

De XXS a XXL

a física das escalas de vida

Gonçalo Figueira



Raios misteriosos que encolhem pessoas até ficarem pequenas como um dedal, ou radiações nucleares que as fazem ficar enormes como um arranha-céus... será possível?

Como seria se, de repente, o nosso corpo começasse a aumentar até ficarmos com o dobro da altura? Será que tudo ficava na mesma, e apenas veríamos as coisas de um ponto de vista mais alto? E ficaríamos mais fortes, ou mais fracos? Para responder a estas perguntas usamos a física aplicada à biologia – porque mesmo uma estrutura aparentemente robusta como um corpo humano só funciona se obedecer às leis da física. E essas leis não mudam, mesmo se o tamanho do corpo muda¹. Vamos então ver quais seriam as consequências se conseguíssemos mesmo crescer ou encolher por magia.

O nosso corpo pode ser definido através de certos *comprimentos*, como a altura, a largura dos ombros, ou o diâmetro da cabeça. Também pode ser definido por *áreas*, como a superfície de pele ou a secção dos membros. Ou por *volumes*, como o volume total do corpo, ou a capacidade dos pulmões. Através da densidade, podemos relacionar os volumes com as respectivas *massas*, outro parâmetro importante: a massa do corpo é aproximadamente proporcional ao seu volume. Por estes exemplos já se pode adivinhar o importante papel que estas dimensões físicas têm no funcionamento do organismo.

Consideremos a Fig. 1, em que está representado um corpo humano junto a um cubo, que usaremos como referência.

Vamos admitir que o cubo tem um comprimento de uma unidade; assim, a área de cada face é $1^2 = 1$, a área total é 6 (soma das áreas das seis faces) e o volume é $1^3 = 1$. Podemos dizer que a *razão entre área e volume* é 6. Imaginemos agora que o corpo e o cubo aumentam uniformemente até ficarem com o dobro da altura (ver Fig. 1). Isto significa que todos os comprimentos cresceram de um factor de 2. Mas as áreas, que são proporcionais ao quadrado dos comprimentos, crescem de um factor de $2^2 = 4$. E os volumes, proporcionais ao cubo dos comprimentos, crescem de um factor de $2^3 = 8$. A tabela em baixo mostra os valores destas grandezas num caso e noutra.

	Altura = 1	Altura = 2
Comprimento	1	2
Área total	$6 \times 1^2 = 6$	$6 \times 2^2 = 24$
Volume	$1^3 = 1$	$2^3 = 8$
Razão área / volume	$6/1 = 6$	$24/8 = 3$

¹ Isto é um exemplo simples de um conceito importante em física chamado “invariância de escala”.

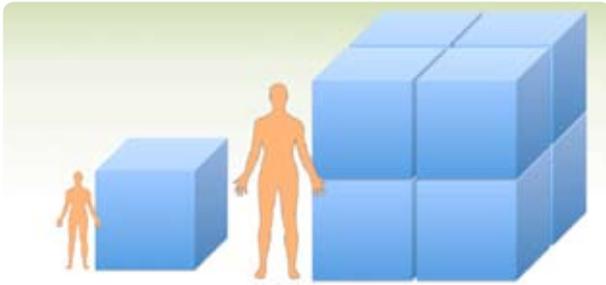


Fig. 1 - Quando muda a altura, mudam também a área e o volume.

O que se alterou?

- Olhemos para o volume: este resultado significa que, apesar de termos crescido apenas para o dobro, o nosso volume total – e, portanto, a nossa massa – aumentou oito vezes! Isto quer dizer que temos os braços ou as pernas oito vezes mais pesados, e é preciso fazer mais esforço para algo tão simples como levantar uma mão, uma perna, ou mantermo-nos em pé.

- Claro que isto não será um problema se a nossa capacidade física também tiver aumentado nessa proporção. Mas a força que um osso ou um músculo têm de suportar é proporcional à sua área (secção) transversal, e esta apenas aumentou quatro vezes (ver Fig. 2): para compensar o aumento de massa, teríamos que fazer o dobro do esforço, e ficaríamos assim com a sensação de ter o dobro do peso – um pesadelo para quem seja adepto de *fitness*. Este resultado deriva directamente do facto de a razão entre a área e volume ter passado para metade – isto ilustra bem como este parâmetro é importante no funcionamento dos organismos a diferentes escalas.

- Outro aspecto tem a ver com o equilíbrio de temperatura do nosso corpo. A nossa pele está constantemente a trabalhar para garantir que, esteja frio ou esteja calor, o interior do corpo está sempre aproximadamente à mesma temperatura, o que é essencial para a nossa sobrevivência. O corpo produz calor numa taxa proporcional ao volume, enquanto a extensão da pele é proporcional à área. Como a razão entre área e volume passou para metade, a nossa pele teria que trabalhar *duas vezes mais rapidamente* para conseguir manter o equilíbrio térmico. Isto daria a sensação de um calor intenso, provocando uma grande quantidade de suor.

Ou seja, passar para o dobro da altura apenas faria de nós um gigante pesadão e cheio de calor, a mexer-se com dificuldade – nada que tenha a ver com um super-herói aos saltos por cima dos telhados...

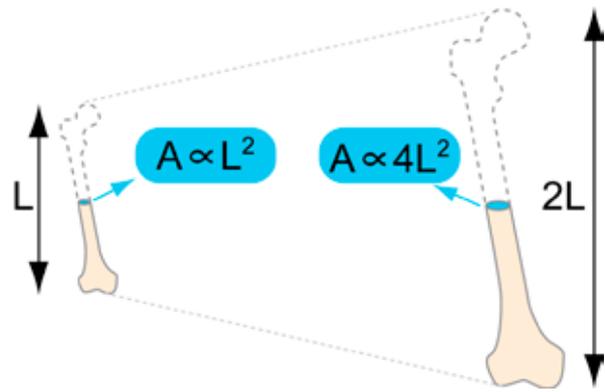


Fig. 2 - Secção de um osso: dobro do comprimento, quádruplo da área.

E que tal tentar o contrário, isto é, encolher – será que ficaríamos dotados de super-força e agilidade? Vamos ver o caso algo mais dramático de uma pessoa que encolhe até ficar apenas com um décimo do seu tamanho, isto é, pouco menos de um palmo de altura. A tabela seguinte mostra quais seriam os valores neste caso.

	Altura = 1	Altura = 0.1
Comprimento	1	0.1
Área total	$6 \times 1^2 = 6$	$6 \times 0.1^2 = 0.06$
Volume	$1^3 = 1$	$0.1^3 = 0.001$
Razão área / volume	$6/1 = 6$	$0.06/0.001 = 60$

E agora, o que aconteceu?

- A massa diminui mil vezes: um homem de 80 kg ficaria com o peso de um telemóvel dos levezinhos. Mas a razão área-volume aumenta dez vezes. Logo, ficamos com a sensação de sermos dez vezes mais leves e mais fortes, o que é bom. Também ficamos com a capacidade de dar grandes saltos e cair de grandes alturas sem nos magoarmos, dado que a resistência do ar e o peso reduzido permitem amortecer as quedas.

- Por outro lado, o corpo perde calor dez vezes mais rapidamente, pelo que precisa de aumentar as fontes de energia. Uma pessoa deste tamanho teria que comer quotidianamente o equivalente ao seu peso, só para se manter viva. E passaria boa parte do tempo a dormir, para economizar recursos. Ou seja, a extraordinária capacidade física seria de pouca utilidade.

- Os sentidos seriam fortemente afectados. Por exemplo, no caso da visão, os olhos seriam relativamente minúsculos, com a área da pupila cem vezes mais pequena – praticamente o mesmo que ser míope e estar às escuras. O mesmo em relação aos tímpanos, orelhas e a capacidade auditiva destes. E a voz? Com as cordas vocais dez vezes

mais curtas e com uma área cem vezes menor, teríamos que nos esforçar para conseguir emitir apenas uns guinchos extremamente agudos, já que seria impossível falar no registo normal de voz. De qualquer modo, com um volume cerebral mil vezes mais pequeno também não seria de esperar que disséssemos alguma coisa inteligente...

Pode-se pois concluir que um homem-miniatura teria uma vida bastante complicada, já que o nosso corpo não se conseguiria adaptar às exigências de ser pequeno.

Em conclusão, cada escala de vida está equipada de acordo com as necessidades da física e da biologia adequadas ao seu tamanho. Não se pode simplesmente mudar sem destruir completamente o equilíbrio do nosso organismo. Assim, mesmo se virmos monstros gigantes nos filmes, não vale a pena encolher de medo...

Para saber mais:

Michael C. LaBarbera, "The biology of B-movie monsters"
<http://fathom.lib.uchicago.edu/2/21701757/>

George Barnes, "Physics and size in biological systems",
The Physics Teacher 27(4), 234 (1989).

Aplicando os princípios do equilíbrio físico e biológico abordados neste artigo, podes discutir com colegas a explicação para vários factos do mundo animal, por exemplo:

- Porque é que os elefantes têm orelhas enormes relativamente ao seu tamanho? E porque é que são o único mamífero que não consegue saltar?

- Porque é que os ratos e outros pequenos mamíferos estão cobertos por uma espessa camada de pelo?

- Uma formiga consegue levantar uma carga igual ao seu próprio peso, mas o que lhe aconteceria se aumentasse até dois metros de altura?

Gigante e anões no cinema e na literatura

A ideia de seres humanos que aumentam ou encolhem de tamanho (com frequência, em resultado de experiências científicas que correm mal...) já vem de longe e foi por diversas vezes explorada em livros e no cinema. Damos aqui uma breve lista de exemplos significativos.



“As viagens de Gulliver”, de Jonathan Swift (1726)
– O livro conta as andanças e aventuras por variadas terras do navegador Lemuel Gulliver, desde a sua estadia em Lilliput, cujos habitantes não ultrapassam os 12 cm, até à passagem por Brobdingnag, onde os nativos têm mais de 9 m de altura. Apesar de, tecnicamente, Gulliver nunca encolher ou crescer pessoalmente, experimenta os dois extremos da escala.

“Alice no País das Maravilhas”, de Lewis Carroll (1865) – Ao perseguir um coelho branco, a jovem Alice cai pela toca abaixo e entra num mundo mágico de criaturas fantásticas. Ao longo da história, Alice cresce e encolhe várias vezes, ao comer bolos, cogumelos, beber poções, ou mesmo abanar-se com um leque! A pobre menina sofre com tanta

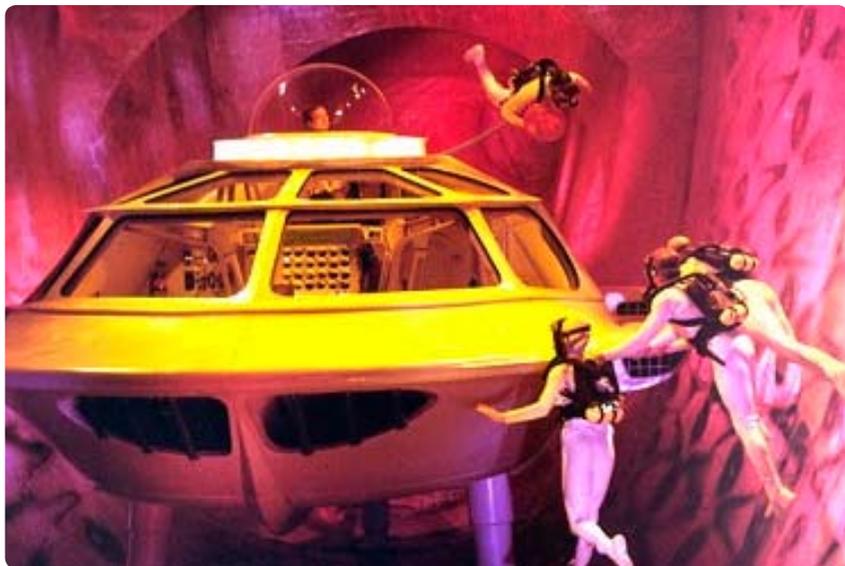


ginástica até aprender a controlar o tamanho. Atenção à nova versão cinematográfica deste clássico, a estrear em 2010!

“Sentenciado” (*The incredible shrinking man*, no original, 1957) – o desafortunado herói deste filme é exposto a lixo radioactivo, o que o faz mirrar até apenas um par de centímetros de altura (nota: não tentem isto em casa – não funciona...). Passa o filme a tentar sobreviver a esta escala, incluindo enfrentar uma temível aranha munido de uma simples agulha de costura.



“Viagem fantástica” (1966) – não só um homem, mas uma tripulação inteira (submarino incluído) são miniaturizados até 1 micrão de tamanho para realizar uma complicada operação ao cérebro. Parece fácil, só que as coisas não correm como previsto, e acabam por andar às voltas dentro do corpo do paciente, a lutar contra as defesas naturais deste. Para complicar, têm apenas uma hora antes de voltarem



ao tamanho normal. O cientista Isaac Asimov até acabou por escrever um livro a partir do filme, tendo algumas dores de cabeça para conseguir conciliar a física com a fantasia...

“O incrível Hulk” (banda desenhada, a partir de 1962) – O Dr. Bruce Banner é um físico (!) calmo, educado e inteligente, que por azar é afectado pela explosão de uma bomba gama durante um teste nuclear. A partir desse momento, fica com a indesejável capacidade de se transformar involuntariamente numa criatura esverdeada de três metros de altura, meia tonelada de peso, e mau feitio. O que mostra os perigos dos físicos desperdiçarem os seus talentos a trabalhar para a indústria de armamento.

“Querida, encolhi os miúdos” (1989) – Em mais um exemplo da física ao serviço da miniaturização da humanidade, um inventor algo des-trabelhado cria um aparelho que emite um “raio electro-magnético encolhe-dor”. Por descuido, o



raio atinge os miúdos – os dele e os do vizinho – que passam assim a ter 1 cm de altura. Quando ele dá as notícias à mulher (daí o título) ela não fica obviamente nada satisfeita. De um modo geral, neste filme as crianças conseguem ser mais inteligentes que os adultos...

“Monstros vs. Aliens” (2009) – (imagem de entrada) Neste divertido e apocalíptico filme de animação, a pobre Susan é atingida por um meteorito em pleno dia de casamento. Isto faz com que absorva uma substância chamada *quantonium*, que a faz crescer descontroladamente, rebotar com o tecto da igreja e tornar-se uma gigante. É capturada e enviada para um centro de investigação secreto, onde conhece outros “monstros” de quem se torna amiga. Em conjunto com eles, acaba por salvar o mundo de uma invasão de *aliens*. Grande Susan!