

## FÍSICA É MATEMÁTICA?

A Matemática só trata de acúmulo e desacumulo (adições e subtrações), nada mais. Essas adições e subtrações são de quantidade fixas ou quantidades que variam durante o processo. Destes últimos casos tratam as derivadas e as integrais. Quantidades podem ser representadas por valores ou por máquinas (funções) que geram valores. Essas funções podem receber como argumentos valores ou geradores de valores, dando como saída também valores ou geradores de valores mais simplificados.

A Matemática pode descrever a Física, mas, ela vai além, “permitindo” até fenômenos físicos impossíveis ou até ilógicos, como voltar ao passado, por exemplo.

Matematicamente isso é possível, mas, fisicamente não é.

O valor  $-4$  representa uma quantidade em Matemática que não possui um equivalente físico. Na Matemática,  $+2$  e  $-2$  são duas quantidades diferentes. Fisicamente são duas quantidades diferentes também, pois, uma existe, a outra não.

A quantidade  $2$  multiplicada por ela mesma gera a quantidade  $4$ . Isso matematicamente. Como fazer isso fisicamente? O problema está na palavra multiplicar. Se ela for entendida como “acumule a segunda quantidade tantas vezes quanto vale a primeira quantidade” já se pode ter uma ideia de como fazer isso fisicamente.

Por outro lado, a quantidade matemática  $-2$  multiplicada por ela mesma deveria, à primeira vista, gerar a quantidade  $-4$ , mas, não gera. Por que?!

Se você pensar fisicamente, vai concluir que a única maneira de desacumular  $-4$  é acumulando  $+4$ , assim como desacumular  $+4$  é acumulando  $-4$  (ou subtrair  $4$ ). Para desacumular  $-4$  você pode desacumular  $-2$  duas vezes, que é o que diz a expressão  $-2$  vezes  $-2$ . Assim, o resultado de desacumular  $-2$  duas vezes resulta em  $+4$ . Claro que você só pode fazer isso mentalmente (física mental?), pois, não existem  $-2$  bolas, por exemplo, no mundo físico. A menos que você considere que a falta de alguma coisa é alguma coisa. Virtualmente é, fisicamente não é.

Nos dois casos, a figura  $+2$  e a figura  $-2$  são chamadas de raiz quadrada do valor resultando da multiplicação. Só que, tanto  $+2$  quanto  $-2$ , resultam em  $+4$ , e o retorno só leva a  $+2$ , não leva a  $-2$ . A mistura fica homogênea, você não consegue separar os componentes.

Vamos analisar a fórmula matemática  $F = m \cdot a$ , que tenta descrever um fenômeno físico: *uma força resulta de uma massa que multiplica uma aceleração* (lendo o lado direito da esquerda para direita), ou *de uma aceleração multiplicada por uma massa* (lendo o lado direito da direita para a esquerda), ou *de uma aceleração aplicada a uma massa* (só que não dá para “ver” o verbo aplicar nessa fórmula), mas, *não de uma massa aplicada à aceleração* (além de não se “ver” o verbo aplica na fórmula, ainda por cima, fica esquisito usá-lo). Por que? O que é massa? O que é aceleração? O que é força?

Massa não é acúmulo de matéria. Acúmulo de matéria pode ser acúmulo de massa. Segundo a Física, um fóton é matéria, mas, não tem massa. Um elétron é matéria e tem massa. Assim, massa é uma coisa e matéria é outra coisa (massa de pão é matéria!!!).

A massa pode afetar a matéria ou não. Agora, uma pode ser causa e a outra efeito. A matéria é mais palpável do que a massa. A conclusão lógica é que a **massa é um efeito da matéria**. Conforme o estado em que a matéria se encontra, ela efetuará massa ou não. Se um elétron muda seu estado de tal maneira que não mais efetue massa, ele será transformado em uma partícula sem massa, como um fóton, por exemplo. Então massa é um efeito da matéria quando esta se encontra num estado especial (um que efetua massa – um dos vários estados energéticos que a matéria pode assumir).

Aceleração é definida como uma variação da velocidade (deslocamento espacial num espaço picotado em unidades espaciais que chamamos de *tempo*). Essa variação de velocidade pode ser tanto de valor (velocidade escalar) como de direção (velocidade vetorial). Então, aceleração é uma variação do deslocamento espacial dentro de espaços temporais, ou seja, aceleração é a variação do espaço num tempo relativo a um subtempo (tempo dentro de tempo):

30 segundos por minuto: Para cada minuto que passa no relógio A (referência), o relógio B anda 30 segundos. O relógio B não recebeu a mesma aceleração que o relógio A. O relógio B é mais lento, está com uma velocidade menor. Equivalente a meio minuto por minuto.

1 minuto a cada 30s: Para cada 30 segundos que passa no relógio A, o relógio B anda 1min. O relógio B está mais rápido. Equivalente a 2 minutos por minuto.

A velocidade ( $v$ ) é medida em metros por segundo ( $m/s$ ). A distribuição da velocidade num espaço temporal será dada por  $v/s$ , ou  $(m/s)/s$ , o que resulta em  $m/s^2$ . Isso é a variação da velocidade com o tempo, ou seja, aceleração. Se a cada segundo que passa, a velocidade cresce de 10 em 10  $m/s$  (0 $m/s$ , 10 $m/s$ , 20 $m/s$ , 30 $m/s$ ) significa que a aceleração é de 10 $m/s^2$ :  $(30m/s - 20m/s)/1s = (10m/s)/s = 10m/s^2$ .

O deslocamento espacial, em si, é uma força ou não? O que entendemos, à primeira vista, como sendo uma força?

Entendemos como força uma intenção impeditiva de estado de movimento: intenção de se opor ao estado (fazer parar ou fazer mover) ou se juntar a ele (manter parado ou fazer ir mais rápido).

Mas, “injetar” força para movimentar, parar ou manter parado não é a mesma coisa que acelerar num sentido ou no outro? Então, aceleração e força são a mesma coisa? Não. A aceleração é um efeito da força. Não haverá aceleração se não houver força. É a força que causa o deslocamento no espaço, efetuando a aceleração e a velocidade.

Velocidade e aceleração não existem absolutamente. **Espaço** e força (parece) existem absolutamente. **Matéria** existe absolutamente. Massa não existe absolutamente.

Podemos, de alguma maneira, sentir o espaço e a matéria, mas, a força ainda me parece um tanto elusiva. Nossa visão percebe a matéria e o espaço, mas, não vê a força. É como se ela se originasse do nada e, de repente, voltasse para ele.

Se um corpo material está se movendo no espaço, aceitamos prontamente que uma força está atuando nele. Porém, se ele estiver parado, não sabemos se tem uma força atuando ou não.

Ora, deslocamento no espaço não existe absolutamente. O que existe é o corpo material e seu lugar no espaço. Então podemos esquecer esse negócio de movimento e apenas discutir se sempre existe uma força atuando ou não. Para isso, precisamos compreender completamente o que é força.

Uma partícula de matéria só vai se movimentar se uma força externa a ela tentar penetrá-la e encontrar resistência na penetração, mas, não no espaço em volta da partícula.

Para complicar as coisas ainda mais, podemos ter força atrativa ou repulsiva (que puxa ou empurra). Mas, podemos facilitar e considerar apenas “empurra”.

Uma força pode agir tanto por contato quanto à distância. Por contato ocorre uma transferência de energia (ou divisão/distribuição de energia) entre os corpos que se tocam, havendo uma diminuição da velocidade de deslocamento de ambas, principalmente se as duas tiverem efeito de massa (efeito de massa é a massa extra que um corpo ganha ao ser acelerado – um tijolo causará o efeito de dois ou três tijolos juntos, dependendo da altura que ele caia ou da força com que é lançado), pois, a massa sempre se opõe à força.

E se um dos dois corpos não tiver massa? E se ambos não tiverem massa? Se um deles estiver em movimento, ainda assim poderá haver transferência de energia.

A ação à distância (sem contato) é mais elusiva. Existe alguma coisa que conecta os dois corpos, um canal que os liga. Quando esse canal se encurta e a ação continua, então estará havendo atração; quando ele se alonga, estará havendo repulsão, até o canal ser rompido e ação parar.

De que seria formado esse canal? Em que ele se diferencia da ação por contato? Segundo a Física esse canal é formado dentro de um campo de partículas que atuam como mediadoras da força, ou seja, são as partículas que criam o contato. Essas partículas têm uma afinidade com as partículas dos corpos que se atraem ou se reprimem (aqui a expressão afinidade não significa apenas “simpatia”). Assim sendo, não há uma diferença em relação à ação por contato, pois, o contato ocorre de qualquer maneira.

E então, força depende da matéria ou não? Se sim, força é um efeito da matéria e não é mais uma coisa absoluta. Eu acho que a força é um efeito da matéria.

Voltemos à multiplicação **F = m.a**.

“Força é igual à massa vezes a aceleração”. Isso não é Física! O que é “massa vezes”? O que é “aceleração acumulada consigo mesma massa vezes” ou “massa acumulada consigo mesma aceleração vezes”? O que é Kg x m/s<sup>2</sup>?

Isso é matemático, mas, não é físico!

Agora, isso é físico:

$$\frac{F}{m} = a$$

O significado físico é: **força distribuída numa massa causa aceleração**. É físico e continua sendo matemático.

Isso,  $m = F/a$ , é matemático, mas, não tem um sentido físico: **força aplicada à aceleração resulta em massa**. Quase. O que ocorre é um aumento da aceleração e, assim, um aumento na massa aparente (o que chamei de efeito de massa).

Matematicamente,  $e = v.t$  (espaço é velocidade acumulada no tempo),  $v = e/t$  (velocidade é espaço distribuído no tempo – espaço picotado em unidades que chamados de tempo) e  $t = e/v$  (tempo é espaço distribuído na velocidade = espaços picotados). Com o que já sabemos, estas três fórmulas matemáticas ganharam um sentido físico mais reforçado, principalmente a terceira fórmula que, sem nosso conhecimento agora, pareceria a mais fraca, em termos físicos. É claro que, com ela, você não vai conseguir descobrir que hora são agora; você consegue saber quanto tempo vai gastar para percorrer o espaço  $e$  à velocidade  $v$ . Com a primeira você descobre que espaço vai percorrer mantendo a velocidade  $v$  durante uma quantidade de tempo  $t$ .

Sabemos que aceleração são incrementos à velocidade num período de tempo (velocidade é aceleração acumulada no tempo). Assim, percebemos que isso é físico e podemos escrever, matematicamente,  $v = a.t$ . E como  $a$  é velocidade picotada no tempo (velocidade é aceleração distribuída no tempo), podemos, também, escrever que  $a = v/t$ . E, matematicamente,  $t = a/v$ .

Mas, aí tem um problema. Se a velocidade é zero, o espaço percorrido é zero, não importando quanto tempo passar, por  $e = v.t$ . Por outro lado, se a aceleração é zero, a fórmula  $v = a.t$  nos diz que o tempo parou – você está acelerando um objeto que não sai do lugar – ou, no nosso caso, o objeto não vai sair do lugar, não importando quanto tempo passe. O problema é que um objeto pode ter velocidade (50Km/h, por exemplo), por um período de tempo qualquer (2h, por exemplo), sem estar acelerado ( $a = 0$ ) !!! Nesse caso, a fórmula está nos dizendo que  $50 = 0 \times 2$ . Isso é matematicamente falso, mas, fisicamente possível!

Matematicamente não dá para entender, mas, fisicamente: Se o móvel está à velocidade de 50Km/h e não há aceleração (nem positiva: fazendo a velocidade subir para além de 50 e nem negativa: fazendo a velocidade cair para aquém de 50 [desaceleração]) ele vai continuar a 50Km/h pelo período de tempo contado. Nesse tipo de caso, o que os físicos fazem para “consertar” a matemática da coisa: consideram que a velocidade que existia antes de qualquer aceleração é a velocidade inicial (da aceleração). E a fórmula fica assim:

$$V = v_0 + a.t$$

Onde o zero (em  $v_0$ ) seria o tempo ao final do qual a aceleração apareceu (se aparecer).

Apesar de só as fórmulas físicas fazerem sentido, são as relações matemáticas que nos permitem ver algum sentido nas fórmulas físicas.

Vamos pegar as fórmulas físicas anteriores e procurar alguma relação matemática para ver se conseguimos tirar delas novas relações.

$$a = \frac{F}{m} \quad v = \frac{e}{t} \quad e = v.t \quad v = a.t$$

Podemos dizer que  $v$ ,  $e$ ,  $t$  e  $a$  já estão bem relacionadas. Vamos pegar os dois estranhos,  $F$ ,  $m$  e relacioná-los às demais (exceto com  $a$ ):

$$m \text{ o } v \rightarrow \frac{v}{t} = \frac{F}{m} \Rightarrow m.v = F.t \Rightarrow m = \frac{F.t}{v} \quad (1)$$

$$m \text{ o } e \rightarrow \begin{cases} \frac{e}{t^2} = \frac{F}{m} \Rightarrow m.e = F.t^2 \Rightarrow m = \frac{F.t^2}{e} \\ \frac{v^2}{e} = \frac{F}{m} \Rightarrow m.v^2 = F.e \Rightarrow m = \frac{F.e}{v^2} \end{cases} \quad (2)$$

As relações com os melhores significados físicos estão marcadas com amarelo. Daí, para cada relação numerada podemos fazer uma interpretação:

- (1) Força agindo por um certo tempo ( $F.t$ ) equivale a uma massa em velocidade ( $m.v$ ). Isso é o que se chama **Quantidade de Movimento**, ou momentum, em Física, sendo definido por  $p = m.v$ .
- (2) Força agindo no espaço ( $F.e$ ). Pode estar causando um movimento ou estar pronta para isso. Isso é energia (energia cinética no primeiro caso [causando movimento] e energia potencial no segundo [pronta para agir]), sendo definida por  $E = m.v^2$ .

Podemos notar que a equação da energia é a equação do momentum multiplicada pela velocidade:  $E = m.v^2 = m.v \times v = p.v$ . Usando a nossa interpretação física de antes, com a fórmula  $E = v.p$ , podemos dizer que velocidade acumula momentum, principalmente se ela começar a crescer.

Veja o que acontece se substituirmos  $v$  na equação de energia por  $c$ , como representando a velocidade da luz:

$$E = m.c^2$$

Anhan... vai me dizer que você não conhece essa equação?

Mas, tem uma coisa: do jeito que esta equação está escrita temos um problema parecido com aquele da aceleração, em que  $v = a.t$  (existe velocidade com aceleração zero, mas, esta fórmula fala que não).

No caso da fórmula de Albert Einstein, podemos dizer que um fóton não tem energia alguma, já que para ele  $m = 0$ , o que implica que  $E = 0$ , mesmo que o fóton esteja sempre a 300.000 Km por segundo. Então, essa fórmula tem que ser consertada, como a da velocidade em relação à aceleração foi.

Só que para consertar essa fórmula, alguém queimou muitos neurônios e teve que vir com um conceito que tem lógica, mas...

Primeiro, vamos entrar de sola no conserto da fórmula, depois eu explico a lógica por trás da coisa.

É melhor chamar  $E$  de energia resultante ( $E_R$ ) e reescrever a fórmula de Einstein assim:

$$E_R = c.m_p + c.m_n$$

Onde  $m_p$  e  $m_n$  são as massas positiva e negativa, respectivamente. O que? Massa negativa?!

Assim, podemos dizer que, em um fóton, as massas estão em equilíbrio, em vez de dizer que ele não tem massa. **Isso é importante, muito importante, pois nos leva, de novo, a deduzir que a massa é um efeito e não algo absoluto.**

Claramente, um fóton tem energia, e tem velocidade. Ele tem energia cinética, que é definida por:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Ora, mas isso é, exatamente, o acúmulo de momentum (quantidade de movimento). Vou usar integral aqui, que é, simplesmente, um jeito de acumular (adicionar) quantidades bastante pequenas, infinitesimais, praticamente invariáveis entre si:

$$\int p = \int m \cdot v = m \cdot \int v = m \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Mas, por que o acúmulo de momento aparece dividido por 2 aí? Porque a energia acumulada contém tanto energia cinética quanto energia potencial (força agindo no espaço causando um movimento ou pronta para isso), ou seja, dois tipos de energia. Energia que não é usada é energia potencial. Se eu usar um montante de energia para causar um movimento (energia cinética), um montante equivalente ficou em falta em algum lugar. Depois que a energia é usada, ela é transformada em outro tipo de energia (no caso, não cinética) e volta a preencher a falta (a energia nunca se perde – sempre se conserva). Daí a divisão por 2 na fórmula. Aqui já exalou um cheirinho sobre energia negativa (veja adiante).

O fóton tem momentum  $p$ , ou aquilo que eu tenho chamado de massa aparente. Com uma massa estática ( $m$ ) e uma massa dinâmica ( $p$ ), reescreveu-se a fórmula de Albert Einstein:

$$E^2 = (m \cdot c^2)^2 + (p \cdot c)^2 \quad (3)$$

Se o objeto não está em velocidade, então  $p = 0$  e:

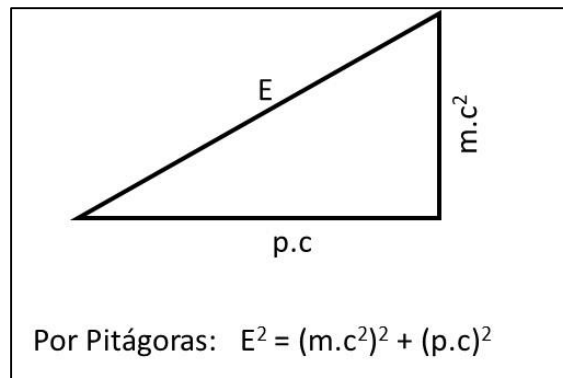
$$E^2 = (m \cdot c^2)^2 + (0 \cdot c)^2 \Rightarrow E^2 = (m \cdot c^2)^2 \Rightarrow E = m \cdot c^2$$

Para um fóton:

$$E^2 = (0 \cdot c^2)^2 + (p \cdot c)^2 \Rightarrow E^2 = (p \cdot c)^2 \Rightarrow E = p \cdot c$$

O que a equação (3) lembra? Lembra  $h^2 = co^2 + ca^2$ : o quadrado da hipotenusa é igual ao quadrado do cateto oposto somado ao quadrado do cateto adjacente. A fórmula de Pitágoras!

Pois é, com isso, você pode visualizar a fórmula (3):



Se você variar cada um dos catetos, levando cada um para zero, por exemplo, vai obter:

Se  $m = 0$ , então  $E = p.c \longrightarrow$  
$$\frac{E}{p.c}$$

Se  $p = 0$ , então  $E = m.c^2 \longrightarrow$  
$$\frac{E}{m.c^2}$$

Como  $c$  é uma constante, você só pode variar  $m$  ou  $p$ .



## A Questão da Energia Negativa

Esta questão tem a ver com a questão do +4 e -4 que vimos lá no início, onde dissemos que -4 não existe fisicamente. Por isso, o “mas...” ali em cima.

A Ciência não acredita na existência de Deus, mas, ao mesmo tempo, como todos nós, sente a necessidade de um originador de tudo e, como nós, sabe que o homem ou qualquer ser que tenha as características dele, é incapaz de criar uma coisa como o universo. Daí é que vem a negação do senhor de roupas longas, cabelos anelados e grande barba branca. Esse cara é muito humano. Se ele existisse, e nada mais ao redor, no início, ele não poderia tirar a matéria do nada ou de si mesmo, nem com mágica. Isso não é uma afirmação provada, é apenas o que a nossa razão nos diz. Ela pode estar certa ou pode estar errada, pois, é limitada e não compreende tudo. Assim, a Ciência entende que o universo, a matéria, a energia enfim, sempre existiu, flutuando entre uma forma que chamamos de real e outra que podemos chamar de virtual, da mesma maneira que o 4 pode flutuar entre o +4 e o -4, matematicamente falando.

Quando o +4 aparece, começa a faltar 4 em algum lugar, ou seja, o -4 aparece no seu lugar virtual. Quando o +4 desaparece, o -4 é preenchido e desaparece também.

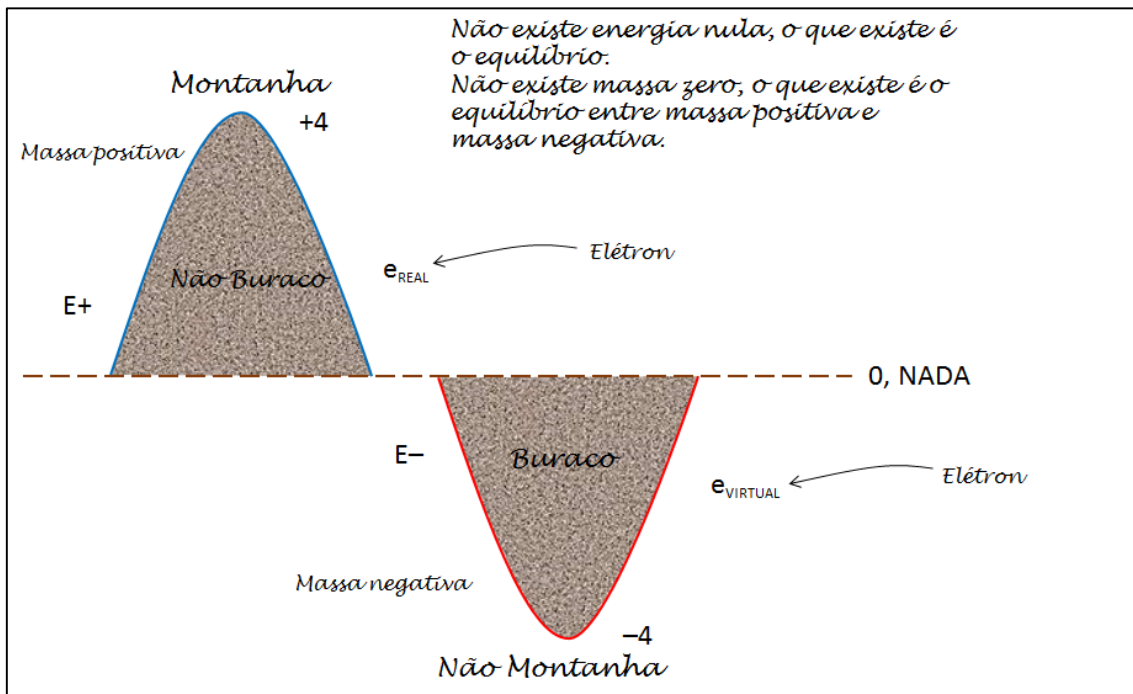
A linha divisória entre os dois estados é o que costumamos chamar de nada, ou podemos chamar de equilíbrio. Na matemática, essa linha é representada pelo 0 (zero), ou nada!

Quando o +4 aparece acima da linha do nada, um -4 correspondente aparece abaixo da linha do nada. Quando o +4 desaparece, o -4 é preenchido e o nada fica completo, se equilibra.

Vamos supor que você é um alienígena que, de repente, se viu num mundo totalmente plano e seja capaz de manipular a energia (todos nós somos capazes disso – afinal de contas você pode cavar um buraco para retirar terra para fazer barro e, com ele, tijolos, ou simplesmente, usa a terra para criar uma barreira de contenção, uma espécie de morro). Com você foi deixada uma pá e, por algum motivo, você precisa se abrigar junto a uma montanha para sobreviver. Como não existe montanha alguma nesse mundo e, também, nenhum buraco, a sua única alternativa é cavar um buraco e amontoar a terra na forma de um morro. Então você faz isso.

Se você fizer esse morro longe do ponto de onde você tirou a terra e fazê-lo do tamanho do Monte Everest, qualquer outro ser que passasse por ali, pensaria: alguém deve ter criado essa montanha, ela não pode ter saído do nada. Mas, pelo raciocínio que estamos desenvolvendo, ela saiu, exatamente, do nada. Não do nada que está na cabeça do passante e nem do nada como o entendemos corriqueiramente, mas, do nada energético, do equilíbrio.

A figura a seguir procura ilustrar isto.



Voltemos, de novo, à fórmula  $F = m.a$ .

Se você aumentar a massa, apenas a massa, a força ficaria relativamente menor, mas, não é isso que a matemática mostra. O que a matemática mostra é o comportamento que a relação física vai necessitar para manter a relação: se você aumentar a massa, uma força maior será necessária para manter o corpo com a mesma aceleração.

Agora veja:  $a = F/m$ .

Se a massa subir, a aceleração diminui; se a força aumentar, a aceleração aumenta. Aqui, Matemática e Física concordam. Mas, não é sempre que isso fica claro assim. Você tem que ser capaz de interpretar, exatamente, o que a Matemática está dizendo.

Brasília – Maio/2015.