

UMA ALTERNATIVA DE EXPERIMENTO VIRTUAL PARA O ENSINO REMOTO UTILIZANDO SIMULAÇÃO PHET DE PINÇAMENTO ÓPTICO

A VIRTUAL EXPERIMENT ALTERNATIVE FOR REMOTE TEACHING USING OPTICAL PINCHING PHET SIMULATION

André Flávio Gonçalves Silva¹, Sabrita Cruz da Silva², Carlos Henrique Moreira Lima³

¹Universidade Federal do Maranhão – Centro de Ciências, Educação e Linguagens, e-mail: andre.flavio@ufma.br

²Universidade Federal do Acre – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, e-mail: sabrita.silva@sou.ufac.br

³Universidade Federal do Acre – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, e-mail: carlos.lima@ufac.br

No ano de 2020, com advento da pandemia, as interações pessoais ficaram reduzidas devido o distanciamento físico. Este trabalho propõe uma alternativa para abordar alguns conceitos físicos utilizando o simulador PhET. A simulação escolhida foi o pinçamento óptico o qual foi o fenômeno físico descrito por Arthur Ashkin ganhador do Nobel de Física de 2018, os experimentos virtuais podem ser aplicados em graduações na área de Ciências da Natureza onde existem a disciplina de Biofísica, Física Moderna e Físico-Química.

Palavras-chave: Pinça Óptica. Biofísica. Ensino de Física

In the year 2020, with the advent of the pandemic, personal interactions were reduced, due to social distance. This work proposes an alternative to address some physical concepts using the PhET simulator. The chosen simulation was optical clamping in which was the physical phenomenon described by Arthur Ashkin, winner of the 2018 Nobel Prize in physics, the virtual experiments can be applied to undergraduate courses in the area of Natural Sciences where there is the discipline of Biophysics, Modern Physics and Physic-chemistry.

Keywords: Optical Tweezers. Biophysics. Teaching Physics

INTRODUÇÃO

Uma alternativa para as aulas experimentais de forma remota é o das simulações educacionais, que podem ser ferramentas altamente envolventes e eficazes para ajudar os alunos¹ de graduações na área de Ciências (Física, Química e Biologia) e Matemática.

No entanto, as simulações devem ser analisadas cuidadosamente e testados. Desde 2002, o projeto (PhET) Interactive Simulations desenvolvido pela University of Colorado, localizada nos Estados Unidos vem desenvolvendo diversas simulações que corroboram, no ensino aprendizagem dos discentes dos ensinos básicos e superiores. O projeto desenvolveu mais de 85 simulações interativas com foco em vários fenômenos físicos, químicos e biológicos, todas disponíveis gratuitamente no site do PhET (<http://phet.colorado.edu>)(PHET, [s. d.]).

Algumas simulações como balões e eletricidade estática, laser, lei de Hooke etc, criam ambientes dinâmicos que assemelham bastante a “videogames” contribuindo para motivar os alunos a utilizar estas simulações no processo de ensino e aprendizagem.

¹ Os termos aluno e professor ao longo do texto não fazem alusão ao gênero.

Neste momento de pandemia sabemos que as famílias estão se adaptando as novas rotinas e o ensino remoto é uma novidade, quanto mais atrativa forem as aulas mais estimulado os discentes ficarão, por isso a importância das simulações interativas.

Estas simulações podem substituir de maneira satisfatória alguns experimentos, já que aulas experimentais em momento pandêmico, não podem ser realizadas presencialmente. As simulações conseguem enfatizar as conexões entre os fenômenos da vida real e os conceitos aprendidos durante a aulas.

Existem animações do universo microscópico e macroscópico, que podemos trabalhar conceitos de elétrons, fótons, campo gravitacional e muitos outros. Um dos aspectos importantes dos experimentos virtuais é que eles não são fechados, ou seja, o discente terá oportunidade de criar hipóteses corroborando para o seu protagonismo na aprendizagem (FREIRE, 2014).

O que há de especial no PhET? Embora existam muitos simuladores científicos disponíveis na web, o projeto foi iniciado pelo Prêmio Nobel Carl Wieman especificamente para melhorar a maneira como a ciência é ensinada e compreendida, criando animações que são alinhadas e avaliadas por meio de pesquisas educacionais. (WIEMAN; ADAMS; PERKINS, 2008).

Cada simulação é desenvolvida por uma equipe de cientistas, engenheiros de software e educadores. Embora o PhET possa ser usado de várias formas, as simulações são projetadas especificamente para induzir os estudantes a pensar como um “cientista” de uma forma atrativa e estimulante.

O pinçamento óptico em 1969, descoberto por Arthur Ashkin levou o mesmo a se laureado com Nobel de Física 2018 (LIMA, 2020). Desde o início de sua descoberta e devido as suas características, as pinças ópticas foram e ainda são aplicadas no estudo de vários sistemas biológicos.

Este aparato experimental já existe sua simulação no PhET, mas não traz informações suficientes para obtermos um gráfico curva por extensão. Um dos objetivos deste artigo é mostrar um protocolo experimental para facilitar esta abordagem, com isso o docente poderá trabalhar conceitos físicos e biológicos com seus discentes em disciplinas como Laboratório de Física Moderna, em que temos a interação luz matéria, biofísica, física molecular e outras facilitando a interdisciplinaridade.

REFERENCIAL TEÓRICO

As pinças ópticas, também conhecidas como armadilhas ópticas, revelaram-se como um instrumento poderoso, com amplas aplicações em Biologia e Física (STELLAMANN et al., 2015).

De maneira geral, a pinça óptica consiste em um laser, fortemente focalizado através da objetiva de um microscópio, que ao incidir em uma microesfera ou qualquer outro objeto com certa simetria, é capaz de aprisioná-lo, ao transferir momento para este.

Com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell no século XIX, foi possível demonstrar que a luz é capaz de transferir momento para um meio ao incidir sobre este, exercendo assim uma força.

Desse modo, origina-se um dos “braços” do fenômeno do pinçamento óptico, quando um laser ao incidir sobre uma microesfera transfere momento para esta por meio de seus fótons, exercendo assim força.

O primeiro conceito intuitivo é a da transferência de momento dos fótons de um raio de luz. Para termos ideia da ordem de grandeza das forças envolvidas no pinçamento óptico, imagine um laser com alguns mW (miliwatts) de potência, incidindo radialmente sobre uma microesfera absorvedora. Cada fóton absorvido possui um momento dado por:

$$\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k} \quad (1);$$

em que \vec{k} é o seu vetor de onda e \hbar é a constante de Planck dividida por 2π . Em módulo, podemos escrever que:

$$p = \hbar k = \hbar \frac{\omega}{c} = \frac{E}{c} \quad (2),$$

c é a velocidade da luz, ω é a frequência angular da luz incidente e $E = \hbar\omega$ a energia de cada fóton. Para n fótons, teremos $E_{tot} = n\hbar\omega = nE$.

A força total exercida por um feixe com n fótons por segundo incidindo sobre a microesfera pode ser obtida a partir da Equação 2. Usando a 2a Lei de Newton, teremos:

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{E_{tot}}{c} \right) = \frac{P_{tot}}{c} \quad (3);$$

em que P_{tot} é a potência do feixe incidente.

Feito isto, podemos estimar o valor da força na Equação 3, como sendo:

$$F_{tot} \approx \frac{1 \times 10^{-3} W}{3 \times 10^8 \frac{m}{s}} \approx 10^{-11} N = 10 pN \quad (4).$$

De fato, em experimentos com pinças ópticas, as forças estão na escala de piconewtons. Podemos observar pela ordem de grandeza da força, que a pinça óptica tem características de manipulação que ajuda no universo micro, como já mencionado.

Calibração da Pinça Óptica

Podemos observar que quando aprisionamos um objeto na pinça óptica, temos um grau de liberdade nas três dimensões, mas será que a força que atua na microesfera tem a mesma intensidade em todas as direções? Ao fazer qualquer tipo de medida usando a pinça óptica o equipamento tem que estar calibrado em relação aos deslocamentos da microesfera (LIMA, 2018).

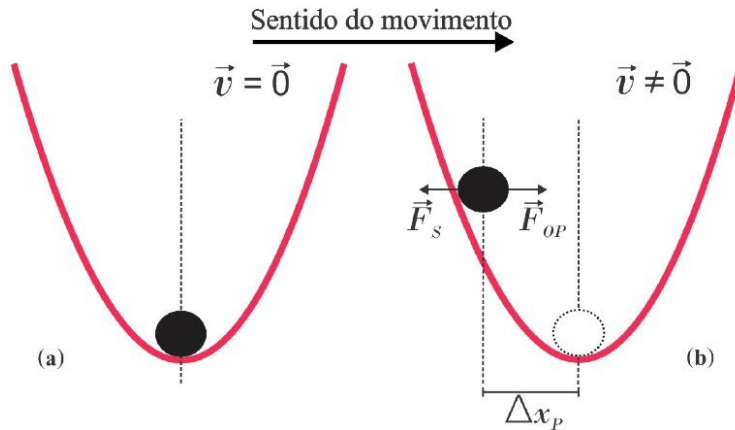
Nesse momento vamos descrever um pouco sobre a teoria de calibração de pinça óptica, que é uma linha de pesquisa ativa, vamos descrever um procedimento clássico de calibração, conhecido como método de Stokes que é usado em vários laboratórios.

Esse método consiste em deslocar a lamínula do microscópio com velocidade v constante e medir a nova posição de equilíbrio da microesfera.

A microesfera é presa no poço de potencial gerado pela pinça óptica, que é um oscilador harmônico browniano, devido ao movimento dentro deste poço de potencial.

A Figura 1a descreve uma situação em que a microesfera se encontra em repouso no ponto de equilíbrio no poço de potencial. Nesse caso, como o piezo que movimenta a lamínula está em repouso, então a velocidade média v da microesfera é nula e, conseqüentemente, a força de Stokes média também é nula.

FIGURA 1 – A Microesfera e o poço de potencial.



- (a) A microesfera encontra-se aprisionada na posição de equilíbrio no poço de potencial.
 (b) Com acionamento do piezoelétrico, a microesfera é empurrada pelo fluido e fica em equilíbrio em uma nova posição no poço de potencial. Nesta posição, a força de Stokes \vec{F}_S é igual, em módulo, à força óptica \vec{F}_{OP} .

Fonte: dos autores.

Como já mencionado, a microesfera presa no poço de potencial da pinça óptica se comporta como um oscilador harmônico browniano, estando sujeito à força óptica restauradora e a força aleatória devido à interação com o fluido.

A Figura 1b, mostra a situação na qual a lamínula se movimenta com uma velocidade constante v , movimentando o fluido no qual a microesfera está imersa.

Esse deslocamento do fluido origina uma força de atrito, chamada de força de Stokes, que faz com que a microesfera atinja uma nova posição de equilíbrio dentro do poço de potencial. Nessa nova posição de equilíbrio a força de Stokes tem o mesmo módulo que a força óptica gerada pelo laser. A força de Stokes pode ser escrita como:

$$\vec{F}_s = -\gamma \vec{v} \quad \# (5);$$

sendo que γ é o coeficiente de atrito viscoso e v é a velocidade. O coeficiente de atrito viscoso sobre uma microesfera em solução aquosa é dado pela expressão aproximada,

$$\gamma = \gamma_0 \left[1 - \frac{9}{16} \left(\frac{a}{h} \right) + \frac{1}{8} \left(\frac{a}{h} \right)^3 - \frac{45}{256} \left(\frac{a}{h} \right)^4 - \frac{1}{16} \frac{a^5}{h} \right]^{-1} \quad \# (6),$$

em que a é o raio da microesfera, h é a distância de seu centro em relação à lâmina, e

$$\gamma_0 = 6\pi\eta_\alpha a \quad \# (7).$$

Neste caso, η_α é a viscosidade da água (meio onde as microesferas se encontram). A viscosidade de um material depende fortemente da temperatura. Podemos determinar o valor da viscosidade da água como função da temperatura usando a equação empírica:

$$\eta_\alpha = 10^{-3} \left[0,26 + 1,51 \exp\left(\frac{-t_c}{29}\right) \right] \quad \# (8);$$

em que t_c é a temperatura em graus Celsius e a viscosidade neste caso é encontrada na unidade $Pa \cdot s^2$. Na nova posição de equilíbrio, mostrada na Figura 1b, podemos escrever que, em módulo, $\vec{F}_{OP} = \vec{F}_S$, ou seja,

$$k\Delta_{xp} = \gamma\vec{v}\# \quad (9)$$

Isolando o termo Δ_{xp} , temos:

$$\Delta_{xp} = \frac{\gamma}{k_x} \vec{v}\# \quad (10)$$

Sabendo o valor da temperatura, a Equação 8 é utilizada para descobrir o valor da viscosidade. O valor do raio da microesfera (a) já vem informado pelo fabricante, é $1,5\mu m$. A altura h é encontrada deslocando-se o foco do microscópio onde, inicialmente, focalizamos o fundo da lamínula e, na sequência, ajustamos o foco do microscópio até a altura h desejada.

Por último, essa altura h é multiplicada pelo índice de refração relativo da água e do vidro, o que fornece o valor real da altura do centro da microesfera em relação à lamínula. Esse método de calibração é aplicável no PhET.

Mecânica de Polímeros

Na física biológica consideramos a molécula de DNA como um polímero semi-fléxivel, ao fazer microscopia de força podemos extrair propriedades mecânicas da molécula e estas informações fornecem características físico-químicas importantes para caracterizá-lo (ROCHA, 2020).

O modelo Worm-Like Chain (modelo Cadeia Vermiforme, em tradução livre) conhecido com WLC, descreve de maneira clara o comportamento elástico do DNA tanto para estiramentos próximos à conformação de equilíbrio, quanto longos à conformação retilínea, porém apenas no regime entrópico (ROCHA, 2020).

O resultado chave do modelo é a expressão analítica para a curva de força versus extensão do DNA no regime entrópico, obtida por Marko e Siggia (1995). Como trata-se de um modelo de extrema importância para o estudo das propriedades mecânicas da molécula de DNA, faremos o tratamento neste regime, na qual a simulação PhET foi desenvolvida.

Vamos apresentar dois conceitos importantes da mecânica de polímeros que corrobora para caracterizar a molécula de DNA.

a) Comprimento de contorno:

É o comprimento do polímero propriamente dito, medido ao longo da cadeia polimérica. Comprimento de contorno de um polímero é a distância ponta-a-ponta quando este encontra-se numa conformação puramente retilínea.

² Pascal segundo.

FIGURA 2 - Representação do polímero semi-flexível

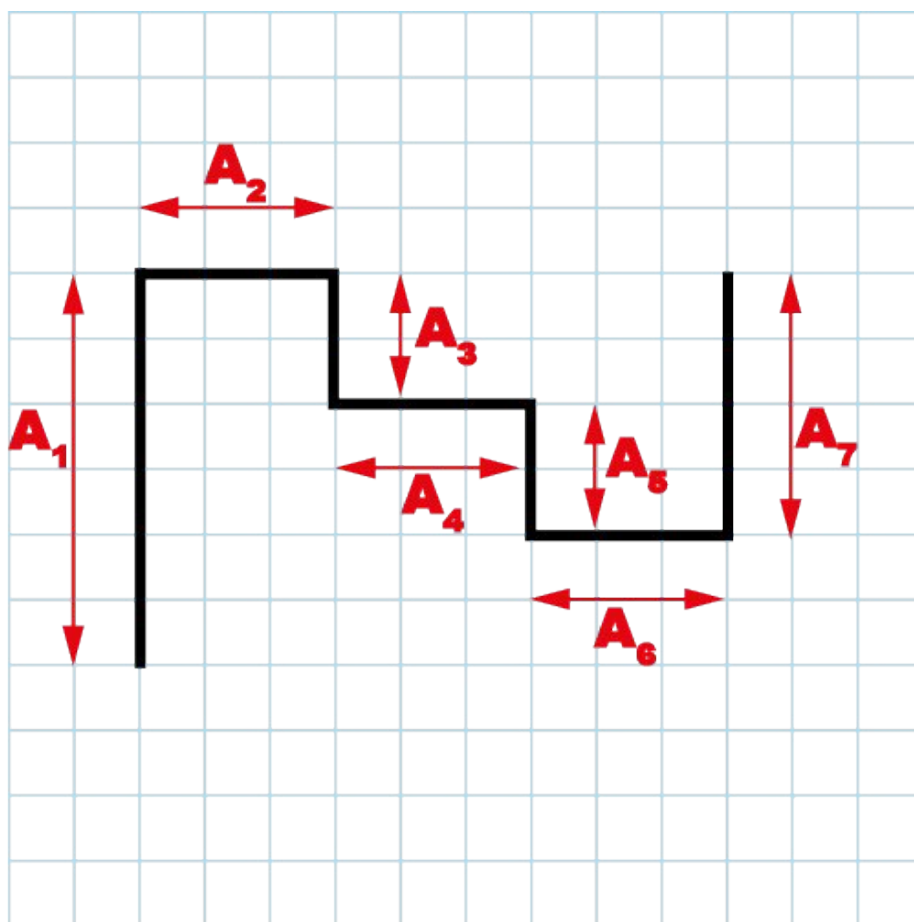


Fonte: Adaptado de (ROCHA, 2020).

b) Comprimento de persistência:

Intuitivamente, o comprimento de persistência pode ser entendido como a distância média entre duas dobras consecutivas ao longo da cadeia polimérica.

FIGURA 3 - Polímero no espaço discreto



Legenda: O comprimento de persistência é a distância média entre duas dobras consecutivas.

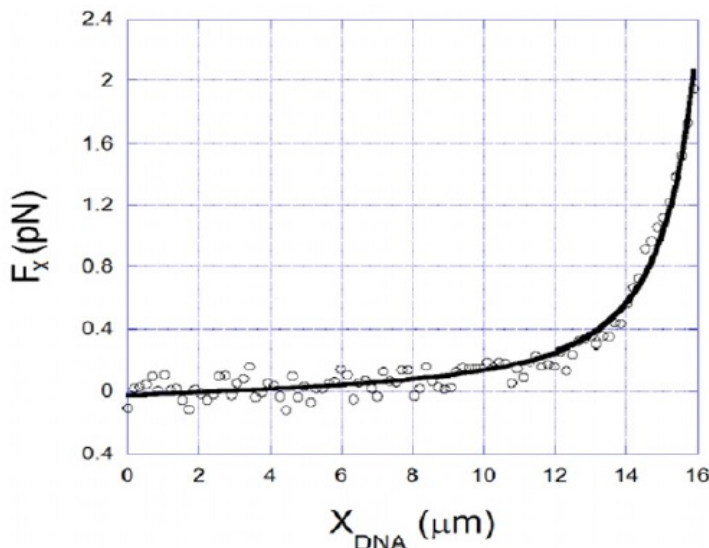
Fonte: Adaptado de (ROCHA, 2020).

Para extrair os dados: comprimento de contorno (L) e comprimento de persistência (A), é utilizado o modelo matemático já descrito neste trabalho que é o modelo WLC, descrito pela equação a seguir:

$$F = \frac{k_B T}{A} \left[\frac{z}{L} + \frac{1}{4 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^2} - \frac{1}{4} \right] \# (11).$$

Na figura abaixo está descrito o gráfico força por extensão na qual o ajuste da curva é feito com modelo WLC.

FIGURA 4 - Curva de força por extensão para uma molécula de DNA do bacteriófago Lambda.



Legenda: Círculos: dado experimental. Linha sólida: ajuste com o modelo WLC.
Fonte: (ROCHA, 2020).

PROCEDIMENTOS DO MÉTODO

A simulação é dividida em dois painéis principais que enfatizam a física das pinças ópticas (Figura 1) e a manipulação de DNA por pinçamento óptico (Figura 2). Essa divisão facilita aplicação da interdisciplinaridade, pois os docentes podem trabalhar os parâmetros físicos do pinçamento óptico e biofísica molecular.

O objetivo deste trabalho é mostrar alternativas de suporte ao ensino e aprendizagem para serem utilizados no ensino remoto, mas sabemos que a interdisciplinaridade no ensino superior é um procedimento pedagógico que os docentes podem e devem aplicar para permitir uma visão global dos aspectos científicos ministrados, corroborando para que o discente tenha oportunidades de aumentar seus conhecimentos (GUIMARÃES; MAGALHÃES, 2016).

Simulação da Pinça Óptica

Os discentes terão oportunidade de observar que o grande protagonista do pinçamento óptico é o laser. O advento do laser ocorreu no final dos anos 50 e o primeiro aprisionamento óptico nos anos 60, a ciência e tecnologia sempre de “mãos juntas” para descrever um conceito abstrato de uma forma concreta (ANGOTTI; AUTH, 2001; SBF: 50 ANOS, 2016).

Os estudantes vão ter a autonomia de ligar e desligar o laser e saber como a “gota” se comporta com a variação da potência, lembrando que o conceito de potência é estudado desde as séries iniciais do Ensino Médio.

Este painel possui opções que permitem os alunos controlar o movimento browniano, que é o movimento realizado pela gota, e poderão observar este fenômeno no vácuo e na ausência vácuo, traçando possibilidades para levantar hipóteses sobre qual cenário é mais eficiente ao aprisionamento.

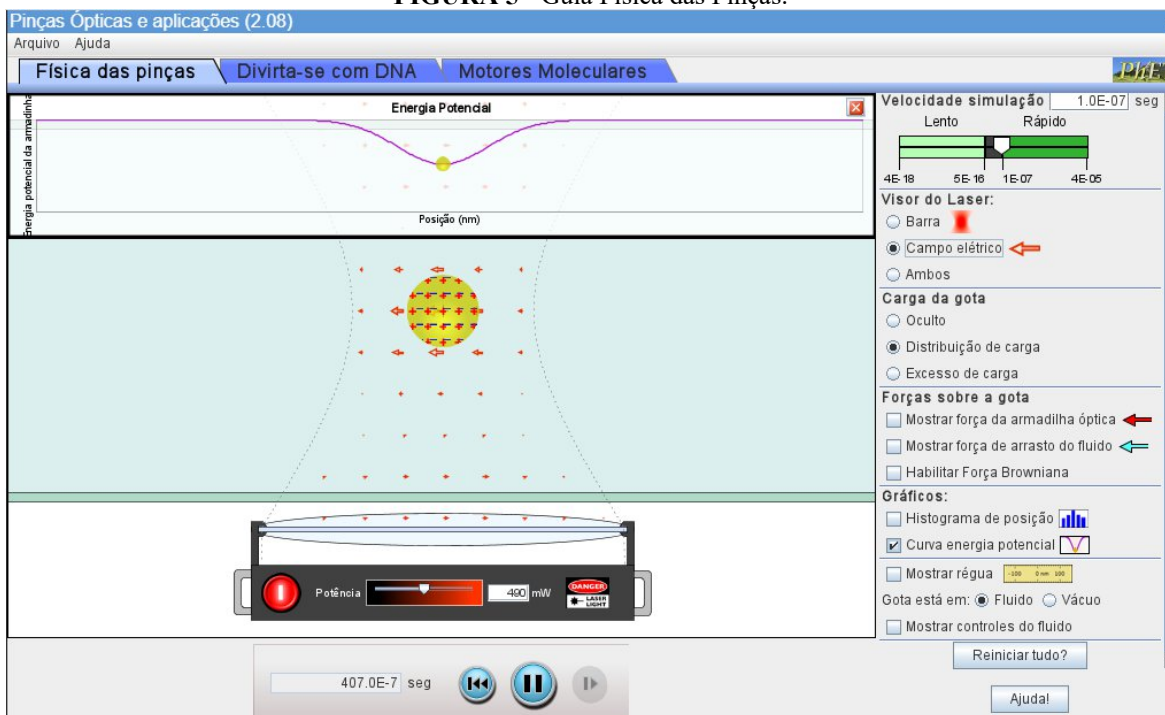
Se a “gota” for neutra ou não, o aprisionamento óptico sempre vai existir? O aprisionamento independe da simetria do objeto pinçado? Estas são algumas perguntas que o professor pode instigar ao estudante, e o discente por sua vez terá toda autonomia para “aprender fazendo” ao utilizar o simulador PHET.

Podemos observar que na Figura 5 permite que os alunos visualizem diretamente o comportamento elétrico da gota, pelos sinais da carga o professor pode trabalhar alguns conceitos de eletricidade como o de carga elétrica.

Em seguida os discentes já vão ter algum tipo de conhecimento prévio (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2011; MOREIRA; MASINI, 1982), para avaliar quais são as condições necessárias numa visão eletrostática para ocorrer o aprisionamento.

O poço de potencial é uma característica marcante em vários fenômenos físicos na qual o professor poderá trabalhar o conceito de oscilador harmônico browniano. No simulador temos a opção de variar a viscosidade do fluido, neste caso o professor poderá propor alguns questionamentos sobre teoria da calibração, força óptica, entropia etc (LIMA, 2018).

FIGURA 5 - Guia Física das Pinças.



Legenda: Nesta captura de tela, a atividade é visualizar as forças que atuam na gota esférica e o comportamento dela ao variar a intensidade do laser, uma vez que a frequência de oscilação dos lasers é muito rápida, o poço de potencial descreve a variação de energia do sistema.

Fonte: (PHET, [s. d.]).

Simulação da Pinça Óptica e Dna

A capacidade de manipular e mensurar o movimento de moléculas biológicas é uma das mais importantes características das pinças ópticas. Um conceito em biofísica, que os alunos têm dificuldade em compreender é a elasticidade entrópica.

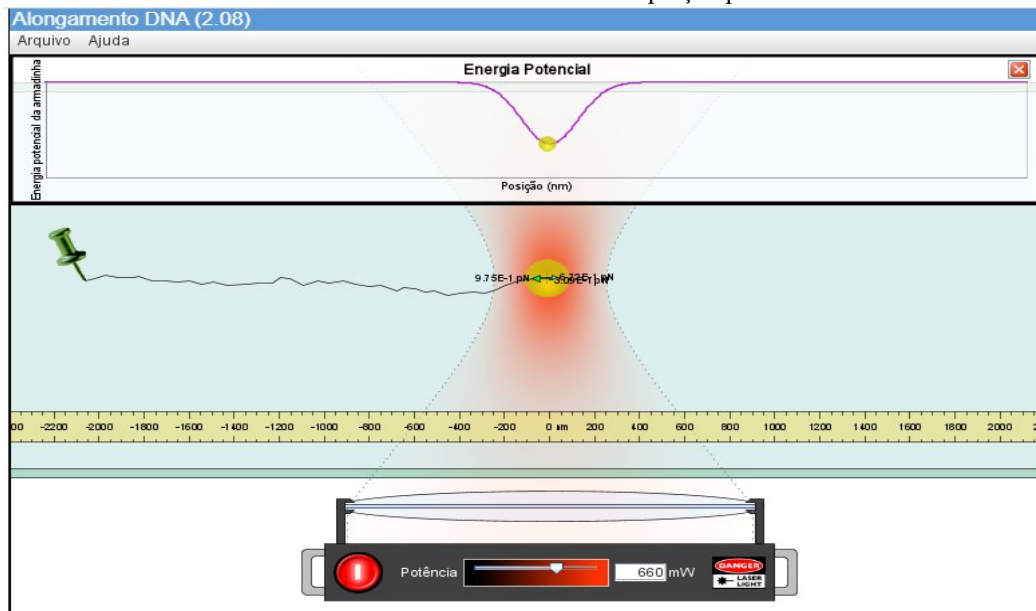
Em outras palavras, a elasticidade do DNA - e polímeros em geral - não surge do alongamento das ligações químicas, mas do alinhamento dos polímeros e da redução da entropia.

Este conceito é frequentemente discutido no contexto das caminhadas aleatórias (*the random walks*) e do número de caminhos que conectam dois pontos, muito semelhantes em que uma molécula de DNA é esticada. As forças de ambas as armadilhas e o DNA são mostradas.

Além disso, a simulação mostra as configurações de flutuação rápida do DNA que são cruciais para um polímero explorar seus estados acessíveis, permitindo que os alunos possam visualizar a entropia reduzida.

O conceito de entropia para alguns alunos pode ser um conceito de difícil compreensão no primeiro momento, o professor pode sugerir uma demonstração simples: que eles coloquem uma luva de látex nas mãos e façam o movimento de esticar e relaxar rapidamente. Eles devem sentir o aquecimento e o resfriamento nas costas das mãos, fornecendo-lhes um método macroscópico para entender o conceito.

FIGURA 6 - DNA esticado com a pinça óptica.



Legenda: O PhET mostra a fita de DNA, a gota em vigoroso movimento browniano e a força do pinçamento óptico.

Fonte: (PHET, [s. d.]

A espectroscopia de força é de extrema importância para caracterizar de forma quantitativa algumas características biológicas, por exemplo, a força necessária para desnaturar um DNA, força de adesão entre um parasita e a superfície de uma célula no exato momento da infecção pode ser observada tanto do ponto de vista mecânico quanto bioquímico.

Outros exemplos de medidas mecânicas com pinças ópticas são a análise de forças de impulsão dos microrganismos, a viscosidade de fluidos e a elasticidade de membranas celulares (STELLAMANN et al., 2015).

Atividades

Os alunos podem se envolver em uma série de atividades qualitativas e quantitativas ao utilizar o PHET como já descritos neste trabalho, vamos dar ênfase em uma das preocupações do cientista ao trabalhar com pinçamento, que é a espectroscopia de força (LIMA, 2018).

Vamos descrever um roteiro para que o docente possa aplicar em aula remota – podendo ser utilizado em aula presencial com os devidos ajustes - em relação ao estiramento da molecular de DNA e obter a relação força por extensão.

Objetivos

- Observar e descrever as características do DNA com a variação da força gerada pelo pinçamento óptico.
- Construir o gráfico da força sobre a extensão do DNA.
- Compreender a técnica de pinçamento óptico como uma técnica de análise de moléculas únicas.

Materiais

- Equipamento com possibilidade de criação e edição de planilhas (ex.: computador, *smartphone*, *tablet* etc.).
- Acesso à internet ou software PhET.

Procedimento

Parte I: Análise da extensão do DNA na ausência do movimento browniano (visão qualitativa do experimento).

1. Vá para https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/optical-tweezers , caso esteja utilizando o arquivo do aplicativo, siga para o próximo passo.
2. Clique em Executar.
3. Desabilite a força browniana e diminua a potência do laser até zero.

Questionário

- I. O movimento da molécula de DNA se comporta de forma estática ou possui algum grau de agitação?

Vamos para uma nova etapa da simulação, clicar na opção: mostrar controles de fluidos, temos duas opções importantes que são: velocidade do fluxo e viscosidade do fluido (nota: a régua pode ser reposicionada clicando nela e também movendo o laser para a esquerda e para a direita).

Sabendo estes novos controles o discente poderá obter resultados “experimentais” através do PhET para construção do gráfico Força por Extensão. Agora o discente poderá gerar uma medida quantitativa. É recomendável que o estudante colete no mínimo 8 pontos. Registrando os dados em uma tabela - a tabela abaixo é uma sugestão – em que temos os seguintes campos: velocidade do fluido, extensão do DNA e a força que atua na gota.

Tabela 1: Sugestão dados experimentais

Velocidade do fluido ($\frac{m}{s}$)	Extensão do DNA (nm)	Força (pN)
--	----------------------	------------

Velocidades sugeridas:

$(50 \frac{\mu m}{s})$, $(100 \frac{\mu m}{s})$, $(200 \frac{\mu m}{s})$, $(300 \frac{\mu m}{s})$, $(400 \frac{\mu m}{s})$, $(500 \frac{\mu m}{s})$, $(600 \frac{\mu m}{s})$, $(700 \frac{\mu m}{s})$, $(800 \frac{\mu m}{s})$, $(900 \frac{\mu m}{s})$ e $(1000 \frac{\mu m}{s})$.

Parte II: Análise dos dados de extensão de força do DNA.

Nesta etapa, será produzido um gráfico da força aplicada *versus* a extensão do DNA. Abra uma planilha e insira seus dados na planilha no formato sugerido acima.

Em seguida, insira um gráfico da extensão no eixo horizontal e a força na vertical. Peça ajuda ao seu instrutor ou outro aluno, caso não consiga como efetuar essa etapa. Compare seus dados com os fornecidos na fundamentação teórica deste artigo.

Responda às seguintes perguntas:

1. O seu gráfico é semelhante ao previsto para o DNA?
2. O DNA se comporta de maneira semelhante ao que se espera de um elástico?
3. O que você julga que é o comprimento do contorno do DNA?
4. Como a extensão do DNA está relacionada com o comprimento do contorno em forças de elevada magnitude?
5. O DNA obedece à lei de Hooke?

Parte III: Efeitos do movimento browniano do cordão.

Habilite a força browniana, faça o mesmo procedimento “experimental” que foi realizado sem habilitação da força browniana e compare os resultados, em seguida descreva suas conclusões experimentais sobre os eventuais resultados, ou seja, se o padrão do fenômeno foi o mesmo ou difere.

A intenção é que o experimento seja aberto para que o discente tenha a oportunidade de tomar decisões e reflexões dos seus próprios resultados obtidos dando autonomia favorecendo a uma aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2011; MOREIRA; MASINI, 1982).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho foi motivado devido a necessidade que os docentes e os discentes se adaptarem ao “novo normal” em que passa pelo o ensino remoto. (MARTINS; ALMEIDA, 2020; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020; PAULA et al., 2021). Este roteiro experimental utilizando a simulação de pinçamento óptico é uma oportunidade para o docente se reinventar devido o forte apelo interdisciplinar do experimento. Também é preciso lembrar que “a Física está na base da tecnologia e o conhecimento físico é importante para a cidadania” (MOREIRA, 2018, p. 77).

A simulação de pinçamento óptico disponibilizada no PhET nos fornece informações bem genéricas dificultando a transposição didática (VILLAÇA, 2007), para sala de aula, este trabalho mesmo não descrevendo uma intervenção em uma disciplina, contribuirá como uma fonte científica em que o docente poderá se guiar e obter resultados significantes para a aprendizagem satisfatória dos seus alunos. Dessa forma, estaremos contribuindo para um ensino em que o discente o protagonista e menos centro no docente. (ARANHA et al., 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das tecnologias nesse momento de pandemia tem se mostrado promissor, mas o seu uso não garante a mesma eficiência com experimento real realizado no laboratório, mas consideramos uma ótima alternativa para o “novo normal em 2020”.

Quando acoplado a metodologias de ensino eficientes, tais como o investigativo, em que o discente passa de um simples receptor e torna-se agente, devendo agir, refletir, discutir, relatar e não simplesmente manipular ou observar, o ganho pode ser promissor.

Diante disso sugerimos o uso do PhET com uma abordagem investigativa como uma maneira de contribuir para o ensino de conteúdos abstratos na área de Ciências Naturais pois, além de proporcionar a interação e a visualização, motiva os alunos, ajudando no processo ensino-aprendizagem.

Esperamos que esta simulação junto com o roteiro seja útil para estudantes de graduação e até de pós-graduação, devido o advento da pandemia, em que o ensino remoto se tornou comum, temos esta alternativa que corrobora para manter o ensino de qualidade.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal do Acre - UFAC e Universidade Federal do Maranhão – UFMA pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANGOTTI, José André Peres; AUTH, Milton Antonio. Ciência e tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. **Ciência & Educação (Bauru)**, Bauru, v. 7, p. 15–27, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n1/02.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- ARANHA, Carolina Pereira *et al.* O YouTube como Ferramenta Educativa para o ensino de ciências. **Olhares & Trilhas**, São Luís, v. 21, n. 1, p. 11–26, 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/olhases trilhas/article/view/46164>. Acesso em: 3 fev. 2020.
- AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. 1. ed. Lisboa: [s. n.], 2003.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 48. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.
- GUIMARÃES, Patricia Baldow; MAGALHÃES, Antônio de Pádua. A importância da interdisciplinaridade no ensino superior universitário no contexto da sociedade do conhecimento. **Revista Científica Vozes dos Vales**, Vales do Jequitinhonha e Mucuri, n. 09, p. 17, 2016. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/06/Patricia.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- LIMA, Carlos Henrique Moreira. **Estudo da interação do intercalante doxorrubicina em condensados de DNA via espectroscopia de força**. 2018. 100 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/20541>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- LIMA, Carlos Henrique Moreira. Prêmio Nobel de Física: O que são pinças ópticas?. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 7, n. 1, p. 78–93, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3264>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- MARKO, John F.; SIGGIA, Eric D. Stretching DNA. **Macromolecules**, [s. l.], v. 28, n. 26, p. 8759–8770, 1995. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma00130a008>. Acesso em: 1 out. 2021.
- MARTINS, Vivian; ALMEIDA, Joelma. EDUCAÇÃO EM TEMPOS DE PANDEMIA NO BRASIL: SABERESFAZERES ESCOLARES EM EXPOSIÇÃO NAS REDES. **Revista Docência e Cibercultura**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 215–224, 2020. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/re-doc/article/view/51026>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **OMS classifica coronavírus como pandemia**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2020/03/oms-classifica-coronavirus-como-pandemia>. Acesso em: 26 ago. 2021.

- MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. 1ªed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73–80, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142018000300073&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 29 ago. 2020.
- MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.
- PAULA, Bruno Souza de *et al.* Elaboração e avaliação da disciplina remota de Física 1 na UFRJ durante a pandemia de Covid-19 em 2020. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, p. e20200518, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172021000100425&tlng=pt. Acesso em: 22 ago. 2021.
- PHET: SIMULAÇÕES EM FÍSICA, QUÍMICA, BIOLOGIA, CIÊNCIAS DA TERRA E MATEMÁTICA ONLINE E GRÁTIS. [S. l.], [s. d.]. Educacional. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em: 17 mar. 2021.
- ROCHA, Márcio Santos. **Interações DNA-Ligantes**: Uma Introdução. São Paulo: Livraria da Física, 2020.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA: 50 ANOS. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2016. *E-book*. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/SBF-50-anos.pdf>. Acesso em: 1 out. 2021.
- STELLAMANNS, Eric *et al.* Optical trapping reveals propulsion forces, power generation and motility efficiency of the unicellular parasites *Trypanosoma brucei brucei*. **Scientific Reports**, London, v. 4, n. 1, p. 6515, 2015. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/srep06515>. Acesso em: 26 set. 2021.
- VILLAÇA, Jacqueline da Silva. **Ensino de ciências e a transposição didática**: uma reflexão sobre o processo de transformação do conteúdo científico para o fazer docente. 2007. 181 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90865>. Acesso em: 4 out. 2020.
- WIEMAN, C. E.; ADAMS, W. K.; PERKINS, K. K. PHYSICS: PhET: Simulations That Enhance Learning. **Science**, Washington, v. 322, n. 5902, p. 682–683, 2008. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1161948>. Acesso em: 4 out. 2020.