



Aerodinâmica de autos para o ensino médio na abordagem dos Três Momentos Pedagógicos

Automotive aerodynamics for high school in Three Pedagogical Moments approaching

Crislan Alves Vieira¹, M.O.C. Pires^{*1} 

¹Universidade Federal do ABC, Centro de Ciências Naturais e Humanas, Santo André, SP, Brasil.

Recebido em 28 de dezembro de 2021. Revisado em 05 de abril de 2022. Aceito em 19 de abril de 2022.

Raramente a dinâmica de fluidos é tratada nas aulas de física no ensino médio. A falta de espaço no calendário do ano letivo, o conteúdo extenso e a ausência de conexões com a realidade do aluno fazem com que a hidrodinâmica e a aerodinâmica sejam pouco discutidas. Contudo, pode-se, com vários exemplos, reconhecer a presença dessas áreas da física no cotidiano do aluno. Desde a sustentação de aeronaves até a pressão de água que sai da torneira, são fenômenos de aerodinâmica e hidrodinâmica vivenciados pelos alunos. Diante dessa ausência, propõe-se levar esse assunto para o currículo das aulas de física dos estudantes de ensino médio através da elaboração de um produto educacional. Dentre os fenômenos, a aerodinâmica de automóveis está presente no cotidiano do estudante permitindo sistematizar o ensino formal dos fenômenos da física de fluidos e promovendo possibilidades em levar questões de sustentabilidade para sala de aula. Com isso, o produto constitui de uma sequência de aula sobre aerodinâmica veicular auxiliada por um experimento de túnel de vento de baixo custo. Para a elaboração desse produto educacional, utilizou-se a metodologia freiriana de ensino conhecida como os Três Momentos Pedagógicos. **Palavras chaves:** Aerodinâmica de autos, Túnel de vento, Três momentos pedagógicos, ensino médio, ensino de física.

The topic of fluid dynamics is rarely addressed fully in high school classes. The absence of this subject in the school year, the extensive content and the lack of connections with the student's reality are features that put aside hydrodynamics and aerodynamics discussion in the classroom. However, the presence of these areas is recognized in the daily life. For this purpose, examples can be cited from the support of aircraft to the pressure of water coming out of the tap. This proposal attempts to include a routine subject for students. The automotive aerodynamics do not surprise the student and, at the same time, it allows to systematize the formal teaching of the phenomena of fluid physics and take the sustainability assumption in account. The proposal constitutes a class sequence aided by a low-cost experiment and a simulator of a wind tunnel. For the elaboration of this proposal, the Freirean teaching methodology known as the Three Pedagogical Moments (3MP) was used.

Keywords: Automotive aerodynamics, Wind tunnel, Three pedagogical moments, high school, physical teaching.

1. Introdução

A física ensinada no ensino médio é, para os alunos, algo muito complexo que a torna desmotivante e desagradável [1]. A quantidade enorme de conteúdo propedêutico (voltado para vestibulares) no currículo, os assuntos desconectados com a realidade, a ausência de experimentos didáticos e de recursos audiovisuais, a falta de licenciados em física nas escolas e o desconhecimento dos professores sobre metodologias e ferramentas modernas de aprendizagem mostram-se um obstáculo para tornar as aulas de física mais próximas do cotidiano do aluno e, portanto, interessantes e motivadoras. Esse cenário é expresso em uma das maiores preocupações dos documentos oficiais como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) [2], PCN+ [3], as Orientações Curriculares para o ensino médio [4] e a Base Nacional Comum Curricular [5]. Nesses documentos constam a

preocupação das aulas darem conta da vivência do aluno, porém a escola não responde a esse propósito. Para ter uma mudança para essa demanda, a dedicação do professor em buscar recursos pedagógicos para tornar o processo mais atrativo e agradável, pode despertar no aluno a motivação necessária e fazer com que o conteúdo a ser ensinado seja significativo e presente ao ponto do aluno poder analisar e criticar outras situações [6].

Em especial, pela experiência dos autores, o estudo de fluidos no ensino médio é um exemplo em que o desinteresse do aluno se manifesta. Na rede particular de ensino, por ser pouco utilizado em questões de vestibulares, percebe-se que o tempo destinado ao assunto no currículo é demasiadamente curto. Isso faz com que os educandos entrem em contato somente com a hidrostática. Na rede pública do Estado de São Paulo não há a menção do assunto no currículo do Ensino Médio [7]. Desse modo, o professor concentra seu curto tempo no princípio de Arquimedes, no princípio de Pascal e na lei de Stevin. São raros os momentos

* Endereço de correspondência: marcelo.pires@ufabc.edu.br

nas quais seja tratada a hidrodinâmica de maneira plena e seja usado experimentos em sala de aula. Como consequência, percebe-se a omissão dos fenômenos de transporte de massa como o efeito de Bernoulli e a ação da terceira lei de Newton nos fluidos.

Essa incompletude sobre o tema limita as práticas pedagógicas que levariam o assunto ao ponto de ser interessante, motivante e realista para os alunos [8]. Como exemplo, a física da hidrodinâmica de fluidos ideais, ministrada de maneira plena, permite dialogar com questões tecnológicas presentes no cotidiano dos alunos como a sustentação dos aviões, o tráfego de embarcações e as estruturas de automóveis.

Para além de estar no cotidiano dos alunos, a dinâmica de fluidos, em especial a aerodinâmica de automóveis, podem estar presentes em narrativas atuais de sustentabilidade [9]. O papel da educação deve levar esses jovens a rejeição de produtos em nossa sociedade que não promovam a sustentabilidade. O respeito ao meio ambiente deve ser fundamental para garantir uma boa qualidade de vida no futuro. Deste ponto de vista, o automóvel é amplamente conhecido como um vilão por emitir gases nocivos ao ambiente. Um modo de reduzir o peso negativo desse produto de consumo é aumentar sua eficiência. Quanto mais eficiente, menos queima de combustível e menor emissão de gases nocivos na atmosfera. Um meio para aumentar a eficiência dos carros é construir carenagens que possuam pequena força de arrasto do ar. Com o arrasto sendo diminuto, exige-se uma menor força para impulsionar o automóvel fazendo com que o gasto energético seja aproveitado da melhor maneira possível. Dessa construção de narrativa, percebe-se a importância da dinâmica de fluidos para a criticidade necessária que a escola deve proporcionar ao aluno.

Com o objetivo de agregar esses conhecimentos aos alunos de ensino médio de forma a dialogar com questões presentes em seu contexto, propõe-se, nesse trabalho, um produto educacional composto de uma sequência didática elaborada através de uma metodologia problematizadora conhecida como os Três Momentos Pedagógicos. E, para dar suporte ao produto educacional, propõem-se um experimento na qual os alunos possam obter parâmetros aerodinâmicos de carenagens de réplicas de automóveis usando um túnel de vento de baixo custo e a utilização sistemática de um aplicativo de celular que simula o fluxo de vento em um túnel na presença de diversos obstáculos.

Para um melhor entendimento da física da proposta, na seção 2 há uma revisão sobre a aerodinâmica de autos destacando os fenômenos de ensino médio que possam ser trabalhados em sala de aula. Na seção 3 tem-se uma síntese da metodologia de ensino usada na sequência de aula da proposta. A sequência de aulas e a atividade experimental são descritas na seção 4 e 5 respectivamente. O trabalho encerra-se com uma consideração final na seção 6.

2. Aerodinâmica de Autos

O carro está presente na vida de qualquer pessoa. O aluno constata a presença do automóvel em suas atividades cotidianas como um meio de transporte, um produto de consumo, estética e prestígio, ou um fator preponderante para questões ambientais. Desse contexto, observa-se que alguns alunos atribuem propriedades mensuráveis ao produto. Como exemplo dessas propriedades, pode-se citar: potência e torque do motor, velocidade máxima que o carro alcança, seu rendimento usando gasolina ou álcool, grau de segurança em colisões e a quantidade de emissão de gases nocivos ao meio ambiente.

Essas propriedades possuem uma considerável dependência do desenvolvimento técnico de aerodinâmica do veículo. Na busca de elementos do cotidiano para promover discussões em temas de física, a determinação dos parâmetros da aerodinâmica veicular permite conectar os conteúdos de hidrostática e hidrodinâmica comumente usados no ensino médio com propriedades ligadas às questões de sustentabilidade. Com essa conexão, os alunos têm a oportunidade de serem críticos e cientes dos avanços aerodinâmicos como forma de melhorar as propriedades do veículo referentes à redução de emissão de gases e consumo de combustível.

Para entender os parâmetros da aerodinâmica veicular, é necessário identificar as forças exercidas no automóvel quando esse se move. Essa análise pode ser feita considerando as forças que atuam em um objeto em movimento imerso em um fluido.

O veículo imerso, quando em movimento, exerce força de contato no ar que o rodeia. Devido a terceira lei de Newton [10], o ar exerce uma força contrária e de mesma intensidade no veículo. Do ponto de vista de efeito hidrodinâmico, o ar age para diminuir a velocidade do veículo ocasionando uma parada do veículo caso não haja uma força propulsora que possa manter o veículo em movimento.

Um modelo simplificado para estimar a intensidade da força devido ao efeito da terceira lei é considerar um corpo de área frontal, A , imerso no ar de densidade de massa, ρ , movendo-se com velocidade, v . Partindo de um instante inicial, passado um intervalo de tempo, Δt , observa-se que o movimento do corpo deslocou uma quantidade de massa de ar, Δm , que estava em repouso e foi acelerada a velocidade do corpo.

Supondo não haver compressão de ar, a massa de ar deslocada é proporcional ao volume deslocado, ΔV , e a constante de proporcionalidade é a densidade do ar. Como o volume deslocado é proporcional a área frontal do objeto em deslocamento, esse volume também é proporcional ao produto da velocidade do corpo e o intervalo de tempo, a massa de ar deslocada pode ser determinada pela expressão,

$$\Delta m = \rho \Delta V = \rho A v \Delta t. \quad (1)$$

Por outro lado, o ar deslocado sofre uma aceleração à força empregada pelo corpo em movimento. Considerando o repouso do ar antes de seu deslocamento, a aceleração pode ser aproximada por,

$$a = \frac{v}{\Delta t}. \quad (2)$$

Pela segunda lei de Newton [10], a força é o produto da massa pela aceleração. Assim, a força exercida pelo corpo no ar que o rodeia, conhecida como força de arrasto, é proporcional ao quadrado da velocidade,

$$F_{D_s} = \rho A v^2. \quad (3)$$

Esse modelo é simplificado pois não se consideram o escoamento de ar pelos lados do corpo seguindo para parte traseira, o aumento da densidade de ar junto a área frontal do corpo e, conseqüentemente, a pressão sobre a área frontal, o vácuo formado na parte traseira do corpo, a turbulência e a viscosidade do ar.

Com o objetivo de aproveitar o máximo desse modelo simplificado, considera-se que a força de arrasto seja proporcional à força de arrasto do modelo. A constante de proporcionalidade é conhecido como coeficiente de arrasto e representa, em primeira aproximação, todos os fenômenos e efeitos que o modelo desconsidera. Com isso, reescreve-se a força de arrasto como,

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2, \quad (4)$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto.

Cada objeto que esteja sofrendo arrasto possui seu próprio coeficiente de arrasto. Os objetos com um coeficiente de arrasto próximo a dois possuem uma aerodinâmica cujo o comportamento assemelha-se ao modelo simplificado. Para aqueles com o coeficiente de arrasto próximo a zero tem-se que as desconsiderações feitas no modelo são tão substanciais ao ponto do ar não exerce força no corpo em movimento.

Em um automóvel, para obter uma velocidade máxima em uma dada potência ou um gasto energético mínimo (menor consumo de combustível) para dada velocidade, procura-se obter um coeficiente de arrasto próximo a zero. Para comparação e relação entre o coeficiente de arrasto e o consumo, os carros das marcas Nissan Kicks e Nissan Versa compartilham a mesma plataforma, o mesmo motor quatro-cilindros aspirado, o mesmo câmbio CVT e as mesmas suspensões. Apesar dessas semelhanças, o coeficiente de arrasto do Kicks é de 0,345 e realiza com um litro de gasolina 13,7 km na estrada. No Versa o coeficiente de arrasto é de 0,315 e realiza com um litro de gasolina 13,9 km na estrada [11]. Ou seja, devido ao coeficiente de arrasto o Versa economiza 1 ml por quilômetro rodado em relação ao Kicks. Com esse exemplo percebe-se a importância dessa constante de proporcionalidade como um dos parâmetros aerodinâmicos usado para determinar propriedades do veículo presentes nas preocupações dos alunos.

O modelo, tratado até então, é muito simplificado ao ponto de não levar em consideração as forças de atrito presentes devido à viscosidade do ar. Ao dividir um fluido em camadas muito finas, a movimentação de uma camada em relação a outra apresenta uma força de resistência ao movimento impedindo-as que escorreguem. Essa força paralela à superfície da camada é proporcional a uma constante conhecida como viscosidade, característica de cada fluido, e a velocidade relativa entre as camadas.

Do ponto de vista microscópico, há dois motivos para ter essa força de atrito. Para um líquido, o motivo principal é a presença de forças de dipolo nas moléculas que compõe o fluido. Por serem atrativas, a interação intermolecular faz surgir uma força restauradora para manter as camadas grudadas. No caso de um gás, como o ar, a interação de dipolo possui um peso insignificante em relação ao movimento balístico das moléculas. Nesse estado da matéria, a viscosidade surge devido à difusão de moléculas entre camadas. Essa troca permite transportar informações sobre o movimento entre as camadas produzindo uma força de resistência ao movimento.

A superfície de um objeto imerso interage com a camada próxima do fluido. A movimentação desse objeto faz modificar essa camada. Esse deslocamento promove a ação de uma força de arrasto devido à viscosidade. O exemplo mais clássico é o movimento de uma esfera imersa em um fluido. A força de arrasto devido à viscosidade sobre uma esfera depende de seu raio, r , da sua velocidade, v , e do coeficiente de viscosidade do fluido, η . A relação é expressa na conhecida fórmula de Stokes,

$$F_{D_v} = 6\pi\eta r v. \quad (5)$$

Não será feito a demonstração da lei por envolver complexas soluções de equação diferenciais derivadas da equação de Navier-Stokes em problemas de contorno. Aos interessados sugere-se a dedução feita por Landau no livros de Mecânica dos Fluidos [12].

Diferentemente da força de arrasto deduzida pelo modelo simplificado na qual depende do quadrado da velocidade e da área frontal, a força de arrasto devido somente à viscosidade é dada pela equação 8 sendo proporcional a velocidade da esfera e ao seu raio. De fato, observa-se, para objetos deslocando-se lentamente, que a força de arrasto depende somente de sua velocidade.

Dependendo da velocidade do objeto submerso, há dois regimes distintos para a força de arrasto. Em baixa velocidade, o papel da viscosidade é fundamental no arrasto e, conseqüentemente, a força de arrasto é proporcional à velocidade. Porém, para velocidades altas, a componente inercial da força de arrasto proporcionada pelo movimento do objeto é maior que a componente viscosa da força de arrasto. Nesse caso, observa-se um outro regime na qual o efeito da terceira lei faz com que a força de arrasto seja proporcional ao quadrado da velocidade.

Um parâmetro em que se possa estimar qual regime de força de arrasto deve-se considerar é a razão entre a força de arrasto do modelo simplificado resultado da terceira lei e a da viscosidade. Para uma esfera de raio r deslocando com uma velocidade v no fluido, essa razão é dada por,

$$\frac{F_{D_s}}{F_{D_v}} = \frac{\rho A v^2 / 2}{6\pi\eta r v} = \frac{\rho v r}{12\eta}. \quad (6)$$

Para razão muito maior que a unidade, tem-se a força de arrasto proporcional ao quadrado da velocidade é mais intensa que a devido à viscosidade. Caso a razão seja muito menor que a unidade, a intensidade devido à viscosidade impera.

De fato, uma teoria mais completa da física dos fluidos requer as equações de Navier-Stoke. Dessas equações obtém-se um número adimensional proporcional a razão 6 denominado como número de Reynolds,

$$\Re = \frac{\rho v d}{\eta}, \quad (7)$$

onde d é uma dimensão típica do sistema. Com o número de Reynolds é possível identificar a mudança de comportamento laminar para turbulento, quando um objeto se move dentro do fluido. O comportamento da força de arrasto proporcional a velocidade do objeto ocorre quando o número de Reynolds é menor que 10. Para quando for entre 10 e 3×10^5 , a circunstância faz com que a força de arrasto seja proporcional ao quadrado da velocidade. Acima de 3×10^5 , a turbulência influencia por demais na força de arrasto não havendo uma relação polinomial entre ela e a velocidade do objeto [13].

Como exemplo de caracterizar o regime de arrasto usando o número de Reynolds, aplicou-se a definição 7 para as condições do experimento sugerido nesse trabalho. Considerando que a velocidade da réplica é de $v = 14$ m/s, sua dimensão de $d = 1$ cm, a viscosidade do ar como $\eta = 1,8 \times 10^{-5}$ Pa e a densidade de massa do ar como $\rho = \rho_{ar} = 1,2$ kg/m³, tem-se o número de Reynolds igual à $\Re = 9,33 \times 10^3$. Ou seja, a réplica sofre uma força de arrasto proporcional ao quadrado da velocidade e, dessa forma, o experimento sugerido permite analisar o arrasto como uma força proporcional ao coeficiente de arrasto.

A força de arrasto contrária ao movimento do veículo não é a única que o objeto sofre ao movimentar-se no fluido. Para além da do arrasto, identifica-se uma força perpendicular ao movimento do objeto. Essa força, conhecida como força de sustentação, tem uma grande importância para o deslocamento do veículo pois mantém o carro estável durante seu deslocamento impedindo que ele “decole” em altas velocidades. Para além da observação dessa força em veículos, ela é responsável pela sustentação de aeronaves. Um panorama sobre esse assunto e sobre o papel da força de sustentação é extensamente analisado por Weltner et al. em [14]. Com o objetivo de completar o assunto das forças

que agem sobre o veículo, seleciona-se dois efeitos que proporcionam a força de sustentação.

A origem da força de sustentação pode ser entendida como uma mistura do efeito Bernoulli e o efeito Coanda. A depender da carenagem do veículo, um automóvel em movimento retilíneo uniforme pode apresentar uma maior velocidade do fluido na parte inferior do carro em relação a superior. Essa observação é evidenciada no caso de um carro possuir um aerofólio. No efeito Bernoulli, essa diferença de velocidade apresenta uma diferença de pressão inversa entre as duas regiões, ou seja, a manifestação do efeito Bernoulli faz com que a pressão seja maior na parte superior do que na inferior. Essa diferença de pressão resulta uma força de sustentação e acarreta no aumento da força na parte superior promovendo uma força de sustentação inversa, também chamada de “downforce”.

O efeito Bernoulli não é suficiente para justificar completamente a força de sustentação. O outro efeito que gera a força de sustentação nos objetos em movimento é conhecido como efeito Coanda. Esse efeito é resultado da ação da viscosidade entre as lâminas de fluido e uma superfície de contato. Em um escoamento laminar (sem turbulência), as lâminas dão-se em um plano caso a superfície em contato com o fluido seja plano. Ao colocar algum obstáculo no fluxo do fluido, as lâminas tendem a acompanhar a forma da superfície do obstáculo devido as forças viscosas entre as lâminas. Desse modo, o obstáculo, ou o objeto imerso no fluido, exerce uma força no fluido de tal sorte que as lâminas acompanham a forma da superfície do obstáculo. Assim, como resultado da terceira lei de Newton, o fluido exerce uma força normal a superfície e contrária ao gradiente de deformação gerado pela superfície no fluido. Exemplos desse efeito estão bem descritos no artigo de Weltmann et al. [14].

A presença do efeito Coanda na superfície dos autos faz com que o desenho aerodinâmico das carenagens dos automóveis seja preponderante para definir, principalmente, a intensidade da força de sustentação podendo afetar e diminuir a força de arrasto. Como resultado, o efeito Coanda pode aumentar a eficiência do automóvel em alta velocidade.

Apesar de não ser o objetivo desse trabalho, é possível verificar que, do mesmo modo que na força de arrasto, a força de sustentação é proporcional ao quadrado da velocidade, a densidade do ar e da área frontal do objeto em movimento [10]. Essa constante de proporcionalidade depende da forma da carenagem e é conhecido como coeficiente de sustentação. Com isso, um dos parâmetros aerodinâmicos que caracteriza as propriedades veiculares é o coeficiente de sustentação dado por:

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho A v^2}, \quad (8)$$

onde F_L é a força de sustentação. O coeficiente de sustentação não tem tanta aplicação prática quando

comparado ao coeficiente de arrasto, porém ele pode ser utilizado para obter o coeficiente de arrasto de maneira aproximada. Sua identificação e utilização serão vistas na seção 5.

3. Metodologia de Ensino

A proposta deste trabalho foi construída de acordo com a dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos. Esta metodologia foi proposta por Demétrio Delizoicov e Jose Angotti [15], com base nas concepções humanista e social de Paulo Freire para a educação.

Na perspectiva freiriana [16], o professor deve ser o mediador entre conhecimento e meio de vivência da realidade do educando. Essa mudança de protagonismo na sala de aula requer que o professor investigue o conhecimento prévio dos educandos. Nessa prospecção desse conhecimento, o educador tem de estar sensível as divergências e os conflitos do conhecimento informal em relação ao conhecimento formal do assunto. Após identificar as divergências e conflitos, o tema prospectado é retomado com os alunos de forma que eles sejam críticos de suas próprias concepções e possam, quando for de seu interesse, apropriar-se do conhecimento formal [16]. Nesse processo, não há imposição do conhecimento formal. Os alunos chegam de forma autônoma a esse conhecimento com a mediação do professor. Ao todo, o aluno aprende de forma crítica e, portanto, significativa, e ensina ao professor como ele pode mediar esse conhecimento formal no espaço sociocultural do aluno. Como resultado, o educador leva consigo as questões e as percepções de mundo daquela comunidade da sala de aula e, por estar próximo ao aluno, tem a percepção de sucesso na aprendizagem.

Inicialmente, Delizoicov aplica o processo pedagógico de Paulo Freire para o ensino de física em uma comunidade de agricultores em Guiné-Bissau. A física formal era totalmente desconhecida para essa comunidade e o ensino tradicional do tema não seria de grande valia para eles. Nessas circunstâncias, Delizoicov desenvolveu uma metodologia em que levava em conta os conhecimentos prévios dos membros da comunidade [17]. Ao obter a informação dos conhecimentos prévios e seus conflitos com o conhecimento formal, foi elaborado o momento da problematização na qual o conhecimento informal não era suficiente para resolver o problema. Desse modo, esses conhecimentos serviram de suporte para aproximar as técnicas primitivas de agricultura ao domínio de técnicas inovadoras de aragem sem que houvesse uma ruptura da tradição da comunidade.

Com o seu trabalho seminal, a metodologia, conhecida como Três Momentos Pedagógicos, foi elaborada. Nela, foi possível promover uma aprendizagem dialogada levando em consideração o conhecimento prévio dos alunos como ponto inicial para novos conhecimentos. O diálogo entre o professor e o aluno é estabelecido pela problematização de situações na qual o conhecimento

prévio é insuficiente ou mesmo contraditório para explicar do fenômeno. O conflito entre o conhecimento prévio e o formal torna o processo de aprendizagem mais interessante pois o diálogo coloca-o em uma posição ativa na aprendizagem e crítico em relação ao conhecimento pois o permite criticar seu bom senso pela ciência.

Abordando a proposta empregada na educação humanista de Paulo Freire, os Três momentos pedagógicos [18] são sintetizados em três etapas para a conclusão do processo de aprendizagem: A problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento adquirido no processo.

A problematização inicial é um momento de provocar, no aluno, a insatisfação sobre o conhecimento prévio. Deve ser tratada como o eixo da estruturação do conhecimento que se deseja construir, por intermédio de situações que coloquem o aluno a refletir sobre uma dada perspectiva que ele nunca teve até aquele momento.

Na organização do conhecimento, é apresentado aos alunos, todo o material a ser estudado e discutido na situação inicial de problematização. O professor tem o papel de ajudar o aluno a construir o conhecimento necessário para responder aos questionamentos iniciais e demais questões que possam surgir relacionados aos temas abordados decorrentes das situações problemas.

O último momento é a aplicação e avaliação final de todo o processo desenvolvido de ensino e aprendizagem por esta metodologia. Delizoicov e Muenchen [18] ressaltam a importância de se abordar e avaliar novas situações devendo ser discutidas e compreendidas de maneira satisfatória pelos educandos nesse momento.

4. Sequência de Aula

A proposta para levar o ensino de aerodinâmica de autos para o ensino médio constitui de uma sequência de seis aulas de 50 minutos cada. Essa sequência é descrita abaixo:

- Aula 1 (Momento: Problematização Inicial)
Para primeira aula realiza-se uma introdução à proposta, perfazendo uma preparação aos Três Momentos Pedagógicos. Nessa aula, é explicado o que será feito nas próximas aulas e como será desenvolvido o tema de aerodinâmica de autos. Faz-se uma apresentação aos alunos como será a dinâmica de aprendizagem abordando a proposta, o cronograma e os objetivos.
- Aula 2 (Momento: Problematização Inicial)
Nessa aula problematiza-se e contextualiza-se o tema. Para essa contextualização, aplica-se um questionário a ser respondido em grupo com as seguintes perguntas:
 1. O que influencia na aerodinâmica de um carro?
 2. Quais forças agem sobre o carro enquanto ele está em movimento?

3. Por que o aerofólio tem um design inverso ao da asa de um avião?

Essas perguntas, tem duas finalidades. A primeira é avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os temas que serão tratados na sequência didática identificando as incoerências e apresentando situações problematizadoras em que o conhecimento prévio não consegue explicar o fenômeno. A segunda finalidade é registrar as respostas dos alunos para uma futura comparação com a avaliação qualitativa a ser aplicada novamente ao final da sequência de aulas e, dela, perceber se houve uma aprendizagem.

- Aula 3 (Etapa: A organização do conhecimento)
Nesta aula são apresentados vídeos relacionados às forças aerodinâmicas. É importante a exploração de recursos audiovisuais, para atrair a atenção dos alunos. O recurso audiovisual consiste em três vídeos curtos [19–21]. O primeiro é sobre uma revisão da terceira Lei de Newton, também conhecida como a lei da ação e reação, que é base para entender a força de arrasto. O segundo vídeo é sobre a “física da corrida” de automóveis com destaque no aspecto aerodinâmico. O terceiro vídeo é um trabalho de iniciação científica onde o autor expressa didaticamente as ações das forças de arrasto e sustentação invertida nos automóveis. Ao final da apresentação de cada vídeo, promove-se uma roda de discussão com os alunos. Nesse diálogo, além de destacar os pontos importantes apontados nesse trabalho na seção 2, retoma-se os pontos incongruentes da aula anterior e formaliza o conhecimento necessário para explicação do fenômeno.
- Aula 4 (Etapa: A organização do conhecimento)
Nesta aula há um aprofundamento teórico do tema apontando para a identificação da força de sustentação e da força de arrasto sobre o objeto movendo-se no fluido. A abordagem deve dialogar com os conceitos apresentados na aula anterior e obter os coeficientes de sustentação. Para além dos dois parâmetros aerodinâmicos, a sistematização teórica conduz o diálogo sobre o comportamento de corpos imersos em fluidos em movimento e a sua importância para a aerodinâmica veicular. Desse modo, mostra-se como a física tem uma importância fundamental na determinação do comportamento aerodinâmico destacando as implicações de sustentabilidade ambiental.
- Aulas 5 (Momento: A aplicação do conhecimento)
Nessa aula é desenvolvida uma atividade experimental com o objetivo de se avaliar o conhecimento sintetizado e organizado ao longo das etapas anteriores do processo. Para uma melhor abordagem, a atividade experimental a ser desenvolvida está descrita na próxima seção. É necessária uma orientação inicial dos objetivos da atividade e de sua

execução. Sugere-se que a atividade seja feita em grupos de três alunos. Ao final da aula, os alunos aplicam seu conhecimento na atividade prática.

- Aula 6 (Momento: A aplicação do conhecimento)
Retomam-se as questões feitas na primeira aula, porém sendo respondidas em uma roda de discussão com a participação de todos. Essa segunda avaliação tem como foco identificar a capacidade e as habilidades com temáticas relativas aos temas abordados nesta proposta.

5. Atividade Experimental

A atividade experimental faz parte da sequência de aulas. Para a proposta pedagógica, essa atividade tem como objetivo avaliar quanto os alunos conseguem aplicar do conhecimento sistematizado e organizado ao longo do processo. Para esse propósito, a atividade experimental encontra-se na primeira parte do Terceiro Momento Pedagógico de modo a contemplar os objetivos do produto de motivação e posicionamento crítico dos alunos frente ao assunto.

O experimento consiste em um túnel de vento de baixo custo projetado para estimar o coeficiente de arrasto para protótipos de automóveis em escala 1:64. A experimentação pode ser feita na própria sala de aula sem necessitar de um laboratório de física e tem, como propósito, a participação do aluno individualmente ou em grupo. Nessa participação, os alunos têm a oportunidade de manusear o túnel de vento, escolher os protótipos e determinar seu coeficiente de arrasto de modo autônomo e consciente desde que tenha passado pelas etapas anteriores do produto educacional.

Pensando em baixo custo, usam-se materiais comuns e acessíveis a qualquer pessoa (veja Figura 1). Montase acima de uma balança digital de alta precisão um túnel de acrílico transparente aberto nas duas laterais onde o vento possa atravessar e o protótipo possa ser colocado dentro dele. Para a construção do túnel são



Figura 1: Materiais utilizados para o experimento.

Tabela 1: Materiais usados no experimento e o custo médio de cada componente.

Material	Custo médio (R\$)
Balança digital de precisão	30,00
Placa de acrílico	20,00
Fita adesiva	10,00
Anemômetro digital	80,00
Secador de cabelo	40,00
2 Protótipos HotWhells	20,00
Régua de 15 cm e calculadora	10,00
Total	210,00

necessários três placas de acrílico de 15 cm × 12 cm com 2 mm de espessura e fita adesiva para fixação. Caso não tenha acesso a esse material, sugere-se a utilização de uma garrafa PET retirada as pontas de forma a ter a passagem do vento e cortada na lateral para se ajustar nas laterais da balança. Para o vento, usa-se um secador de cabelo apontado para uma das aberturas do túnel. A velocidade do fluxo de ar gerado pelo secador é determinada por um anemômetro. Calçando um modelo miniatura de um automóvel no centro da balança digital, observa-se a mudança na medida do peso quando o fluxo de ar gerado pelo secador é apontado para o protótipo. Finalmente, para obter informação da dimensão do protótipo e fazer as contas necessárias, é necessária uma régua de 15 cm e uma calculadora de bolso. Na Tabela 1 há material usado e o custo médio de cada material.

O objetivo do experimento é determinar o coeficiente de arrasto para diversos protótipos. Para isso, o procedimento experimental divide-se em duas etapas. Na primeira etapa determina-se, com o uso do túnel de vento a força de sustentação invertida (“downforce”) no protótipo, F_L .

Nesta etapa, após montagem do túnel de acrílico sobre a balança digital, os alunos devem ajustar a tara da balança descontando o peso do túnel de vento. Após o ajuste, posiciona o protótipo na posição central colocando um calço com fita adesiva para que o modelo fique parado durante a passagem do vento. Por fim, mede-se o peso do carrinho, m_c . Com o secador de cabelo ligado, direciona-se o fluxo de ar para dentro do túnel. Nota-se que a balança mede um valor de peso maior, m_s . A diferença de peso, $\Delta M = m_s - m_c$, é proporcional ao valor da força de sustentação invertida sobre o protótipo. Com essa diferença, a força de sustentação invertida é obtida pelo produto dessa diferença e a aceleração da gravidade na qual considera-se como $g = 9,8 \text{ m/s}^2$,

$$F_L = \Delta M g. \tag{9}$$

Conhecendo a intensidade da força de sustentação, o aluno utiliza-se da equação 8 para estimar o coeficiente de sustentação (C_L). Para tanto, utiliza-se da densidade do ar a 20°C dada por, $\rho = 1,1839 \text{ kg/m}^3$, e dos valores de velocidade do fluxo de ar e área frontal obtidos pelos seguintes procedimentos experimentais.



Figura 2: Aproximação da frente do modelo em estudo da figura geométrica triângulo.

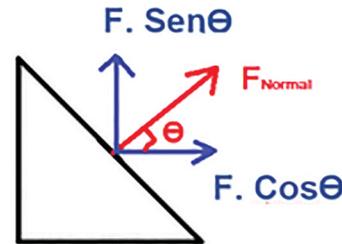


Figura 3: Decomposição da força normal provocada pelo contato da frente do modelo em estudo com o fluido em movimento.

Mede-se a velocidade de fluxo que passa no túnel com um anemômetro e a área frontal do modelo, $A = a \cdot h$, é obtida com o auxílio de uma régua mensurando a largura, a , e altura, h , do modelo.

Na segunda etapa, determina-se a força de arrasto (F_D). Com propósito didático, aproxima-se o design dianteiro do veículo como um prisma cuja inclinação pode-se associar a hipotenusa de um triângulo retângulo como mostrado na Figura 2. Uma vez feita esta aproximação, pode-se deduzir em função da força normal (F), resultado do contato do fluido (ar), em movimento com a parte dianteira do veículo, as forças de sustentação (F_L), e a força de arrasto (F_D) como mostrado na Figura 3.

Fazendo uso da relação trigonométrica de senos e cossenos, a razão entre as forças de sustentação e, portanto, a razão dos coeficientes de sustentação e arrasto são inversamente proporcionais à tangente do ângulo de inclinação do prisma,

$$\frac{F_L}{F_a} = \frac{C_L}{C_D} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta. \tag{10}$$

Desse modo, uma vez determinado o coeficiente de sustentação na primeira parte da atividade, pode-se estimar o coeficiente de arrasto pela relação trigonométrica entre as duas forças que agem no protótipo. Com o objetivo de trazer a discussão de sustentabilidade em sala de aula, questiona-se, com os alunos, o quão próximo este valor está do encontrado na literatura usando dois protótipos com características aerodinâmicas distintas. Sugere-se o modelo de um furgão e de um carro esportivo cujo valores de coeficiente de arrasto são próximos de 0,5 e 0,4, respectivamente.

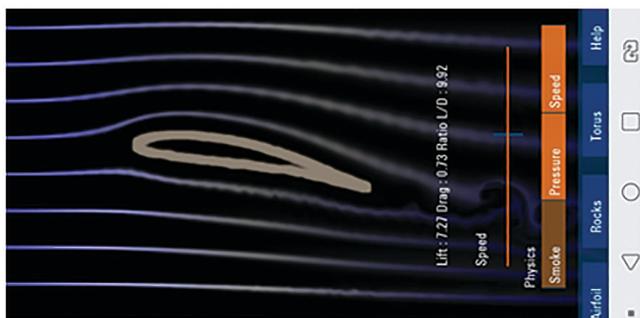


Figura 4: Aplicativo em uso em um smartphone, com linhas simulando ar em movimento em torno de um corpo.

Propõe-se uma discussão sobre o Efeito Bernoulli e o Efeito Coanda com o auxílio do aplicativo Wind Tunnel Free. O aplicativo é gratuito, e encontra-se no seguinte endereço na Play Store [22]. Nele, há a simulação das linhas de corrente do fluxo de ar que passa por vários objetos como pode-se ver na Figura 4. Com o controle da velocidade e com a medida da pressão, é possível verificar a manifestação do efeito Bernoulli visto que o aerofólio gera duas regiões com diferentes velocidades. Um outro ponto interessante é o controle da viscosidade do ar e, portanto, a verificação da manifestação do efeito Coanda e da mudança de regime laminar para o turbulento.

Variando os parâmetros do simulador, é possível explorar uma série de questões referentes aos temas, como: Qual o comportamento do fluido ao redor do aerofólio na simulação ao aumentarmos a velocidade? Ou ainda: Como ficam as diferenças de pressão com a variação de velocidade?

Nessa proposta, faz-se necessário o diálogo entre o simulador e a atividade experimental. O diálogo com os alunos deve estar no questionamento do que acontece com o ar nas regiões ao longo da superfície dos protótipos sob o olhar que o simulador fornece. Após finalizar o experimento em todas as suas etapas e a utilização dialogada do simulador, realiza-se a última aula cujo objetivo está em avaliar o conhecimento adquirido pela atividade prática da proposta.

Depois de realizado o experimento em todas as suas etapas e a utilização dialogada do simulador, realiza-se a última aula, avaliando na prática os conhecimentos adquiridos.

6. Considerações Finais

Os autores consideram que o objetivo de levar, aos alunos de ensino médio, o conhecimento de aerodinâmica de autos pode ser alcançado. Para tanto, é apresentado uma proposta constituída de uma sequência de aulas baseada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos e auxiliada por uma atividade experimental.

A sequência de aulas tem como seu ideal seis aulas para se desenvolver o trabalho de maneira extremamente

satisfatória. Porém nota-se que é possível adaptar a sequência de acordo com sua disponibilidade de tempo e realidade respeitando a ordem das etapas para construção do conhecimento do aluno. Os autores avaliam a metodologia de aprendizagem utilizada como a mais apropriada pois consegue de maneira organizada e sucinta, estruturar o conhecimento que se deseja transmitir aos alunos.

A atividade experimental contribui enormemente para a motivação e aprendizagem do tema proposto. Além do baixo custo, a sua realização traz a autonomia e a proatividade dos alunos como elementos essenciais para sua execução.

A proposta contribui para uma pedagogia humanista preconizada por Paulo Freire [16] na qual a importância dos conhecimentos prévios dos alunos, o diálogo constante com eles, o incentivo ao protagonismo e autonomia deles são fundamentais para a construção da sociedade atual. Ressalta-se o uso de temas do cotidiano dos alunos, as atividades experimentais e a utilização de um simulador como instrumentos facilitadores para a inserção do conhecimento que se deseja transmitir.

Agradecimentos

Agradecemos aos revisores do artigo pelas sugestões e comentários e às instituições SBF e CAPES por proporcionar o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física sem o qual não seria possível realizar esse trabalho.

Referências

- [1] H. Bonabiman e S.E.B. Nonenmacher, *Cad. Bras. Ens. Fís.*, **24**, 194 (2007).
- [2] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC, Brasília, 2000).
- [3] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *PCNs+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC, Brasília, 2002).
- [4] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC, Brasília, 2006).
- [5] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC, Brasília, 2018).
- [6] M.A. Moreira, *Estudos avançados* **32**, 73 (2018).
- [7] SECRETARIA DA EDUCAÇÃO, *Currículo do Estado de São Paulo, Ciências da Natureza e suas Aplicações* (Secretaria da Educação, São Paulo, 2011).
- [8] R.B. Strieder, G. Watanabe-Caramello e S.T. Gehlen, *Revista Ensaio* **14**, 153 (2012).
- [9] F.A. Ramos, *Energia e sustentabilidade no ensino de física: Leituras da Matriz energética brasileira*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2012).

- [10] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (LTC, São Paulo, 2016), v. 2.
- [11] L. Felix, *Cinco razões para pensar bem antes de comprar um SUV*, disponível em: <https://bit.ly/3891maT>, acessado em 27/12/2021.
- [12] L.P. Landau e E.M. Lifshitz, *Fluid Mechanics* (BH Publishs, Oxford, 1987), 2a ed.
- [13] C. Kittel, W.D. Knight e M.A. Ruderman, *Curso de Física de Berkeley volume 1: Mecânica* (Ed. Edgard Blucher, Rio de Janeiro, 1973).
- [14] K. Weltner, M. Ingelman-Sundberg, A.S. Esperidião e P. Miranda, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 429 (2001).
- [15] D. Delizoicov e J.A. Angoti, *Metodologia do ensino de ciências* (Cortez, São Paulo, 1990).
- [16] P. Freire, *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1997).
- [17] D. Delizoicov, *Concepção problematizadora para o ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na Guiné-Bissau*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo (1982).
- [18] D. Delizoicov e C. Munchen, *Ciênc. Educ.*, Bauru **20**, 617 (2014).
- [19] *A Terceira Lei de Newton Explicada | Episódio 6. 2020. (10m36s)*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ei6DcLyNuyI>, acessado em 08/08/2020.
- [20] *A Física da Corrida Nerdologia. 2016. (6m49s)*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KHpP1cy4o4w>, acessado em 08/08/2020.
- [21] *Aerodinâmica dos Automóveis, 2012. (14m41s)*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=otd0Ob7gFgs>, acessado em 08/08/2020.
- [22] *Wind Tunnel Free. 2020. WindTunnel Free- Apps no Google Play*, disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.algorizk.windtunnellite&hl=pt_BR, acessado em: 08/08/2020.