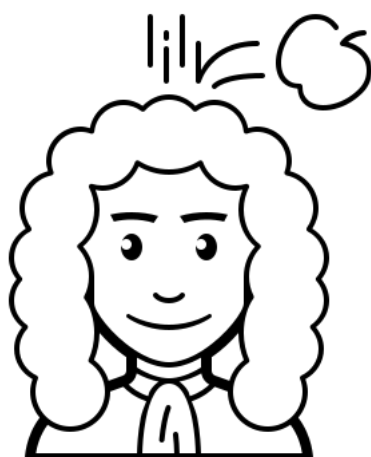


As três Leis de Newton foram publicadas pela primeira vez em 1687, por Isaac Newton (1643-1727), na obra de três volumes intitulada *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*).

**Utilize a seguinte cruzadinha para registrar quais são os princípios que representam cada lei de Newton.**



Respostas na página 44.

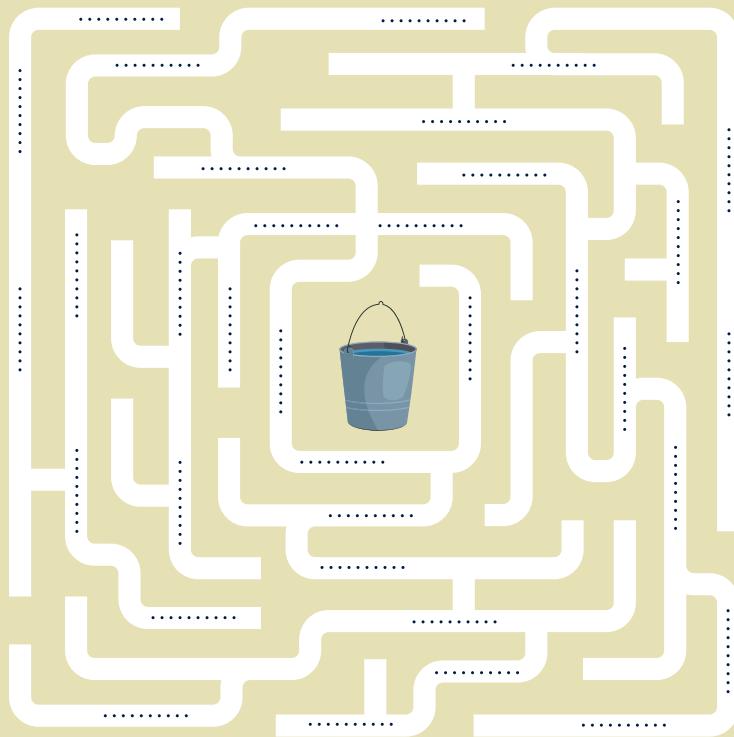


**PARA VOCÊ  
PINTAR**

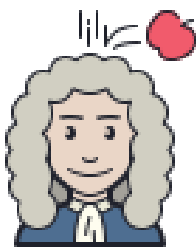
# O experimento do balde de Newton

Vamos desvendar os mistérios para chegarmos até o experimento do balde de Newton?

Qual será o melhor  
caminho?



Respostas na página 45.



Para que possamos desvendar os mistérios deste importantíssimo experimento vamos transitar por um resumo da obra mais importante da Mecânica Newtoniana.

ENTÃO VAMOS LÁ!

A produção do tratado foi um divisor de águas na história da ciência, sendo considerada por muitos a obra científica mais importante já publicada. Quando produziu a obra, Newton (1642-1727) era professor de matemática no Trinity College, em Cambridge. Essa obra apresenta as bases da física e da astronomia, formuladas na linguagem de geometria pura.

É uma obra dedutiva, em que a partir de muitas proposições gerais, as propriedades da Mecânica são demonstradas por intermédio de teoremas. Seu conteúdo estabelece os fundamentos da hidrostática, hidrodinâmica e acústica, que sistematiza um método para o estudo da natureza por meios matemáticos.

Essa obra foi escrita em Latim, indicando seu público-alvo: especialistas em **Matemática e Mecânica, Astrônomos, Filósofos e Graduandos Universitários**.

Os Principia, como é conhecida a obra, consiste em três livros, precedidos por um capítulo preliminar de definições e outro que traz os axiomas que são conhecidos como as Leis do Movimento. São oito definições no total, que explicitam o vocabulário usado ao longo de todo o texto, e introduzem o conceito de espaço e tempo absoluto.

## ATENÇÃO

**O Livro Um:** “ Axiomas e as Leis do Movimento” é, sem dúvida, a parte mais conhecida da obra.

A primeira lei de Newton estabelece que cada objeto persevera em seu estado de repouso ou de movimento uniforme, a menos que haja uma ação sobre ele. Tal é a primeira lei ou axioma de Newton.



Ilustração: Reginaldo Pinto da Silva



Na segunda lei, Newton estabelece que a força resultante sobre um objeto é igual à taxa de variação de seu momento linear em um referencial inercial, sendo momento linear definido como a massa do objeto multiplicada pela sua velocidade.



Ilustração: Reginaldo Pinto da Silva

A terceira lei estabelece que todas as forças entre dois objetos existem em magnitude igual e em direção oposta. A dinâmica gravitacional, como um sistema de atração recíproca, se baseia nesta terceira lei.



Ilustração: Reginaldo Pinto da Silva

**O livro dois** trata do movimento dos corpos em relação à resistência e à velocidade. Nesta parte central da obra, o primeiro capítulo trata do movimento de objetos em um vácuo, ou seja, o movimento dos objetos que não encontram resistência.

**O livro três** aborda “O sistema do Mundo”, em que são aplicados os princípios da astronomia elaborados anteriormente. Newton explora a derivação das leis da gravidade, as implicações para órbitas planetárias, a Lua e os equinócios, em sua relação com a teoria da gravitação, e o estudo dos cometas. Newton encerra o tratado com o texto do “Escólio Geral”.



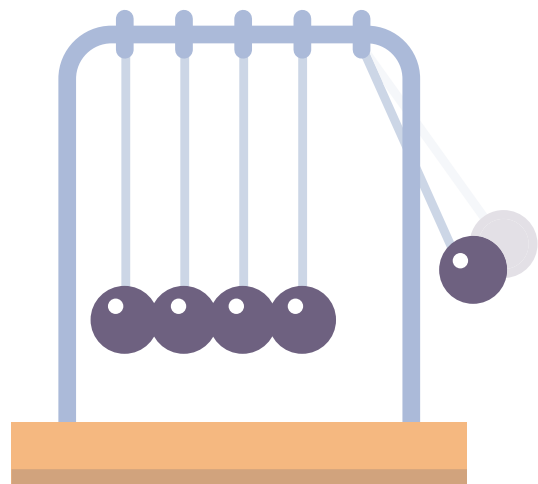
## E a Mecânica Newtoniana?

A Mecânica Newtoniana foi o primeiro sistema de conhecimento a alcançar o status de ciência teórica e empírica no sentido moderno. Por outro lado, essa mecânica apresenta alguns problemas conceituais que são interessantes de serem estudados no domínio da lógica e da Filosofia da Ciência. Todos os problemas sobre o status de uma lei ou teoria física, a relação entre conceitos teóricos e empíricos e, assim por diante, aparecem de uma forma particularmente clara na Mecânica Newtoniana, pois não se necessita de um conhecimento científico aprofundado para apreciá-la.

No Universo Newtoniano, pela primeira vez, a Física terrestre e a física celeste são identificadas e unificadas, tornando-as interdependentes. Newton foi o primeiro a dar uma formulação completa das Leis da Mecânica e a introduzir leis Universais, que podem ser expressas através de fórmulas matemáticas, as quais se harmonizam com a natureza e das quais regras empíricas anteriores são consequências lógicas.

No entanto, Newton não tinha certeza (como Kepler, Galileu e Descartes haviam tido) de que o Mundo era matemático. Se as Leis Matemáticas exatas pudessem ser descobertas tudo bem. Caso contrário, deveria procurar outros métodos. Quando ele obtinha resultados a partir de cálculos abstratos, insistia que esses deveriam ser verificados experimentalmente.

Acreditava que o objetivo da ciência era entender como a natureza funciona e não como essa é. Foi o responsável pela maior revolução científica, de impacto não só teórico, mas também prático. Unificou o método empírico introduzido por Bacon, com o método racional proposto por Descartes e, em assim o fazendo, desenvolveu a metodologia pela qual a ciência passou a se fundamentar desde então.



### REFERÊNCIA:

PIRES, A.S.T. Mecânica Newtoniana. Evolução das ideias da física em História da ciência. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008. p. 179-180.

# Newton e as Leis do Movimento

Como já mencionamos anteriormente, Newton apresentou as Leis do Movimento por meio do registro destas em um livro chamado de **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, também conhecido por PRINCIPIA. Este livro foi publicado em 1687, portanto há mais de 300 anos e a sociedade ainda segue as ideias de Newton.

Newton começou seu livro com oito definições e, depois, apresentou as Leis do Movimento e segue expondo consequências a partir de suas leis.

É a medida da mesma obtida conjuntamente a partir da sua densidade e volume, ou pela fórmula:

$$m = \rho \cdot v$$



**A primeira definição que apresenta é da Quantidade de matéria. Você sabia que essa quantidade de matéria é o que se chama de massa inercial?**

Aquela massa que aparece na

$$F = m \cdot a \quad \text{e} \quad E_c = m \cdot v^2/2$$

Lembra?

Assim, Newton associa a quantidade de matéria de um corpo a uma grandeza física denominada massa.

É a medida do mesmo obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria, ou pela fórmula:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$



**Já a segunda definição é da Quantidade de movimento.**

Então, essas são as primeiras e mais importantes definições. Newton traz, em sua obra, oito definições e, depois, ele segue apresentando as famosas três Leis do Movimento, que Newton chamava de axiomas.

# E qual o significado de axioma para Newton?

Quando Newton fala em axiomas, ele está seguindo a tradição da Geometria Grega, como, por exemplo, os cinco axiomas de Euclides, que são coisas que você assume como verdade sem provar. Então, ele não prova essas leis, ele as postula e a partir dessas ele vai derivando vários resultados.

Em Ciência, os axiomas são proposições que não podem ser deduzidas de outras proposições contidas no sistema ou teoria, e os teoremas são consequências dedutivas desses axiomas. Assim, as três Leis do Movimento de Newton são os axiomas da teoria da Mecânica de Newton.

## VOCE SABIA?



Que a primeira e a segunda lei de Newton viriam, em parte, de Descartes e de Galileu, enquanto a terceira lei é uma construção mais autêntica de Isaac Newton. Em suas palavras Newton explicava as Leis do Movimento da seguinte forma:

1ª LEI

Todo corpo persevera em seu estado de repouso/movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar esse estado por forças impressas sobre ele. (Isaac Newton)

3ª LEI

Toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas. (Isaac Newton)

2ª LEI

A mudança de movimento é proporcional a força motora impressa e é produzida na direção da linha reta na qual essa força é impressa. (Isaac Newton)



# Espaço Absoluto ou Referencial Inercial?

Newton falava que o espaço absoluto estava imóvel, sem relação com qualquer coisa externa. No entanto, imóvel em relação a quê? Ele dizia que o espaço absoluto era um ente puramente abstrato e matemático, ou seja, ao mesmo tempo real, considerando-o como os “sensores de Deus”.

## E o tempo?

Para saber o que Newton falava desse espaço e tempo absolutos é preciso de sua ajuda. Que tal descobrir por meio do seguinte enigma? Verifique a resposta correta na página 45.

| A  | B  | C | D | E | F | G | H  | I  | J  | K  | L  | M  |
|----|----|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 13 | 11 | 3 | 1 | 8 | 6 | 5 | 15 | 24 | 18 | 26 | 23 | 25 |

| N | O | P  | Q  | R  | S  | T  | U  | V | W  | X  | Y | Z  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|---|----|----|---|----|
| 9 | 4 | 12 | 14 | 16 | 22 | 20 | 21 | 7 | 17 | 19 | 2 | 10 |

Para o tempo:

“4 20 8 25 12 4 8’ 13 11 22 4 23 21 20 4, 7 8 16 1 13 1 8 16 4 8  
25 13 20 8 25 13’ 20 24 3 4, 12 4 16 22 24 25 8 25 4 8 1 13  
22 21 13 12 16 4’ 12 16 24 13 9 13 20 21 16 8 10 13, 6 23 21 24 21  
9 24 6 4 16 25 8 9 20 8 22 8 25 16 8 23 13 3 13 4 3 4 25 14 21  
13 23 14 21 8 16 3 4 24 22 13 8 19 20 8 16 9 13, 3 15 13 25 13 1 4  
1 8 1 21 16 13 3 13 4”. 24 22 13 13 3 9 8 17 20 4 9

R: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Para o espaço:

"4 8 22 12 13 3 4 8' 13 11 22 4 25 21 20 4 14 21 8 8 25 22  
21 13 12 16 4' 12 16 24 13 9 13 20 21 16 8 10 13, 22 8 25 16 8 23  
13 3 13 4 3 4 25 13 9 8 3 8 22 8 25 12 16 8 22 24 25 24 23 13 16  
8 24 25 4' 7 8 23". 24 22 13 13 3 9 8 17 20 4 9

R: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Como Newton sabia que o tempo flui uniformemente? Será que o tempo não está acelerando ou indo mais devagar, como ele sabia?**

Dessa forma, Newton deveria estar comparando com alguma coisa, tipo em relação ao Sol ou em relação à Terra.

No entanto, Newton não fala, e o mais importante é que não tem relação com nada externo, nem com o relógio mecânico, com o pêndulo, com a rotação da Terra no próprio eixo do Sol, com nada!

Newton sabia que esses conceitos eram problemáticos, ou seja, abstratos, uma vez que não se vê o espaço e tempo absolutos fluindo uniformemente. São entes abstratos e não têm relação com nada material.

## O que fazer?

Foi aí que ele apresentou a experiência mais importante de toda a Mecânica para justificar os seus conceitos de espaço e tempo absolutos.

## Afinal, por que esta experiência é tão importante?

A experiência do balde é muito simples, o que está por trás é a interpretação.



Fonte da imagem: [https://www.if.ufrgs.br/novocref/wp-content/uploads/2020/05/fig1\\_exp\\_balde\\_newton.png](https://www.if.ufrgs.br/novocref/wp-content/uploads/2020/05/fig1_exp_balde_newton.png)

Analisa-se agora a experiência do balde de Newton. Infelizmente, poucos livros didáticos tratam deste assunto, então, essa é uma oportunidade de conhecê-la. Esta é uma das experiências mais simples e mais importantes entre todas aquelas realizadas por Newton. Esta está exposta logo antes da experiência dos dois globos descrita na Obra de Isaac Newton, no escólio após as oito definições no início do Livro I do Principia, antes dos axiomas ou Leis do Movimento.

## Como é a dinâmica desse experimento? Acompanhem...



Fonte da imagem: [https://www.google.com/search?q=experiencia+do+balde+de+newton&rlz=1C1GCEU\\_pt-BRBR938BR938&hl=pt-BR&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiGzuvTiYfwAhUXrpUCHXQPbHQQ\\_AUoAnoECAEQBA&biw=1366&bih=657#imgrc=x2ZH0tuyY-k57M](https://www.google.com/search?q=experiencia+do+balde+de+newton&rlz=1C1GCEU_pt-BRBR938BR938&hl=pt-BR&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiGzuvTiYfwAhUXrpUCHXQPbHQQ_AUoAnoECAEQBA&biw=1366&bih=657#imgrc=x2ZH0tuyY-k57M)

Newton utilizou um balde suspenso por uma corda, e esse tantas vezes girando, a ponto de a corda ficar fortemente torcida e, então, sendo enchido com água e suspenso em repouso junto com a água.

A seguir, pela ação repentina de outra força, o balde é girado para o lado contrário e, enquanto a corda se desenrola, o balde continua em movimento por algum tempo. A superfície da água de início será plana como antes de o recipiente começar a se mover, mas depois disso, o recipiente, por comunicar, gradualmente, o seu movimento com a água, fará com que essa comece, nitidamente, a girar e a se afastar, pouco a pouco, do meio e a subir pelos lados do balde, transformando-se em uma figura côncava.

Quanto mais rápido se torna o movimento, mais a água vai subir, até que, finalmente, realizando suas rotações nos mesmos tempos que o balde, a água fica em repouso relativo nesse.

REFERÊNCIA:

A. K. T. Assis. Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a Força de Weber Gravitacional. Apeiron - Montreal, 2013. ISBN: 978-0986492693. Disponível em: <<https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Mecanica-Relacional-Mach-Weber.pdf>>.

## **E aí vem a pergunta básica de Newton**

- Em que situação a água está plana e côncava? Mas é óbvio!

**Em uma está parada e na outra está girando! É com a rotação da água que ela fica côncava.**

## **No entanto, vem a outra pergunta:**

Por que a água fica côncava? Com relação a quem o giro faz diferença?

Esta pergunta é a mais importante de toda a Mecânica. Qual seria o agente da mudança do estado da água?

**Vamos arriscar!**

## Primeiro suspeito



- Seria a interação da água com o balde, em detrimento da água estar em contato?
- Não!
- Mas por que não é?

No primeiro caso, os dois estão parados e, no segundo caso, os dois estão girando juntos. No início, apenas o balde gira, a água está parada, mas tem o atrito da água com a superfície das paredes do balde e, com isso, essas começam a girar lentamente, até que vai chegar uma hora em que a água gira junto com o balde.

Não há movimento relativo entre esses, balde e água. Então, Newton elimina o primeiro suspeito: rotação da água em relação ao balde.

## Segundo suspeito



- Seria a interação da água com a Terra? Em um caso, a água está parada em relação à Terra, e quando o balde é girado em relação à Terra, causa-se a curvatura da água em relação ao balde.
- No entanto, Newton fala que também não é. Qual é a força que a Terra causa em cada molécula de água?
- Não seria o Peso, mesmo parada e em movimento?

Issac Newton prova que a sua lei não depende da velocidade e nem da aceleração e que não interessa se a Terra está ou não em movimento, essa sempre puxa para baixo.

Assim, a Terra não vai empurrar a água para os lados. Provado com seu teorema. Novamente, Newton elimina o segundo suspeito: rotação da água em relação à Terra.

Sobra agora o último suspeito!



## Terceiro suspeito



- Então, só pode ser a rotação da água em relação às estrelas e corpos distantes do universo, considerando-o como o terceiro agente material que poderia estar interagindo com a água.
- No entanto, Newton também diz que não é!
- Qual a força que as estrelas e as galáxias fazem na água?

Para Newton:

Água parada = zero

Água movendo = zero

## Mas, por quê?

A lei de Newton não depende da velocidade e nem da aceleração. E Newton ressalta: **Não é a rotação da água em relação ao balde, nem a Terra e muito menos das estrelas e galáxias.**

No entanto, tem que ser algum agente, sabe por quê? O efeito é real, ao se girar bem rápido a água vai derramar do balde!

É aí que ele destaca que essa experiência prova a existência deste ente abstrato, a quem ele deu o nome de espaço absoluto e que se pode chamar de referencial inercial.

O importante é que esse referencial não está ligado nem com o balde, nem com a Terra, nem com as estrelas e as galáxias, nem com o Sol, com NADA, sendo algo muito abstrato.

## Considerações Gerais

Eliminar todos os suspeitos e dar o nome de espaço absoluto. E mais... Newton apresenta uma prova de que a Terra gira. Essa prova é baseada no achatamento da Terra. Isaac Newton dizia que o fato de a Terra girar como gira o balde, fazendo a água subir

pelas paredes, ocorre pelo fato de essa ser cheia de líquidos, e como essa está girando em relação ao espaço absoluto, toda a água deve se afastar do eixo de rotação.

Então, exageradamente, a Terra fica achatada, pois a distância de Norte a Sul é menor do que Leste para Oeste. E finaliza relatando que o diâmetro da Terra no Equador está para seu diâmetro de polo a polo, assim como 230 está para 229.

## CURIOSIDADE!!!



Você sabia que esse valor para o achatamento da Terra é aceito até os dias atuais. E isso só foi medido 50 anos depois de Newton apresentar essa previsão baseada em seus cálculos. E o achatamento é minúsculo.

Portanto, é nesse efeito dinâmico que Newton prova que a Terra está girando, e não o contrário. Se a Terra estivesse parada e o Universo girando, essa não estaria achatada.

## Newton foi criticado por esses conceitos

Quais seriam estes conceitos? Desembaralhe as letras para formar as palavras que procuramos. Confiras as respostas na página 46.

1. RALCIEFEREN \_\_\_\_\_
2. ÇESOAP \_\_\_\_\_
3. NIAIERC \_\_\_\_\_
4. BLAED \_\_\_\_\_
5. OPMET \_\_\_\_\_
6. BASOULTO \_\_\_\_\_
7. TREESLAS \_\_\_\_\_
8. ARRET \_\_\_\_\_

Aproveite o CÓDIGO apresentado no início da Revista para descobrir os nomes de alguns cientistas que aparecem no registro a seguir:

a) 24 22 13 13 3 9 8 17 20 4 9 \_\_\_\_\_

b) 23 8 24 11 9 24 10 \_\_\_\_\_

c) 5 8 4 16 5 8 11 8 16 26 8 23 8 2 \_\_\_\_\_

d) 8 16 9 22 20 25 13 3 15 \_\_\_\_\_

e) 8 24 9 22 20 8 24 9 \_\_\_\_\_

f) 17 8 11 8 16 \_\_\_\_\_

## Leibniz e o Movimento Relativo



Gottfried Wilhelm Leibniz - (1646 - 1716) foi introduzido à Ciência Moderna de seu tempo por C. Huygens. Eles estiveram em grande contato durante a estadia de Leibniz em Paris, no período entre 1672 e 1676.

Huygens pode ter influenciado a Leibniz sobre suas concepções de tempo, de espaço e sobre o significado da força centrífuga, termo cunhado por Huygens.

Leibniz nunca aceitou os conceitos newtonianos de espaço e tempo absolutos.

Ao invés disso, ele mantinha que o espaço e o tempo dependem das coisas materiais, sendo o espaço a ordem dos fenômenos coexistentes e o tempo a ordem dos fenômenos sucessivos.

Há uma correspondência muito interessante entre Leibniz e Clarke (1675-1729), um discípulo de Newton, que transcorreu durante os anos de 1715 e 1716. Leibniz escreveu em francês e Clarke em inglês. Esta correspondência esclarece vários pontos importantes deste assunto.

No quarto parágrafo de sua terceira carta para Clarke, Leibniz afirma:



Quanto a mim, deixei assentado mais de uma vez que, a meu ver, o espaço é algo puramente relativo, como o tempo; a saber, na ordem das coexistências, como o tempo na ordem das sucessões. De fato, o espaço assinala em termos de possibilidade uma ordem das coisas que existem ao mesmo tempo, enquanto existem junto, sem entrar em seu modo de existir. E quando se veem muitas coisas junto, percebe-se essa ordem das coisas entre si (ASSIS, 1998, p. 105-106).

Assim, Leibniz defende a ideia de que todo movimento é relativo. Apesar deste fato, ele admite que pode ser mais prático ou conveniente dizer que algum corpo muito grande como a Terra está em repouso, enquanto um corpo pequeno se move em relação a essa ao dizer o contrário.

Também pode ser mais prático ou mais conveniente dizer que os Planetas se movem em relação às estrelas fixas, do que dizer o oposto. No entanto, isso é mais uma questão de convenção do que de realidade física, não chegando a encontrar uma resposta para a experiência do balde com esses conceitos.

## Berkeley e o Movimento Relativo



Fonte da imagem: <https://citaty-slavnych.sk/autori/george-berkeley/>

O bispo G. Berkeley (1685-1753) criticou os conceitos newtonianos de espaço, de tempo e de movimento absolutos, principalmente, em seu **Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano**, em seu trabalho Sobre o Movimento ou o Princípio e a Natureza do Movimento e a Causa da Comunicação dos Movimentos.

Na Seção 112 dos Princípios do Conhecimento Humano, Berkeley defendeu uma teoria relacional como segue:

Confesso, não obstante, que não me parece possa haver outro movimento, além do relativo; para conceber o movimento é preciso conceber pelo menos dois corpos a distância e em posições variáveis. Se houvesse um corpo só, não poderia mover-se. Isto parece evidente; a ideia que tenho de movimento inclui necessariamente a relação (ASSIS, 1998, p. 115-116).

E complementa na Seção 63 do De Motu:

Nenhum movimento pode ser reconhecido ou medido, a não ser através de coisas sensíveis. Como o espaço absoluto não afeta os sentidos de modo nenhum, ele necessariamente tem de ser bem inútil para a distinção dos movimentos. Além disso, a determinação ou direção é essencial para o movimento; mas isto consiste numa relação. Portanto, é impossível que se possa conceber o movimento absoluto (ASSIS, 1998, p.116).

Berkeley afirma que só há movimento relativo, e para conceber o movimento são necessários dois corpos e, para determinar o movimento seria suficiente introduzir, ao invés do espaço absoluto, o céu das estrelas fixas, mas também não encontrou uma maneira mais clara para explicar o experimento do balde.

Assim, Berkeley também parece contradizer a si próprio, como tinha acontecido com Leibniz, quando ele leva em conta as forças. Ele acaba concedendo alguma realidade absoluta para as forças e, nesta forma, também se deixou levar pelos argumentos newtonianos.

#### REFERÊNCIAS:

A.K.T. Assis, Centro de Lógica, Epistemologia e história da ciência- UNICAMP. Mecânica Relacional. Capítulo V. Mecânica Relacional. Campinas São Paulo: Coleção CLE: Volume 22,1998.

**Depois de 200 anos de Newton surgiu outro cientista austríaco, filósofo, físico experimental que vem criticar os conceitos de Newton em um livro intitulado: “A Ciência da Mecânica”.**

# Ernst Mach



Fonte da imagem: <https://eloycaballero.com/dos-problemas-temporales-duracion-y-simultaneidad/>

Ernst Mach (1838 - 1916) critica a Mecânica Newtoniana e afirma o seguinte:

Os princípios da Mecânica podem ser concebidos de tal maneira que mesmo para rotações relativas surgem as forças centrífugas. Tente parar o balde de Newton e girar o conjunto das estrelas fixas, e, então prove a ausência das forças centrífugas.

A ideia de Mach foi muito interessante, ele defendeu também o movimento relativo e não absoluto, em relação ao vazio ao referencial inercial que não tem vinculação material. Ele destacava que, quando Newton girou o balde, a água subiu pelas paredes.

## E instiga a ideia de que:

Ao se deixar o balde parado e se fosse possível o super-homem agarrar todas as estrelas e as galáxias e girar ao redor do balde de Newton, ou seja, girar o Universo ao contrário, todas as estrelas e as galáxias ao redor do eixo uma vez por segundo, o movimento cinemático seria o mesmo, tanto faz girar a água e o Universo ao contrário. Se o movimento cinemático é o mesmo, logo o efeito dinâmico também será o mesmo. Então, a água também deve subir pela parede na mesma altura de antes e ficar côncava também. Portanto, esta é a ideia de Mach, que foi o primeiro a dar uma resposta para o experimento do balde de Newton. Em suas palavras:

Não é a rotação da água em relação ao balde, nem a Terra, mas é sim, rotação da água em relação às estrelas. Tanto faz girar o balde e as estrelas o efeito é o mesmo.

E isso ficou conhecido por princípio de Mach. A ideia é de que as forças centrífugas de Corioli são uma interação gravitacional com o Universo distante.



## Será que tem como provar?

As ideias de Mach apresentam dois problemas. O primeiro expõe que não dá para provar quem está certo ou errado. Não se tem o super-homem, sendo essa uma experiência do pensamento. O segundo problema foi que Mach não provou matematicamente. Newton mostrou que o conjunto de estrelas não faz a força na água. Mach não mostrou, empiricamente, e nem matematicamente. No entanto, de qualquer forma, Mach sugere um experimento. Não tem como girar as estrelas, mas se poderia, por exemplo, colocar uma casca de vidro ao redor do balde e girar o vidro com uma velocidade de uma vez por segundo com uma casca em toneladas. O efeito existe, mas é desprezível, não dá para medir, se deveria ter uma massa muito grande para conseguir detectar o efeito, mas é importante ressaltar que a experiência pode ser feita em laboratório.

## Mecânica Relacional

Uma nova mecânica é baseada apenas em grandezas relativas, isto é, entre corpos materiais e a eletrodinâmica de Weber, que é utilizado como objeto de pesquisa do professor do Instituto de Física da UNICAMP, André Koch Torres Assis, com várias produções na forma de livros, artigos e capítulos de livros desde 1995.

Na obra Mecânica Relacional, André K. T. Assis vem apresentar quantitativamente as ideias de Mach, em que ele parte de uma lei de gravitação modificada por intermédio da interpretação à lei de força de Weber para cargas elétricas, assume termos dependentes da velocidade e da aceleração entre os corpos em interação, seguido de um postulado básico, evidenciando que a soma de todas as forças de qualquer natureza sobre um corpo é sempre nula em todos os sistemas de referência.

## Curiosidade com DICA!

Essa nova teoria, a Mecânica Relacional proposta por André K. T. Assis, tem esse nome para contrapor as teorias da Relatividade

de Einstein, em detrimento dele ser contrário às teorias da Relatividade Restrita e Geral. Quem quiser descobrir o motivo é só recorrer à leitura da obra supracitada, que se encontra em PDF em sua home-Page da UNICAMP, com um capítulo inteiro explicando, detalhadamente, os motivos pelos quais é contrário as ideias de Albert Einstein, vale a pena. **#FICAADICA**.

## VOCE É PRECISA SABER!!!



“Por **mecânica relacional** entendemos uma formulação da mecânica (o estudo do **equilíbrio** e do **movimento** dos corpos) baseada apenas em quantidades **relativas** (como a distância entre os corpos que estão interagindo e as velocidades radiais entre esses), **evitando** o uso de **conceitos** como o **espaço** e o **tempo absolutos** de Newton. Também são evitadas **grandezas** que dependam do **observador**, como a **velocidade** na força de Lorentz da forma interpretada por Einstein, ou seja, utiliza-se a antiga expressão “mecânica relativística” para evitar confusões com as teorias especial e geral da relatividade de Einstein” (ASSIS, 1998, p. 199).

Encontre as palavras em destaque do texto acima.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | A | E | V | E | L | O | C | I | D | A | D | E | T |
| E | S | T | Q | G | R | A | N | D | E | Z | A | S | E |
| C | N | M | Z | U | P | Q | V | H | M | C | Q | V | M |
| A | R | O | Q | X | I | W | E | U | A | O | W | B | P |
| N | A | V | T | C | K | L | V | M | R | R | E | N | O |
| I | T | I | D | U | N | R | I | A | T | P | R | T | T |
| C | O | M | F | V | R | D | T | B | E | O | D | Y | A |
| A | D | E | T | B | W | E | A | I | R | S | E | U | B |
| R | O | N | G | N | S | U | N | D | E | I | U | Z | S |
| E | S | T | U | M | X | S | D | A | L | E | O | I | O |
| L | C | O | B | Q | A | F | O | D | A | L | F | O | L |
| A | A | R | Z | W | T | G | A | E | T | E | G | A | U |
| C | O | N | C | E | I | T | O | S | I | S | A | S | T |
| I | C | V | K | R | R | N | D | J | V | A | N | D | O |
| O | B | S | L | T | S | A | F | L | A | E | A | F | U |
| N | L | M | R | Y | O | T | G | K | S | S | T | G | L |
| A | O | B | S | E | R | V | A | D | O | R | U | H | O |
| L | S | G | E | S | P | A | Ç | O | G | Q | N | C | S |

# André Koch Torres de Assis



Fonte da imagem: <https://yhoo.it/3ykP5X5>

André Koch Torres Assis é brasileiro, nascido em Minas Gerais, com formação em Física e, desde 1989 trabalha na Universidade Estadual de Campinas, com temas como: gravitação, eletromagnetismo, cosmologia e História da Ciência.

No processo de pesquisa em física, ele trouxe um novo paradigma para essa ciência, dentro do enfoque da Mecânica e da Gravitação, especialmente, ao expor uma crítica para a mecânica newtoniana e teorias da relatividade de Einstein, de forma a implementar quantitativamente as ideias de Leibniz, Berkeley e Mach, a partir de trabalhos de Weber em eletromagnetismo.

A Mecânica relacional como exposta, por meio da experiência do balde de Newton, expressa aspectos baseados em grandezas relativas, envolvendo distâncias entre corpos materiais, velocidade e aceleração, sendo experiência ampla e profunda sobre fundamentos da mecânica.

Em 1996, com o livro Eletrodinâmica de Weber, Assis foi agraciado com o Prêmio Jabuti na categoria de Ciências Exatas e, novamente, recebeu tal Prêmio, em 2012, com o livro Eletrodinâmica de Ampère. Assis, ao longo de seu trabalho, tem produzido muitos artigos, palestras, cursos e orientações acadêmicas que podem ser mais bem visualizadas por meio do Website: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

Entre suas obras se destacam:

- Eletrodinâmica de Weber, Editora da Unicamp, Campinas, SP, 1995.
- Mecânica Relacional, Centro de Lógica, Epistemologia e História das Ciências, Campinas, SP, 1998.
- Uma Nova Física, Editora Perspectiva, São Paulo, SP, 2002.
- Eletrodinâmica de Ampère, Editora da Unicamp, SP, juntamente com João Paulo Martins De Castro Chaib



# Afinal, por que será que na Mecânica Relacional são evitados os conceitos como espaço e tempo absolutos de Isaac Newton?

Inicialmente, para responder a indagação supracitada, A. K. T. Assis introduz alguns conceitos primitivos, isto é, conceitos básicos e necessários para serem definidos e compreender outros mais complexos, como é o caso da distância entre corpos materiais e o tempo entre eventos físicos, entre outros. A Mecânica Relacional ressalta que a soma de todas as forças agindo sobre qualquer corpo é nula em todos os sistemas de referência.

## Sabe por quê?

Quando Newton utilizou a somatória das forças, como sendo igual a taxa de variação temporal ( $dp/dt$ ), ele utilizou o conceito de referencial inercial ou de espaço absoluto, enquanto a Mecânica Relacional não estabelece referencial inercial, espaço absoluto, tempo absoluto e massa inercial.

E mais...

## A mecânica relacional é baseada em três postulados ou axiomas

### I POSTULADO

Força é uma quantidade vetorial que descreve a interação entre corpos materiais

### II POSTULADO

A força que uma partícula pontual A exerce sobre uma partícula B é igual e oposta a força que B exerce sobre A e é direcionada ao longo da linha reta conectando A até B

### III POSTULADO

A soma de todas as forças de qualquer natureza (gravitacional, elétrica, magnética, elástica, nuclear...) agindo sobre qualquer corpo é sempre nula em todos os sistemas de referência

## Aprofundando...

O **primeiro postulado** qualifica a natureza de uma força (dizendo que essa é uma quantidade vetorial, com módulo, direção e sentido). Mais importante do que isto é que esse postulado propicia expor a propriedade de se adicionar como vetores, ou seja, a lei do paralelogramo de forças. Observe apenas que ainda não se está falando de acelerações, mas apenas de forças. Este postulado também deixa claro que força é uma interação entre corpos materiais. A força não descreve, por exemplo, uma interação de um corpo com o “espaço.”

Já o **segundo postulado** é similar à lei de ação e reação de Newton, ou seja:  $F_{AB} = -F_{BA}$ . Além do mais, essa lei expõe que todas as forças entre partículas pontuais, não interessando sua origem (elétrica, elástica, gravitacional...) são direcionadas ao longo das linhas retas, conectando estes corpos.

E para finalizar, o **terceiro postulado** apresenta a principal mudança em relação à mecânica newtoniana. Pode-se chamá-lo de princípio de equilíbrio dinâmico. Diz-se aqui que a soma de todas as forças atuando em um corpo é sempre nula, mesmo quando este corpo está em movimento e acelerado em relação a outros corpos, em relação a nós mesmos, ou a qualquer outro referencial. Posteriormente, tal postulado deriva uma lei similar à segunda lei do movimento de Newton.

## Ainda sobre os Postulados...

Agora é com você! Segundo os postulados da Mecânica Relacional, responda as perguntas a seguir:

1º) O primeiro postulado qualifica a natureza de uma força dizendo que essa é uma quantidade \_\_\_\_\_ com \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

2º) Qual postulado apresenta uma mudança em relação à Mecânica Newtoniana?

3º) Para o segundo postulado, força é uma \_\_\_\_\_ entre corpos materiais.

4º) O segundo postulado é similar a qual princípio de Newton?

5º) Qual é a soma de todas as forças atuando sobre um corpo, mesmo estando em movimento ou acelerando em relação aos outros corpos?

**Encontre no caça-palavras as respostas. Use os sentidos e direções das setas:**



|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E | R | T | Q | G | R | A | N | D | E | Z | A | S | E |
| C | N | E | Z | U | P | Q | Ç | H | M | C | Q | V | M |
| V | R | O | A | X | I | W | E | Ã | A | O | W | B | P |
| E | A | V | T | Ç | K | L | V | M | O | R | E | N | O |
| T | T | I | D | U | Ã | R | I | A | T | P | R | T | T |
| O | O | M | I | V | R | O | T | B | E | O | D | Y | S |
| R | D | E | R | O | W | E | A | I | R | S | E | N | E |
| I | O | N | E | R | S | U | N | D | E | I | U | Z | N |
| A | S | T | Ç | I | X | S | D | A | L | L | O | I | T |
| L | C | O | Ã | E | A | F | O | D | A | L | F | O | I |
| A | A | R | O | C | T | G | A | E | T | E | G | A | D |
| C | O | N | C | R | I | T | O | S | I | S | M | S | O |
| I | C | V | K | E | R | N | D | J | V | A | O | D | O |
| O | B | S | L | T | S | A | F | L | A | E | D | F | U |
| N | L | M | R | Y | O | T | G | K | S | S | U | G | L |
| A | O | B | S | E | R | V | A | D | O | R | L | H | O |
| L | S | I | N | T | E | R | A | Ç | Ã | O | O | C | S |

Respostas na página 46.



## E se fosse trabalhado com energia ao invés de forças, o que ocorreria com estes postulados?

Os Postulados seriam substituídos por um único, a saber: “A soma de todas as energias de interação (gravitacional, elétrica, elástica...) entre qualquer corpo e todos os outros corpos no Universo é sempre nula em todos os sistemas de referência.” Mais uma vez, apenas a razão entre energias terá relevância.

Este postulado pode ser chamado de princípio de conservação da energia. A vantagem deste postulado em relação ao postulado análogo da mecânica clássica (a soma da energia cinética com as energias potenciais é uma constante para sistemas conservativos) é que não se introduz aqui o conceito de energia cinética  $mv^2/2$ . Esta grandeza tem embutido nela o conceito de massa inercial e de espaço absoluto ou sistemas inerciais (os sistemas em relação aos quais se deve medir a velocidade  $v$ ).

### REFERÊNCIAS:

A.K.T. Assis, Centro de Lógica, Epistemologia e história da ciência - UNICAMP. Mecânica Relacional. Mundo Novo. Mecânica Relacional. Campinas São Paulo: Coleção CLE: Volume 22, 1998. p.199-203.

## É importante saber que...



Wilhelm Eduard Weber.

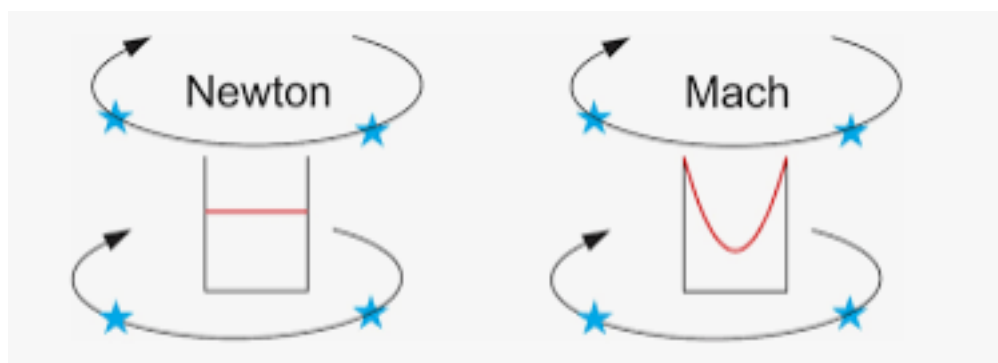
Fonte da imagem: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Eduard\\_Weber](https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Eduard_Weber)

A Mecânica relacional utiliza outra lei na Gravitação Universal, ou seja, a **Lei de Newton** é modificada, ao invés de falar Lei de Newton se fala **Lei de Weber**. Essa Lei de Weber é relacional, essa depende da distância entre os corpos, aceleração entre esses, e não é velocidade de uma carga em relação a um observador, mas aos corpos interagindo.

# Aplicações da Mecânica Relacional com o balde de Newton

De acordo com Assis, a Mecânica Relacional: “é uma nova mecânica que implementa as ideias de Leibniz, Berkeley, Mach e muitos outros”, em que não existem grandezas absolutas, como na Mecânica Clássica, tais como espaço ou tempo.

Este autor acredita que “apenas quando comparamos esta nova mecânica com a newtoniana, passamos a ter uma compreensão clara destes antigos conceitos”.



Fonte da imagem: Experimento de pensamento de Mach: [https://www.if.ufrgs.br/novocref/wp-content/uploads/2020/05/fig2\\_exp\\_pens\\_mach.png](https://www.if.ufrgs.br/novocref/wp-content/uploads/2020/05/fig2_exp_pens_mach.png)

Esta nova visão da Mecânica permite observar um fenômeno Físico de maneira diferente: “após compreender a mecânica relacional entramos em um novo mundo, enxergando os mesmos fenômenos com olhos diferentes e sob uma nova perspectiva” (ASSIS, 1998).

Assim, o autor defende que é possível explicar esta experiência do balde de Newton sem utilizar a ideia de espaço absoluto, incluindo-se para isto o referencial dos corpos astronômicos distantes, como apontou Ernst Mach.

Em sua obra, Assis explica que a concavidade da parábola é dada por  $z/x^2$ , ou seja, é proporcional a  $k$  ou à densidade de matéria das galáxias distantes ( $k=1$  é a situação do universo atual com uma densidade da ordem de um átomo de hidrogênio por metro cúbico).

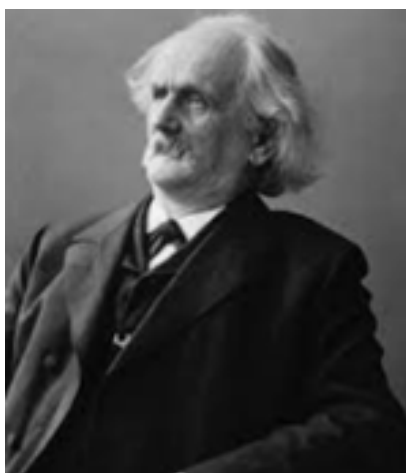
Isto mostra que mantendo a rotação angular da água em relação à Terra e às galáxias distantes, mas aumentando  $k$ , teria a água subido mais pelas paredes do balde.

Se  $k \rightarrow 0$ , o que significa aniquilar com as galáxias externas,

então a superfície da água permaneceria essencialmente plana, apesar de sua rotação. De qualquer forma, a água seria sempre um pouco côncava, mesmo com o total desaparecimento das galáxias externas em função da rotação da água em relação à Terra, um efeito que não está sendo considerado aqui (1998, p. 265).

Assim sendo, para Assis (1998), a Mecânica Relacional consegue explicar a experiência do balde de Newton sem utilizar os conceitos de espaço absoluto e referenciais inerciais, uma vez que a curvatura da superfície da água é explicada em decorrência do movimento relativo do balde com relação às estrelas do Universo, sendo, portanto, impossível distinguir movimentos absolutos de relativos em relação aos seus efeitos.

## Que tal fazermos uma experiência do pensamento?



Fonte da imagem: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Carl\\_Gottfried\\_Neumann.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Carl_Gottfried_Neumann.png)

### GIRO A ÁGUA OU GIRO A TERRA?

Quais serão as consequências dinâmicas para a Terra parada ou girando, segundo a Mecânica Relacional?

Esta pergunta curiosa foi feita pelo cientista alemão Carl Neumann em 1869. Nesta indagação, ele sugere imaginar desaparecer todos os astros, ficando somente a Terra.

## Qual seria a resposta de Newton, Einstein, Mach e Você?

De acordo com Newton, nada aconteceria, para ele as estrelas não fazem força dentro e sem os corpos astronômicos a Terra continuaria achatada, considerando sua rotação como absoluta.



Einstein também diria o mesmo, uma Terra sozinha no Universo continuaria achatada. Já para a Mecânica Relacional com Mach, a Terra voltaria a ser esférica, ou seja, o achatamento da Terra é função não apenas do movimento relativo em relação às estrelas, mas também da quantidade de estrelas e galáxias que se têm. De acordo com a Mecânica Relacional, ao se diminuir a quantidade de estrelas terá como consequência a diminuição do achatamento dessa.



**Mas, e você?**

**Consegue fazer a experiência do pensamento?**

Sozinha no Universo essa será esférica, qual resposta você daria? Vamos exercitar a intuição. Para você, o que está certo: as ideias de Newton, Einstein ou Mach? Um corpo sozinho no Universo pode ter inércia? E dois corpos, um grande e outro pequeno, vão ter a mesma inércia? E vários corpos?

**Contudo, a essência da Mecânica Relacional está na somatória de forças, que é igual a zero e não somatória de força massa pela aceleração ( $m \cdot a$ ) e lei de Weber para gravitação universal e não Lei de Newton.**

**E quais são os resultados obtidos com a Mecânica Relacional?**

É deduzido da segunda Lei de Newton e princípio da equivalência a massa inercial é igual a massa gravitacional ( $m_i = m_g$ ). As forças centrífugas e de Corioli são forças reais e de origem gravitacional e não fictícias, como afirmava Newton, e finaliza com a implementação quantitativa do princípio de Mach.

## Para finalizar...

Caro leitor, para finalizar é relevante expressar que a experiência do balde de Newton é, por um lado, um enfoque riquíssimo em conceitos físicos envolvidos, tais como movimento relativo, referenciais, espaço e tempo absolutos e, muito embora, seja de fácil realização é de difícil compreensão. Por outro lado, esta experiência envolve aspectos históricos e filosóficos ainda pouco explorados.

A discussão que envolve a explicação para a concavidade da superfície da água no balde girante realizada pelo próprio Newton e pelos demais físicos contrários a essa posição enriquecem ainda mais a controversa experiência, de forma que essa se torna um caso singular para o estudo dos fenômenos do movimento através de uma abordagem histórico-filosófica.

Espera-se que por meio desta Revista tenha sido possível entender de forma mais concreta a construção histórica e controversa de conceitos científicos, bem como aquela visão pronta e acabada da Ciência, que foi trilhada pelos caminhos da Mecânica Relacional, a fim de ser viável interpretar a construção de enunciados sobre a experiência do balde de Newton para propiciar uma transformação da realidade.

## Referências

ASSIS, André Koch Torres. Centro de Lógica, Epistemologia e história da ciência - UNICAMP. Mecânica Relacional. Mundo Velho. Mecânica Newtoniana. Campinas São Paulo: Coleção CLE: Volume 22,1998.

ASSIS, André Koch Torres. **Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a Força de Weber Gravitacional**. Apeiron, Montreal, 2013. Disponível em [http://www2.dbd.pucrio.br/pergamum/tesesabertas/0410642\\_06\\_cap\\_02.pdf](http://www2.dbd.pucrio.br/pergamum/tesesabertas/0410642_06_cap_02.pdf) Acesso em 16 mar. 2021.

ASSIS, André Koch Torres. O balde de Newton e o espaço absoluto: Uma resenha de Mecânica Relacional, de André Koch Torres Assis, CLECH, UNICAMP, (1998), 349 p., **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 21, p. 558-560 (1999).

BARROSO, W. Físico revê polêmica Newton/Leibniz, Jornal O Tempo - Ano 3, número 822, **Caderno Magazine**, p. 3, 27/02/99.

BHADRA, A., DAS, S.C. **Comment on “On Mach’s critique of Newton and Copernicus,”** by Herbert I. Hartman and Charles Nissim-Sabat, vol. 71, n. 11, 1163-1169 (2003).

CHAIB, J.P.M.C., AGUIAR, M.C. Força de inércia: aprofundando o debate, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 142-161 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p142>

NEWTON, Isaac, **Princípios Matemáticos de la Filosofia Natural**, trad. Eloy Rada, Madrid, Alianza Editorial, 2004.

PIRES, A.S.T. **Mecânica Newtoniana**. Evolução das ideias da física em História da ciência. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

**The principia:** mathematical principles of natural philosophy. Trad. Bernard Cohen e Anne Whitman. Los Angeles: University of California Press, 1999.

ZYLBERTSZTAJN, A. **Mecânica Relacional**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 15, Nº 2 (1998).



# Respostas

Página 7.

## ISAAC NEWTON FOI QUEM ESTUDOU...

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | A | G | I | A | M | Q | W | E | T | R |
| D | S | Q | T | S | M | N | Z | X | K | A |
| C | T | N | M | Z | Z | P | Q | V | H | C |
| Z | R | Y | A | Q | X | L | W | B | U | I |
| R | O | K | R | T | C | K | E | N | M | O |
| P | S | L | T | D | U | N | R | T | A | C |
| B | F | X | E | F | V | R | D | Y | N | I |
| S | D | C | V | T | B | W | E | U | I | N |
| K | X | V | S | G | N | S | U | Z | D | I |
| E | S | B | Q | U | M | X | S | I | A | O |
| L | C | Q | T | B | Q | A | F | O | D | L |
| P | A | A | R | Z | W | T | G | A | E | O |
| S | L | Z | M | A | D | F | A | S | K | G |
| T | C | K | V | K | R | R | N | D | J | I |
| Q | U | R | B | L | T | S | A | F | L | C |
| S | L | T | M | R | Y | O | T | G | K | O |
| x | O | U | A | Y | U | I | U | H | J | W |
| Q | S | I | G | C | I | E | N | C | I | A |

Página 9.

1. Pensamentos impuros.
2. Escolher domingo à noite para fazer bolo.
3. Colocar fogo na casa com sua mãe e padrasto dentro.
4. Armar uma ratoeira no dia do Senhor.
5. Desobedecer a mãe batendo em sua meia irmã.
6. Ousar comer uma maçã na igreja.
7. Subir no muro do vizinho para roubar cereja.

Página 10.

|        |                 |                      |
|--------|-----------------|----------------------|
| 9 12 4 | 24 9 7 8 9 20 4 | 15 24 12 4 20 8 22 8 |
| NAO    | INVENTO         | HIPOTESE             |

“NÃO INVENTO HIPÓTESE” (Isaac Newton).

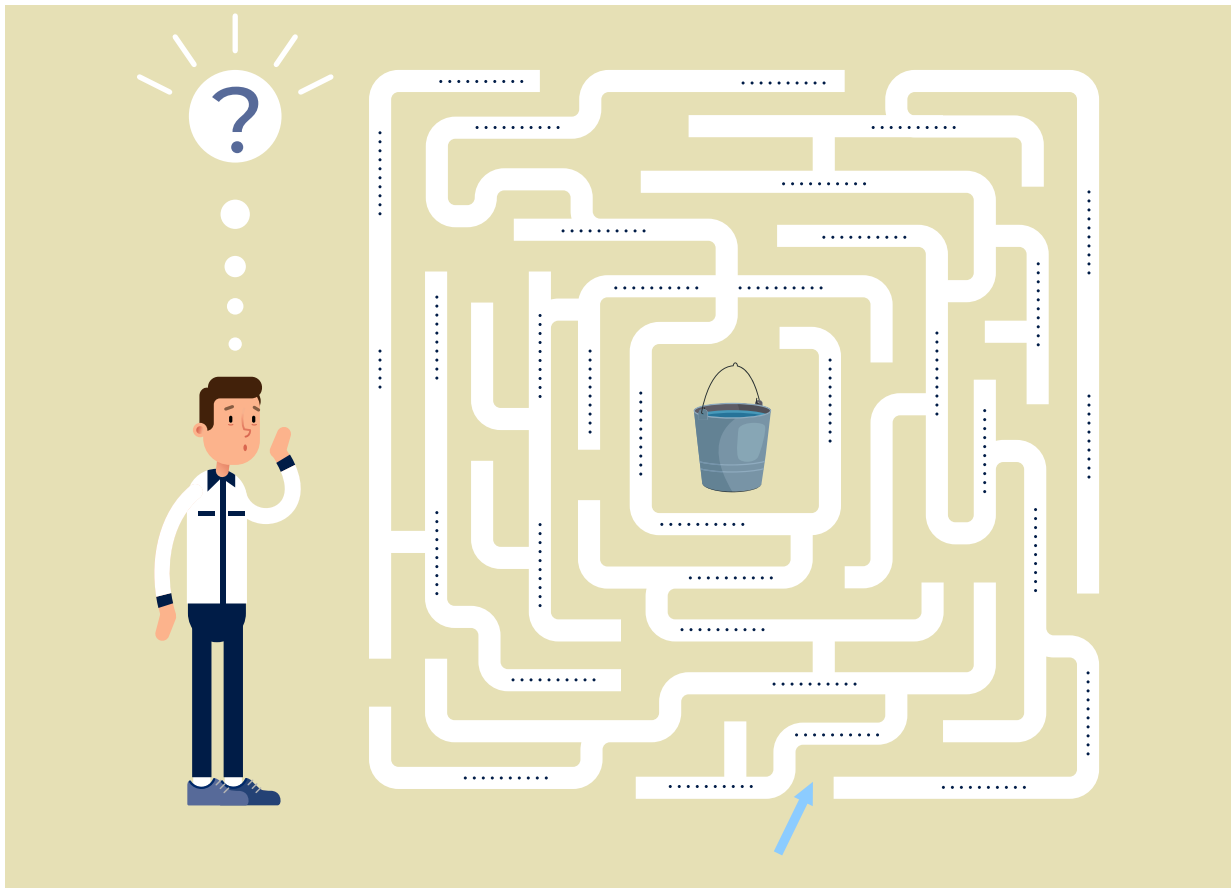
Página 11.

|    | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Página 13.

P  
 R E A Ç Ã O  
 I  
 I N É R C I A  
 C  
 I  
 P  
 D I N Â M I C A  
 A Ç Ã O  
 S

Página 14.



Página 20 e 21.

Para o tempo:

R: “O tempo é absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa, chamado de duração”. Isaac Newton

Para o espaço:

R: “O espaço é absoluto que em sua própria natureza sem relação com qualquer coisa externa permanece sempre similar e imóvel”. Isaac Newton

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b> | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>H</b> | <b>I</b> | <b>J</b> | <b>K</b> | <b>L</b> | <b>M</b> |
| 13       | 11       | 3        | 1        | 8        | 6        | 5        | 15       | 24       | 18       | 26       | 23       | 25       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>N</b> | <b>O</b> | <b>P</b> | <b>Q</b> | <b>R</b> | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>U</b> | <b>V</b> | <b>W</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Z</b> |
| 9        | 4        | 12       | 14       | 16       | 22       | 20       | 21       | 7        | 17       | 19       | 2        | 10       |



Página 26.

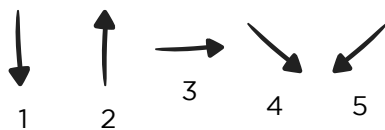
- 1- TERRA
- 2- ABSOLUTO
- 3- ESTRELAS
- 4- TEMPO
- 5- BALDE
- 6- REFERENCIAL
- 7- INÉRCIA
- 8- ESPAÇO

Página 27.

- 1- ISAAC NEWTON
- 2- LEIBNIZ
- 3- GEORGE BERKELEY
- 4- ERNST MACH
- 5- EINSTEIN
- 6- WEBER

Página 32.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | A | E | V | E | L | O | C | I | D | A | D | E | T |
| E | S | T | Q | G | R | A | N | D | E | Z | A | S | E |
| C | N | M | Z | U | P | Q | V | H | M | C | Q | V | M |
| A | R | O | Q | X | I | W | E | U | A | O | W | B | P |
| N | A | V | T | C | K | L | V | M | R | R | E | N | O |
| I | T | I | D | U | N | R | I | A | T | P | R | T | T |
| C | O | M | F | V | R | D | T | B | E | O | D | Y | A |
| A | D | E | T | B | W | E | A | I | R | S | E | U | B |
| R | O | N | G | N | S | U | N | D | E | I | U | Z | S |
| E | S | T | U | M | X | S | D | A | L | E | O | I | O |
| L | C | O | B | Q | A | F | O | D | A | L | F | O | L |
| A | A | R | Z | W | T | G | A | E | T | E | G | A | U |
| C | O | N | C | E | I | T | O | S | I | S | A | S | T |
| I | C | V | K | R | R | N | D | J | V | A | N | D | O |
| O | B | S | L | T | S | A | F | L | A | E | A | F | U |
| N | L | M | R | Y | O | T | G | K | S | S | T | G | L |
| A | O | B | S | E | R | V | A | D | O | R | U | H | O |
| L | S | G | E | S | P | A | Ç | O | G | Q | N | C | S |



|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E | R | T | Q | G | R | A | N | D | E | Z | A | S | E |
| C | N | E | Z | U | P | Q | Ç | H | M | C | Q | V | M |
| V | R | O | A | X | I | W | E | Ã | A | O | W | B | P |
| E | A | V | T | Ç | K | L | V | M | O | R | E | N | O |
| T | T | I | D | U | Ã | R | I | A | T | P | R | T | T |
| O | O | M | I | V | R | O | T | B | E | O | D | Y | S |
| R | D | E | R | O | W | E | A | I | R | S | E | N | E |
| I | O | N | E | R | S | U | N | D | E | I | U | Z | N |
| A | S | T | Ç | I | X | S | D | A | L | L | O | I | T |
| L | C | O | Ã | E | A | F | O | D | A | L | F | O | I |
| A | A | R | O | C | T | G | A | E | T | E | G | A | D |
| C | O | N | C | R | I | T | O | S | I | S | M | S | O |
| I | C | V | K | E | R | N | D | J | V | A | O | D | O |
| O | B | S | L | T | S | A | F | L | A | E | D | F | U |
| N | L | M | R | Y | O | T | G | K | S | S | U | G | L |
| A | O | B | W | E | R | V | Q | D | O | R | L | H | O |
| L | S | I | N | T | E | R | A | Ç | Ã | O | O | C | S |

Os estudos desenvolvidos nesta área da física são recentes, aspecto pelo qual se expõe que o material não está livre de possíveis erros de interpretação.

