

Você está neste nível - Um *display* para se explicar a complexidade do material genético desde a célula às bases do DNA

Marcelo Guilherme de Oliveira Dias¹, Adlane Vilas-Boas Ferreira²

¹ Professor Municipal de Belo Horizonte, SMED/BH, Mestrando em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, UFMG

² Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Biologia Geral, Belo Horizonte, MG

Autor para correspondência - adlane@ufmg.br

Palavras-chave: estrutura do DNA, cromossomos e DNA, funcionamento celular, modelos didáticos genéticos, modelo de cromossomo, modelos didáticos celulares



O material, que foi originalmente desenvolvido para exposição em feiras e eventos de popularização da ciência, auxilia na compreensão de uma das questões mais difíceis da Genética: a organização do material genético e os diferentes níveis de observação de uma célula.

Cromossomos, genes, DNA. Para quem estuda genética a relação entre essas palavras é bem estabelecida. É a partir desta relação que muitos outros conceitos como alelos, cromatina, divisão celular e tantos outros, precisam ser explicados. Para um professor de genética muitas vezes, ao preparar suas aulas, percebe que necessita de modelos para auxiliar na abstração que as explicações sobre tais conceitos exigem.

A desconexão entre níveis de organização biológica é apontada como uma das causas para a Genética ser considerada como uma disciplina difícil, ou seja, o estudante ganharia em compreensão se conseguisse relacionar o nível macro (nível do organismo), com o micro (celular) e submicro (molecular). As ideias que fazemos como biólogos ou geneticistas são construídas ao longo de anos de estudos e referências a materiais didáticos, como ilustrações, e estudos científicos. No entanto, não é trivial pensar-se em micrômetros ou nanômetros. Muito menos é simples relacionar as dimensões das estruturas celulares e nucleares com as dimensões macroscópicas. Um curioso livro escrito por Ron Milo e Rob Phillips chamado *Cell Biology by the numbers* (Biologia Celular em números) traz uma compilação de números relacionados a vários aspectos das células. Eles nos trazem a informação de que em Biologia temos estruturas tão diminutas como as macromoléculas, na escala dos nanômetros,

até estruturas gigantescas como colônias de cianobactérias nos oceanos que podem ser vistas de satélites nas escalas de milhares de quilômetros. Isso significa que os biólogos lidam com questões e modelos que estão em uma escala de medida de até 15 ordens de magnitude. Se é difícil para o estudante pensar em termos microscópicos, tampouco é fácil pensar em distâncias astronômicas ou grandes números. Assim, vale a pena lançar mão de modelos físicos para se construir mapas mentais que auxiliem na compreensão dos processos celulares.

Pensando nisso é que desenvolvemos um material para exposição em feiras e eventos de popularização da ciência (com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, FAPEMIG) que auxiliasse na compreensão de uma das questões mais difíceis da Genética: a organização do material genético e os diferentes níveis de observação de uma célula. Em sala de aula, observa-se que estudantes de disciplinas básicas e avançadas de Genética muitas vezes falham ao relacionar em um diagrama de cromossomo a posição e a dimensão relativa de genes, alelos, cromatina, bases nitrogenadas etc. Não é um desenho simples de se fazer e tampouco é fácil o delineamento do mapa mental. A Figura 1 mostra um desenho que representa bem esse mapeamento dos níveis de complexidade, embora uma escala de magnitude não tenha sido utilizada.

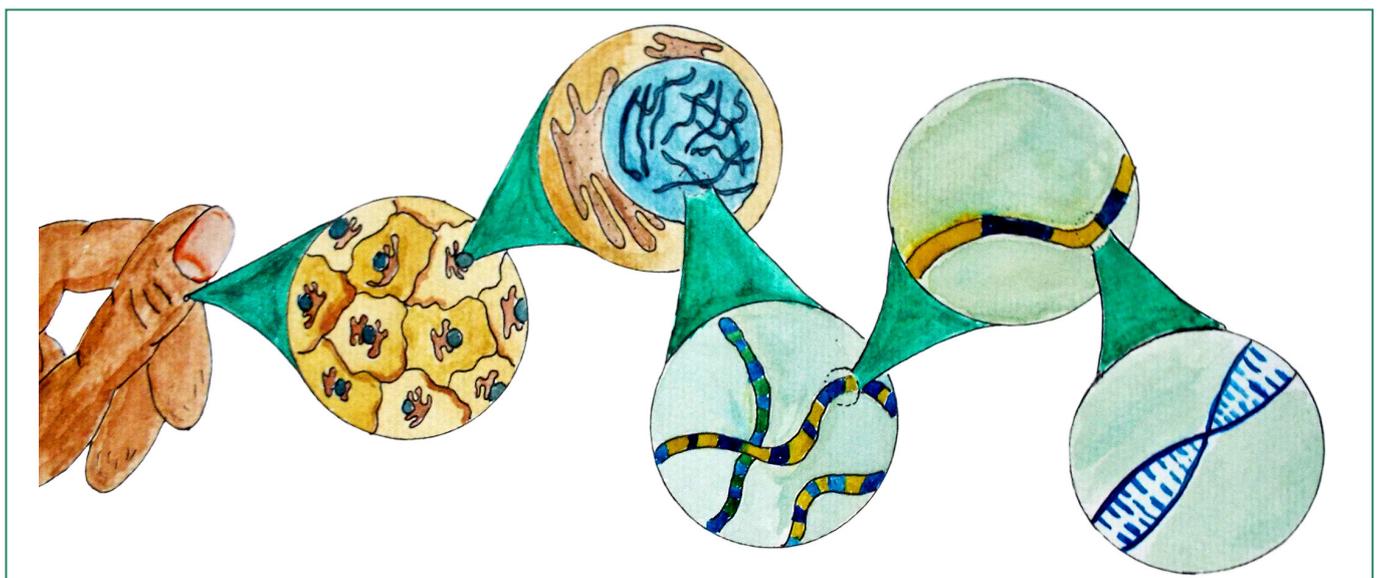


Figura 1. Níveis de complexidade, do organismo ao molecular.

Outra ilustração clássica em livros de Genética é a apresentada na Figura 2, onde a compactação da cromatina é representada e as medidas de cada nível de organização são indicadas, variando de 1400 nm no cromossomo a 2 nm no DNA. As duas figuras trazem uma representação importante, mas quem consegue realmente imaginar o que sejam 1400 ou 2 nm? É uma mudança de até nove ordens de magnitude em relação ao metro, algo muito complicado de ser abstraído. No material desenvolvido achamos que seria

importante não apenas mostrar esses níveis de complexidade, mas também relacionar essas medidas com medidas do próprio visitante ou estudante. Além disso, entendemos que seria importante apontar como essas estruturas podem ser visualizadas e suas dimensões mensuradas. Assim, criamos uma interface gráfica com muitas informações e ilustrações e um modelo tridimensional para cada um dos cinco níveis de complexidade que escolhemos: a célula, o núcleo, o cromossomo, a cromatina, o DNA.

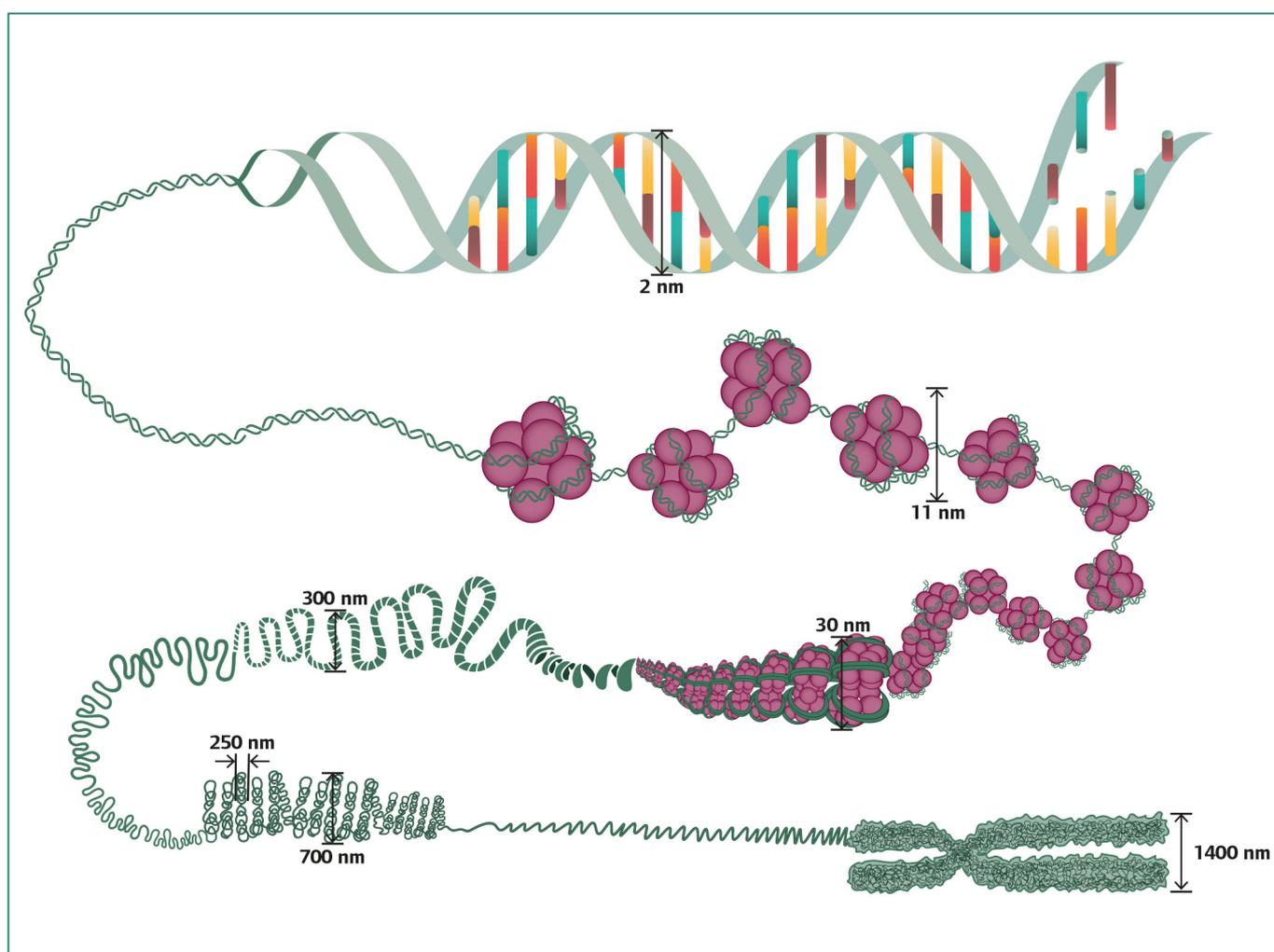


Figura 2.

Níveis de organização da cromatina. Desenhos similares são encontrados em livros do ensino superior.

Construímos um *display* de 1,7 m de altura com cinco abas que permitem ao visitante percorrer os níveis de complexidade subsequentemente da esquerda para a direita (Figura 3). O desenho da Figura 2 aparece no topo de todas as abas com uma seta apontando um dos níveis e com a indicação “Você está neste nível”. Cada aba abriga um modelo que se relaciona com as informações ali contidas que são: 1) indicação do nível de

complexidade da aba; 2) microfotografias de microscopia óptica ou eletrônica - e para o DNA, difração de raio-X; 3) fotografias dos aparelhos utilizados para visualização e respectivas capacidades ou limitações de aumento; 4) relação entre a medida real do componente em questão com o modelo e com a altura do ser humano. Por causa das cinco abas, visto de cima, o *display* faz lembrar a molécula da pentose do DNA.



Figura 3.

Display impresso no material Re-Board®. Recortes foram feitos formando bancadas para que os modelos pudessem ser expostos. Aqui duas das cinco abas estão sendo mostradas.

Além das abas, incluímos a reprodução de foto de um rapaz (um skatista cerca de 10% menor que o tamanho real) que tem uma lupa na região do seu punho para relacionar o nível de complexidade do organismo e o nível tecidual com o restante do *display*. Optamos

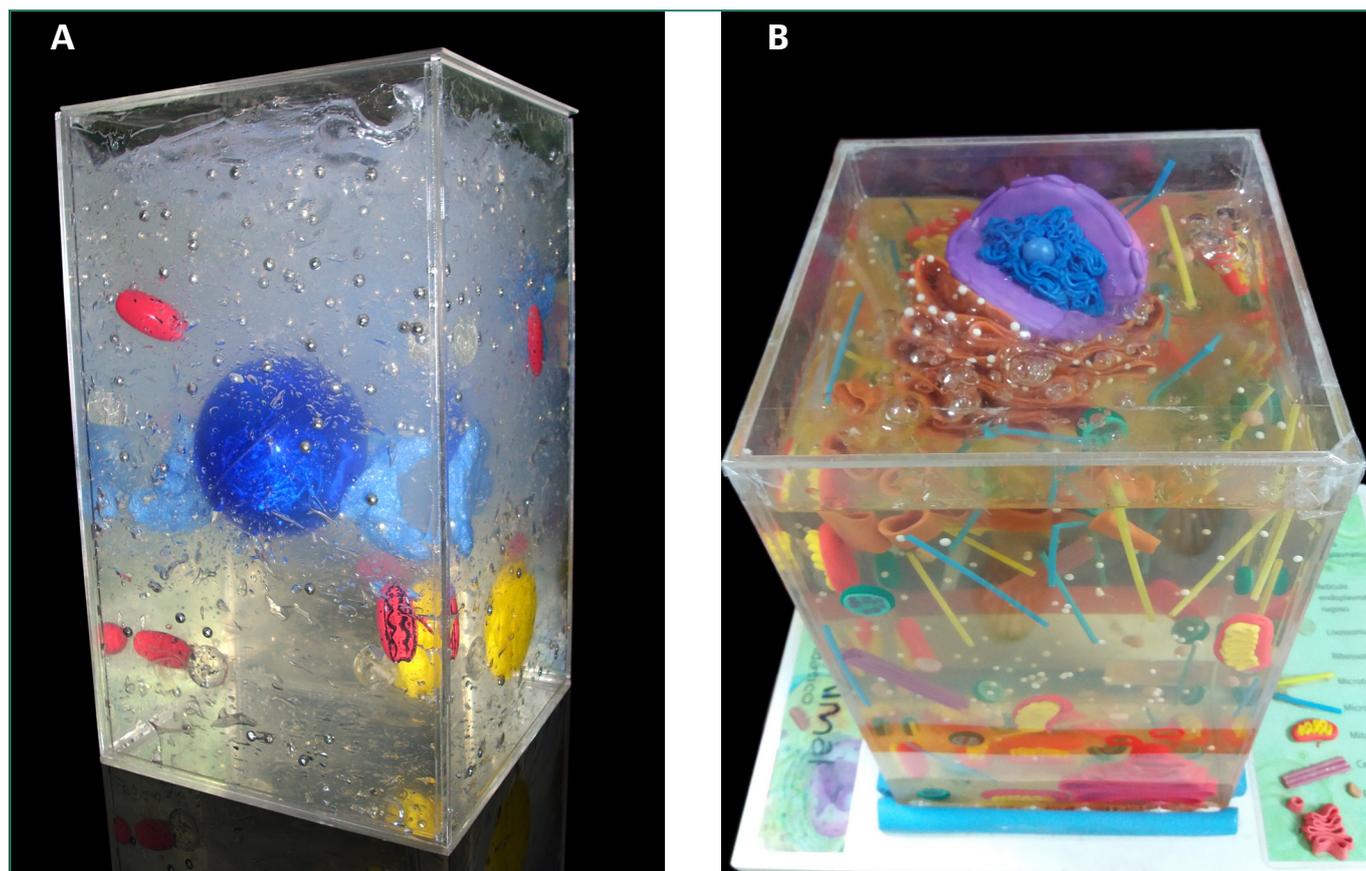
por fazer modelos tridimensionais que estão ilustrados nas Figuras 4 a 9. Seguimos um padrão de coloração atribuindo a cor azul ao DNA em todos os modelos pois, em grande parte das figuras, esse era o corante ou a cor escolhida para representá-lo.



Figura 4.
Skatista – Do organismo à célula. A lupa sobre o braço do skatista exemplifica o nível tecidual.

A célula foi feita em uma estrutura retangular (mesmo que sejam poucos os tecidos humanos que apresentam células nesse formato) pela facilidade de construção em acrílico. Fizemos duas construções desde a primeira exposição em 2011. Na primeira versão, uma caixa de acrílico de 20 x 20 cm e 40 cm de altura foi confeccionada e o preenchimento do espaço interno foi feito com gel de cabelo incolor (Figura 5). As organelas foram representadas por peças para fabricação de colares e esferas, e o núcleo foi confeccionado em acrílico com pedaços de fio de bordar metalizado azul para representar o material genético. Com o passar do tempo, houve contaminação do gel por microrganismos e refizemos

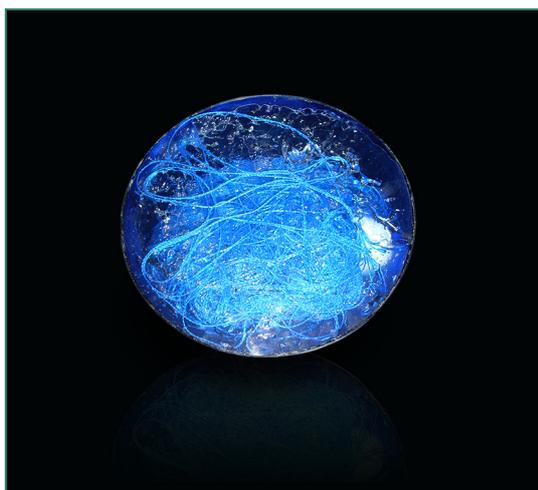
toda a estrutura. Desta vez foi utilizado um gel para velas e as organelas foram confeccionadas com massa *biscuit*. A artista que fez as peças optou por representar as organelas em corte, com representações mais próximas às bidimensionais. Esse foi um ponto de discussão importante pois ao mesmo tempo que um modelo tridimensional pede estruturas tridimensionais, o reconhecimento das organelas pelos visitantes se faz, grande parte das vezes, pela representação bidimensional vista nos livros didáticos. Uma solução é apresentar algumas das organelas em corte e as demais intactas, sendo a cor a indicação para diferenciar umas das outras.

**Figura 5.**

Modelos de célula tridimensional. **A)** Citoplasma em gel de cabelo sustenta as organelas. **B)** Citoplasma em gel de parafina para velas usado neste modelo se mostrou mais duradouro.

Na aba “O Núcleo” (Figura 6) apresentamos um modelo de núcleo partido ao meio onde uma meia esfera de acrílico foi preenchida com

gel de cabelo e pedaços de fio de bordar azul metalizado. Uma bola de 3 cm de diâmetro foi introduzida no gel para representar o nucléolo.

**Figura 6.**

Modelo do núcleo. Meio círculo em acrílico com gel de cabelo e fio de bordar representando o DNA. Nucléolo representado por uma bola (ao fundo à direita).

A aba “O cromossomo” apresenta ao fundo um cromossomo em microscopia eletrônica colorizado em azul. Tivemos a intenção de fazer um modelo que aproximasse desta fo-

tografia e buscamos um material que pudesse indicar o enovelamento da cromatina. Para a confecção do cromossomo, usamos 250 metros (5 rolos) do fio de bordar *soutache* para

fazer “correntinhas” de crochê, que foram enroladas em duas hastes de metal presas posteriormente ao meio e montadas em um suporte de madeira e metal. O resultado foi um modelo de cromossomo com um aspecto brilhante e volumoso (mostrado na Figura 7). Foi importante unir as duas hastes lado a lado (e não as cruzar, como é mais fácil) pois, desta maneira, pode-se denotar melhor a ideia de cromátides irmãs; ao movimentar uma haste, somente um lado do cromossomo se move. Um segundo cromossomo, de maior

tamanho, foi posteriormente confeccionado para representar o par XY. A intenção foi abrir a possibilidade para discutir o porquê do formato em “x” destas estruturas pois observamos que muitos visitantes, ao se depararem com o modelo, referiam-se a ele como cromossomo X. Acreditamos que o ajuste foi importante para apontar que o cromossomo Y também tem a estrutura semelhante à letra x nas preparações de cromossomos mitóticos e que é diferente em tamanho e constituição do seu par X.

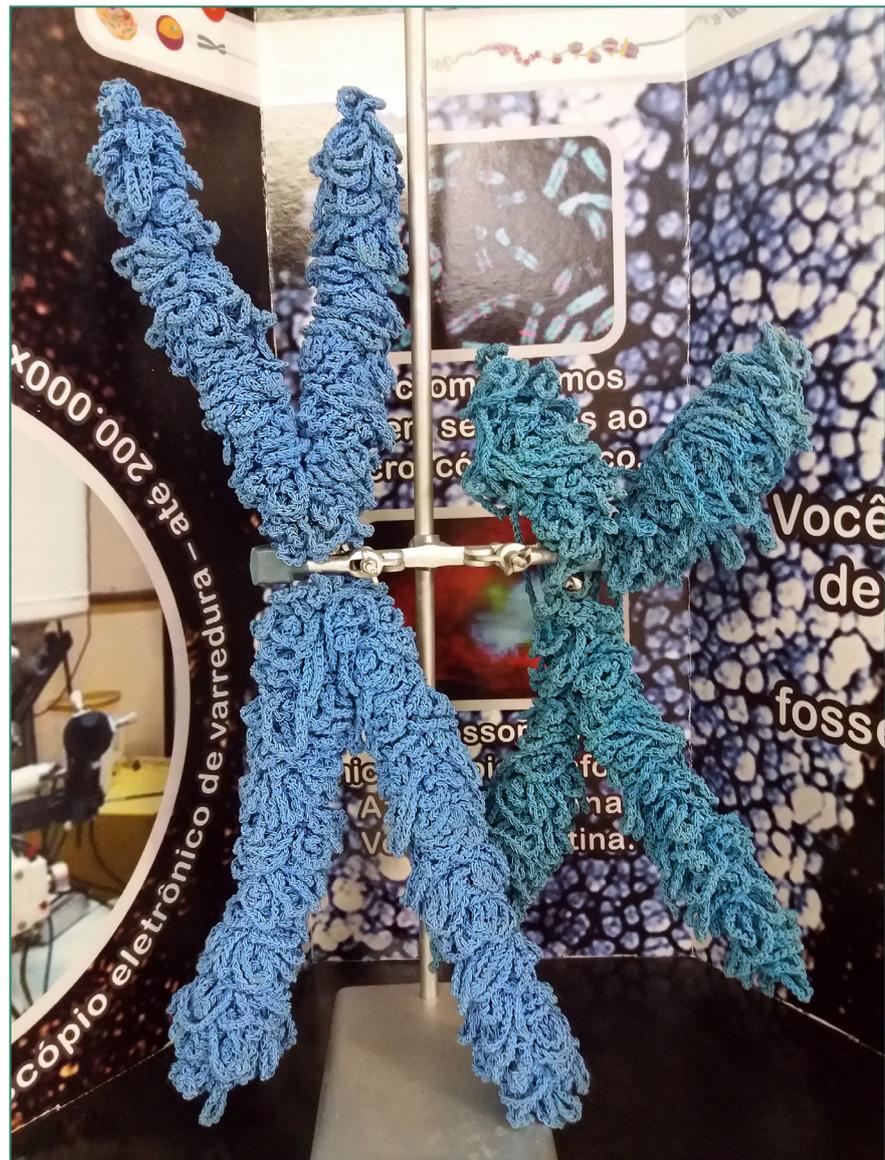


Figura 7. Modelos de cromossomo feito em crochê com fio *soutache*. O da esquerda tem 50 cm e o da direita tem 33 cm. Representam o cromossomo X e Y.

A cromatina foi montada costurando-se algumas bolas de plástico (das que são usadas em piscina de bolinhas) com fio de bordar metalizado (Figura 8). Foi tomado o cuidado de manter um espaçamento entre uma bola e outra para representar os dife-

rentes nucleossomos. Consideramos que a construção de um maior número de nucleossomos traria uma compreensão maior para os visitantes e poderia ajudar na representação do próximo nível de compactação, o solenoide.



Figura 8.
Modelo da cromatina. Bolas (7 cm de diâmetro) representando os nucleossomos ligados por um fio de bordar duplo.

O DNA é uma das moléculas sobre a qual se tem um grande número de ideias de modelos, com material diverso, desde macarrão e canudos a balas de goma. Desejávamos, no entanto, que nossa representação tivesse um impacto visual e, ao mesmo

tempo, permitisse a visualização das ligações químicas, por exemplo, entre as bases nitrogenadas. A confecção das bases em acrílico permitiu criar um modelo atraente, ainda que não tão grande em tamanho (Figura 9).



Figura 9.
Modelo de DNA (30 cm de altura) com peças em acrílico representando os nucleotídeos (em média de 4 cm). As ligações covalentes foram feitas com um fio de cobre flexível - para facilitar o detalhamento das ligações com o grupo fosfato (miçanga) - e as ligações de hidrogênio, com fio de nylon.

Cada modelo foi relacionado com a altura de um visitante de 1,70 m e em cada aba foi colocada a informação: Você teria “X” km de altura se seu/sua (nome da estrutura/organela) fosse do tamanho do modelo, em que “X” era calculado de acordo com as dimen-

sões em questão. Esses cálculos, é claro, tiveram que ser aproximados e se basearam em números descritos na literatura científica. Na tabela 1, apresentamos as dimensões usadas para o cálculo da altura relativa do humano para cada aba/modelo.

Tabela 1.

Dimensões de componentes celulares utilizados para construção dos modelos e do *display*. As duas primeiras colunas representam valores descritos na literatura e os escolhidos como referência. Outras colunas relacionam o tamanho do modelo e sua relação com a altura fictícia (projetada) calculada a partir da relação dimensão real e do modelo. Para o DNA consideramos a largura da fita e do modelo.

	Tamanhos descritos na literatura (nm)	Tamanho considerado (nm)	Tamanho no modelo (cm)	Altura calculada do humano para cada modelo (km)	Altura do humano indicada no <i>display</i> (km)
Célula	10.000-50.000	12.000	45	56,25	60
Núcleo	6.000-22.000	6.000	35	99,16	100
Cromossomo	500-36.000	5.000	50	170	170
Nucleossomo	10	10	6	10.200	10.000
DNA	2	2	15	127.500	120.000

Nossa ideia ao apresentar a tabela é a de que qualquer pessoa pudesse calcular o tamanho projetado do visitante se considerasse o tamanho do modelo à sua frente. Ou ainda, que pudesse desenvolver os seus modelos de acordo com uma regra de três, como no exemplo abaixo, de acordo com o que fosse mais conveniente. O cálculo em questão poderia ser, inclusive, um exercício investigativo interdisciplinar através do qual os estudantes tivessem que descobrir qual seria a própria altura em quilômetros, caso uma das organelas fosse do tamanho do modelo feito por eles próprios ou apresentado pelo docente.

Altura do estudante..... tamanho da estrutura
X (altura projetada) tamanho do modelo

Por exemplo, considerando um adolescente de 1,60 m de altura e um modelo de célula de 40 cm de diâmetro, o cálculo da altura projetada em km seria:

1,60 m..... 12.000 x 10⁻⁹ m (ou 12.000 nm)
x (m) 0,40 m (ou 40 cm)

$x = 0,64 / 12.000 \times 10^{-9} = 53.333 \text{ m ou } 53 \text{ km.}$

Nesta publicação, compartilhamos o projeto gráfico do *display* que pode ser utilizado para impressões em papel, vinil, adesivo, papelão, ou um material especial chamado Re-Board® (disponível para download em <https://1drv.ms/u/s!Aieke8FrKDL0gbZVEArTct0LapsAsA?e=N9NLum>). Tivemos duas expe-

riências de impressão. A primeira em adesivo sobre um painel de mdf. O resultado não foi muito apropriado pelo grande volume e peso resultante da estrutura, além de que o mdf não permitiu a aderência perfeita do material impresso. Dessa forma, em uma outra oportunidade, imprimimos o *display* num material extremamente versátil, o Re-Board®. Infelizmente, por ser um material sueco e com um único representante no Brasil, o preço é bem mais alto que as alternativas que sugerimos. Porém, o resultado é um *display* leve, completamente desmontável, fácil de ser transportado para eventos. O *display* foi apresentado em diversos eventos desde 2011, incluindo o Genética na Praça do 62º Congresso de Genética em Caxambu, sendo visitado por muitos professores e estudantes do ensino básico. Acreditamos que sua replicação pode ser facilmente executada para este mesmo fim ou para escolas que possam investir em um material que fique disponível para seus professores e estudantes. Uma alternativa de menor custo é a impressão do material em papel A4 para manuseio como se fosse um manual ou panfleto. De qualquer maneira, o professor pode usar as informações que disponibilizamos para desenvolver atividades na própria sala de aula com construção de modelos pelos próprios estudantes e usar os cálculos sugeridos para aprofundar e ampliar a sua percepção sobre as dimensões e complexidade do material genético.