



## **TÍTULO DO PROGRAMA**

**A Maestria do Voo**

Série: **A Vida das Aves**

## **SINOPSE DO PROGRAMA**

Por meio de imagens extraordinárias, A Maestria do Voo explica como as aves desenvolveram a incrível habilidade de voar, mostra que além de possuírem as características físicas adequadas as aves também dominam técnicas de voo sofisticadas que lhes permitem voar, decolar e quase sempre pousar com tranquilidade. Os professores convidados realizaram atividades que detalham as características adaptativas das aves e aproveitaram para explicar a física do voo.

## **CONSULTORES**

Marcello Vieira Lasneaux - Biologia

Raimundo Nonato - Física

## **TÍTULO DO PROJETO**

**Perspectivas Físicas e Biológicas do Voo**

### **❖ APRESENTAÇÃO**

As aves representam um grupo cujo particular maior é a capacidade do voo. Para esse feito, diversas estratégias foram desenvolvidas ao longo da evolução. As espécies acumularam diferenças, entre elas: tamanhos, habitats, tamanho e forma das asas, entre outras características. O potencial de voar envolve detalhes morfofisiológicos dos indivíduos, mas carrega consigo todo um arcabouço de peculiaridades do universo físico, envolvendo conceitos de hidrodinâmica, leis de Newton, entre outros. Toda essa “engenharia” foi trazida para a tecnologia do voo dos aviões, demonstrando que aprendemos muito com as aves



## ❖ UM OLHAR PARA O DOCUMENTÁRIO A PARTIR DA BIOLOGIA

### DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

O documentário trata de diversos aspectos relativos ao voo das aves, principalmente de algumas adaptações necessárias, bem como a relação com a migração. A recomendação é que essa atividade seja aplicada para a introdução do grupo das aves, após a aula de répteis (tradicionalmente no segundo ano do Ensino Médio).

A sugestão do trabalho disciplinar de Biologia é estruturado em três partes, após a exibição do documentário.

A primeira parte consiste em apresentar a evolução do grupo das aves. Para isso, é adequado localizar sua história evolutiva em relação aos grupos anteriores, expressas em um cladograma (figura abaixo).





Fonte: glencoe.mcgraw-hill.com (acessado em 19/10/2011, com modificações).

Um clado é um grupo de espécies e seus ancestrais diretos. Um cladograma corresponde, então, à representação gráfica de vários clados relacionados. O cladograma acima representa a posição taxonômica das aves em relação a outros vertebrados, inclusive aos mamíferos. Percebe-se algo inusitado e de provável aceitação no meio científico: as aves devem ser encaradas como répteis. Essa discussão é cabível, especialmente se o professor já trabalhou os conceitos de grupos monofiléticos, parafiléticos e polifiléticos. Se considerarmos as aves distintas dos répteis, esses últimos devem ser tratados como um grupo parafilético, formação discutível em termos evolutivos, que prezam os clados monofiléticos.

As características de aproximação entre os dois grupos – aves e répteis – vão além de sinais externos, como as escamas presentes nas pernas das aves e no tegumento de lagartos e cobras. Há muitas evidências genéticas que inspiraram recentemente um pesquisador com a possibilidade de, por meio de engenharia genética, “desconstruir” uma galinha para obter um dinossauro. A inspiração está em um livro publicado nos Estados Unidos dos autores Jack Horner e James Gorman: “*How to build a dinosaur – extinction doesn’t have to be forever*” (2009).

A descoberta fundamental para a compreensão da evolução das aves foi a de um fóssil em 1861, na Alemanha (figura a seguir). Viveu há 150 milhões de anos, e é considerada a ave mais antiga da Terra. Foi batizada de *Archaeopteryx*. O termo é uma composição de “arqueo” = antigo com “ptero” = asa.



#### Material

- DVD;
- TV ou projetor;
- Quadro-negro.

#### Etapas

- Apresentação do vídeo;
- Discussão do cladograma;
- Apresentação do Archaeopteryx;
- Adaptações para o voo;
- Discussão sobre voos longos e migração.

Fonte: guardian.co.uk (acessado em 19/10/2011).

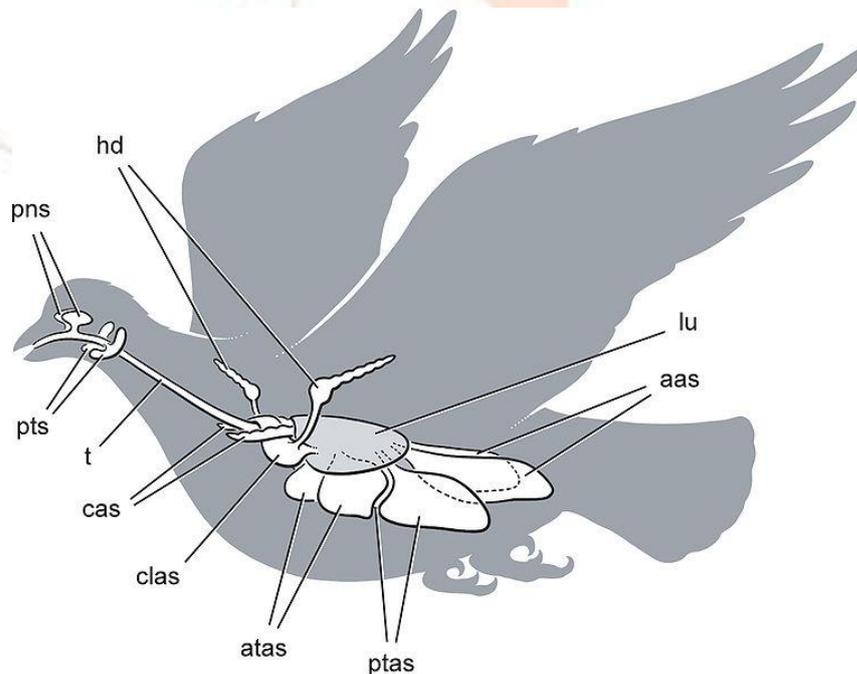
Nessa atividade trabalhamos com o conceito de identidade de seres vivos e as habilidade H16 da competência de área 4 e a habilidade H17 da competência de área 5 relativos à Matriz do ENEM 2011.

A segunda parte da proposta corresponde à discussão sobre a capacidade do voo. Essa habilidade surgiu independentemente nos insetos, nos dinossauros (pterossauros), nas aves e nos mamíferos (morcegos). Entre os insetos, a habilidade é extremamente comum, sendo que  $\frac{3}{4}$  deles voam.

No caso das aves, cabe uma apresentação das características determinantes para o voo. A primeira delas é a pena, ao contrário do que muitos pensam, as penas são bem anteriores à capacidade de voar. As primeiras penas serviam para camuflagem, isolamento térmico e seleção sexual. A origem do voo parece estar relacionada com o escapar de predadores. Essas tentativas provavelmente resultaram em “paradas no ar” (como vimos no filme com os pombos). Outras explicações podem ser a de taxiar (como no caso do albatroz) ou de subir em árvores (como da primeira ave do filme).



As adaptações ao voo incluem ainda: ossos pneumáticos, sacos aéreos, modificações de esqueleto, presença da quilha (ou carena), ausência de bexiga.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/> (acessado em 19/10/2011).

A musculatura peitoral é muito importante para o voo, pois cerca de 15% da massa corporal vem dessa estrutura, chegando ao dobro em algumas espécies, como no caso do beija-flor. A potência do voo é resultado de uma relação complexa de características que envolvem o tamanho e a forma do animal, o formato da asa e a velocidade do movimento.

A terceira sugestão de trabalho inclui a discussão de um experimento que identifica o porquê da migração de algumas aves. Essa discussão pode ser feita pela apresentação do experimento que jogou luz sobre as questões relativas à motivação da migração.

Quando o outono chega, há uma tendência para que o alimento diminua. Esse efeito pode ser verificado no gráfico da figura 1, extraído de Berthold (1996). Em experimento controlado, à medida que a alavanca do controle do fotoperíodo (período de luz em 24 horas) é manipulada, a agitação da ave muda: quanto



menor o dia, maior a agitação. O que acontece é que com dias mais curtos, o inverno está mais próximo. A temperatura vai diminuir brevemente, haverá escassez de alimento e redução na disponibilidade de água, conforme indicado na figura 3.

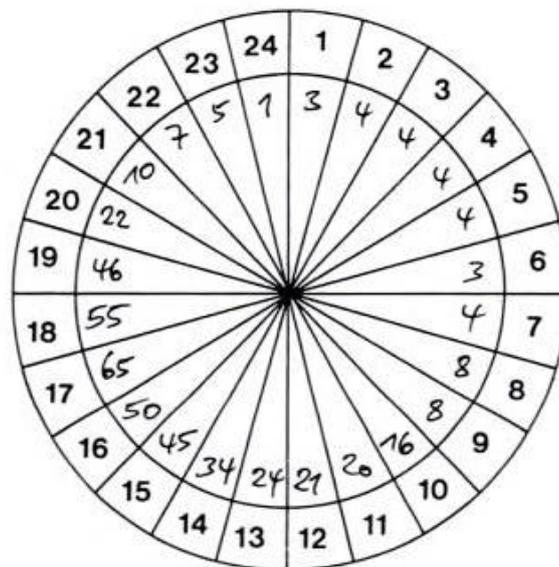


Figura 1. O traço entre 24 e 1 representa o norte; o traço entre 12 e 13, o sul. A ave, quando agitada na gaiola de Kramer, deixa arranhões no papel do funil. Os números manuscritos representam o número de arranhões no papel, que indica a incidência da ave naquele trecho do funil.

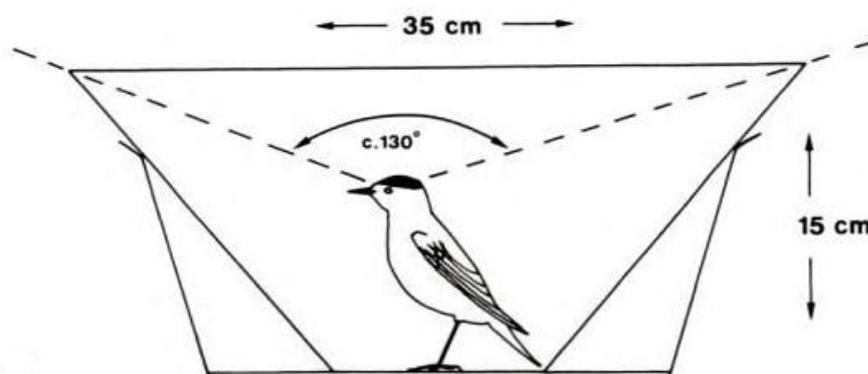


Figura 2. Gaiola de Kramer. A ave é colocada em uma gaiola cujo fundo é forjado com um funil de papel. O papel está graduado de 1 a 24, representando as hora dos dia. À medida que a ave se agita, deixa arranhões no papel.

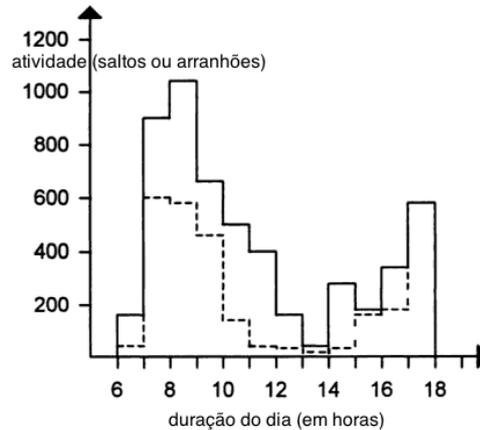


Figura 1. Atividade em função da duração do dia em *Sylvia atricapilla* (toutinegra-de-barrete-preto), uma ave europeia.

Encarceradas em uma gaiola, essas aves aumentam seu grau de agitação conforme o comprimento dos dias vai encurtando, ou seja, o fotoperíodo vai reduzindo – trata-se do outono. Um fator determinante para o ímpeto migratório parece ser a oferta de alimento. Além disso, elas procuram direcionar o voo, ficando agitadas em determinada área da gaiola, coincidindo com a orientação espacial das que efetivamente migram. Observe o gráfico abaixo.

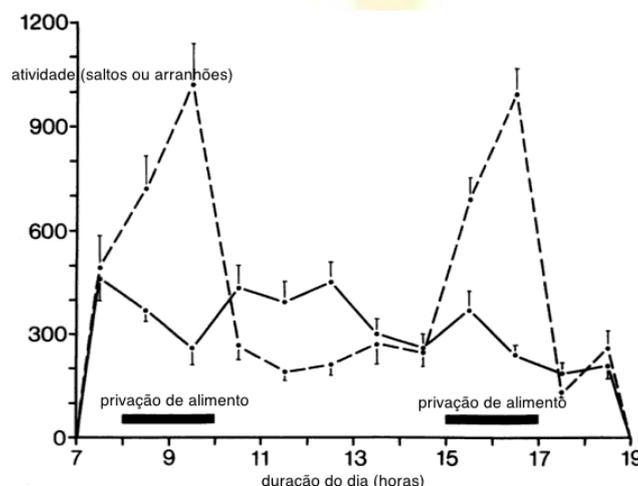


Figura 4. Atividade da ave *Sylvia borin* (toutinegra portuguesa) em função do fotoperíodo, com privação de alimento (linha pontilhada) e sem (linha sólida).



Nessa parte da proposta são trabalhadas situações-problemas e a interpretação dos **modelos experimentos** para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos. Habilidade H15 da competência de área 4 da Matriz do ENEM.

A sugestão de avaliação para o conteúdo apresentado acima seria trazer esses conhecimentos para a prova ordinária da turma, com questões que envolvam o trabalho desenvolvido a partir do filme.

**Veja mais...**

- <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/16137>
- <http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EMI65823-15224,00-UMA+RECEITA+PARA+FAZER+DINOSSAUROS.html>

**❖ UM OLHAR PARA O DOCUMENTÁRIO A PARTIR DA FÍSICA**

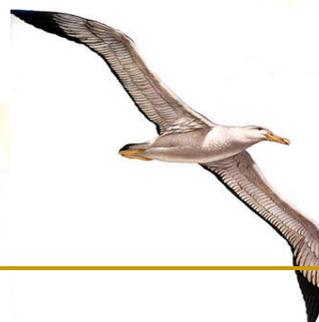
*DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE*

O documentário trata dos aspectos físicos do voo, desde a decolagem até o pouso, portanto, recomendamos que o vídeo seja apresentado às turmas de segundo ano do Ensino Médio. Durante o documentário, o professor de Física pode destacar para os alunos as seguintes partes:

**i)** Dos 02 min e 34 s até os 03 min e 08 s é possível observar em detalhes o enorme esforço empreendido por um pombo para levantar voo.

Professor, aproveite essa cena para relembrar a 3ª lei de Newton (lei da Ação e Reação) que explica a emergência de tal movimento, não apenas no instante em que o pássaro pula – aplicando uma força no chão, que por sua vez o impulsiona para cima – mas, principalmente, enquanto ele empurra o ar para baixo, objetivando receber deste, uma força de mesma intensidade e com sentido oposto.

**ii)** Entre 03 min e 54 s, e 04 min e 04 s, o documentário compara o voo dos albatrozes e dos aviões





– utilizam outra modalidade de decolagem e voo em relação ao pombo. Devido à curvatura de suas asas, o ar flui pela parte superior com maior velocidade. De acordo com a lei de Bernoulli, a pressão é reduzida na parte superior da asa. Sendo assim, quando o ar se move sobre a asa com rapidez suficiente, a diferença de pressão entre as partes inferior e superior de suas asas cria uma força de sustentação suficiente para erguer a ave na decolagem e para mantê-la planando durante o voo.

Como analogia, o professor pode mencionar o efeito de ventos paralelos a uma janela aberta de uma residência com uma cortina. A pressão do ar externo fica menor que a pressão do ar interno e a cortina é “puxada” para fora. Se o vento for muito intenso, os vidros da janela poderão quebrar, ou até mesmo casas podem ser destelhadas.

Uma experiência simples que o professor pode realizar com seus alunos, na ocasião, seria soprar entre dois balões de aniversário próximos um do outro, sobre uma mesa. Nessa situação, a velocidade do ar entre os balões é maior que em volta deles e, dessa forma, a pressão entre os balões fica menor que em volta, resultando na aproximação deles.

Se desejar incluir outra experiência relativa ao voo, uma tira de papel deverá receber a corrente de ar de um secador de cabelo em sua face superior. À medida que o ar flui acima da tira, próxima à saída de ar do secador, as moléculas de ar da camada entre ele e a tira deslocam-se, reduzindo a pressão do ar da região. Então a pressão atmosférica abaixo do papel força-o a subir.

**Material**

- Dois balões de aniversário.

**Etapas**

- Encha os dois balões e amarre-os para não sair o ar;
- Em um local que não tenha vento, coloque um do lado do outro sobre uma mesa de modo que eles fiquem separados por uma pequena distância e sobre entre eles.

**Material**

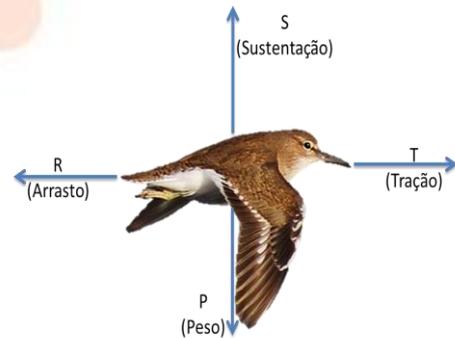
- Tira de papel de 4 cm;
- Secador de cabelo.

**Etapas**

- Corte uma tira de papel A4 com 4 cm de largura;
- Coloque a ponta da tira de papel logo abaixo da saída de ar do secador e ligue-o (obs.: não é necessário usar ar quente).



iii) Outro trecho que pode ser explorado pelo professor encontra-se entre os 6 min e 18 s até os 6 min e 53 s, em que vemos em detalhes o voo de um maçarico, enquanto ele “rema” no ar. Diferentemente dos aviões, as asas dessa ave funcionam não apenas como uma área de sustentação, mas também como um propulsor de movimentos. É indicado fazer o estudo das forças que agem no maçarico durante o voo:



- Sustentação (S) é a componente da força aerodinâmica perpendicular à direção do movimento de voo;
- Arrasto (R), essencialmente a força de resistência do ar, é a componente da força aerodinâmica oposta ao sentido do movimento de voo;
- Peso é a força da gravidade ( $P = m \cdot g$ ) atuando sobre o pássaro e dirigida para o centro da Terra;
- Tração (T) é a força de reação do ar produzida pelo movimento de remar das asas da ave.

Em vários momentos o documentário enfatiza a boa aerodinâmica das aves. Para demonstrar a importância dessa característica já consolidada, vale a pena rever com os alunos o trecho que vai dos 08 min e 07 s até os 08 min e 40 s, no qual é possível perceber a dificuldade de uma águia pescadora para levantar voo com seu peixe, não apenas pelo peso extra, mas, principalmente, devido à força de resistência do ar. A prova disto é a destreza com que a ave reposiciona o peixe, de modo a sofrer menos arrasto conseguindo obter movimentos com maior facilidade.

É comum encontrarmos em alguns livros de Biologia a informação de que os sacos aéreos dos pássaros auxiliam na diminuição de peso do animal, porém, tanto as estruturas quanto o próprio ar que se encontra dentro delas têm massa, e conseqüentemente peso. Na verdade, o que acontece é um aumento do

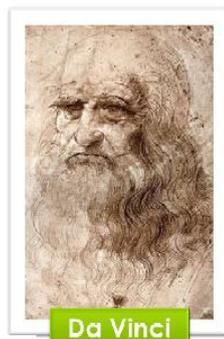


volume e, portanto, um aumento do empuxo que se opõe ao peso, ou, em outras palavras, uma diminuição da densidade da ave. De qualquer forma, o empuxo exercido nessa situação é muito pequeno e por isso ele não foi considerado em nosso esquema de forças apresentado acima.

**iv)** Outra demonstração interessante ocorre dos 14 min e 24 s até os 14 min e 46 s, quando o pouso de um albatroz é descrito como algo um pouco melhor que um “acidente controlado”. Mesmo para tal afirmação existe uma explicação física! Na realidade, o que ocorre é uma ação instintiva do albatroz para diminuir o efeito da força que age em seu corpo durante o pouso. Para reduzir a sua velocidade em um intervalo de tempo muito curto, seria necessário exercer e, conseqüentemente, sofrer a ação de uma força muito intensa, o que poderia lhe causar alguns ferimentos. Então, o pássaro consegue minimizar essa força aplicada no solo, aumentando o intervalo de tempo no qual ela atua, justificando assim o seu pouso desleigante, porém seguro.

**v)** Para finalizar a nossa análise, dos 26 min e 27 s até 26 min e 51 s temos um gavião peneireiro pairando no ar, em repouso com relação ao solo, mas em movimento com relação ao ar, sendo a força de sustentação equivalente ao seu peso.

Certamente o voo das aves inspirou o ser humano a tentar romper os limites que o mantinham em solo firme e alcançar o desejado espaço aéreo através da habilidade de voar. Nesse processo, o homem observou a natureza, imitando seus desenhos e funcionalidades. Como pode ser visto na figura da asa-delta, que é correspondente a uma das criações de Leonardo da Vinci. Em outras situações, os criadores adicionaram suas próprias ideias visionárias, desenvolvendo mecanismos criativos e inusitados para conseguir sair do chão. Dentre essas inventivas contribuições, está a modelagem prévia do helicóptero, também por da Vinci, que, apesar dos conhecimentos insuficientes em sua época, sobretudo a respeito da conservação do movimento angular, forneceu bases para a futura realização de seu intento.

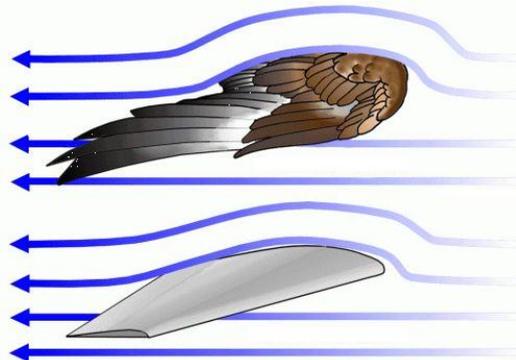


Da Vinci



Seguindo essa linha, não poderíamos deixar de mencionar o pioneirismo na criação do brasileiro Santos Dumont, que forneceu à humanidade um salto na evolução ao desenhar e montar o famoso 14 Bis.

Atualmente as asas dos aviões modernos apresentam formato semelhante aos das aves. Novamente, a força de sustentação pode ser explicada pelo teorema de Bernoulli, pois permite que o ar escoe com maior velocidade pela superfície superior, garantindo que a pressão exercida nessa face seja menor que a pressão na superfície inferior da asa. Resultando em uma diferença de pressão responsável pela força de sustentação dinâmica oposta à tendência de queda do avião.



Como atividade final, o professor de Física pode sugerir que seus alunos construam e apresentem um túnel de vento com um ventilador e um aviãozinho, que deve atender às condições mínimas necessárias para um voo.



Trabalhando dessa forma, estamos em sintonia com a matriz de referência para o ENEM na área de Ciências Naturais e suas tecnologias, que busca enfatizar nos alunos a capacidade de construir conceitos para a compreensão de fenômenos naturais e da produção tecnológica, além da identificação e aplicação das tecnologias associadas às ciências naturais, em diferentes contextos.

### ❖ UMA CONVERSA ENTRE AS DISCIPLINAS

#### *DESCRIÇÃO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR*

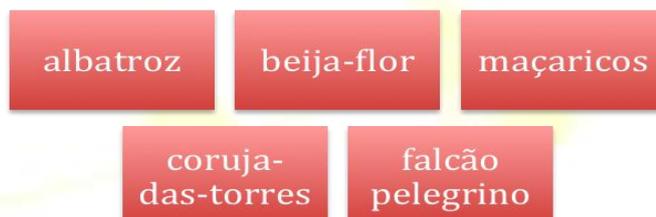
##### **Veja mais...**

- No portal do professor do MEC você encontra o seguinte artigo da revista Física na Escola: "A Física do Voo na Sala de Aula"  
<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a07.pdf>.

#### *OU DAS POSSÍVEIS RELAÇÕES QUE PODEM SER CONSTRUÍDAS*

Nossa sugestão de trabalho interdisciplinar pode ser aplicada apenas por um dos professores, sendo mais indicado que seja feita pelo professor de Biologia. Trata-se de um jogo de cartas no qual os alunos deverão formar famílias agrupadas por semelhanças.

Após assistirem ao filme, os alunos serão separados em pequenos grupos de quatro alunos. Cada grupo recebe um conjunto embaralhado de 25 cartas, sendo elas de cinco cores. Eles devem formar famílias de cinco cartas, cada uma de uma cor diferente, tendo para isso o subsídio do documentário e as atividades realizadas por cada professor. Abaixo seguem as sugestões de conteúdo das cartas.





alçam voo  
taxiando, como  
aviões

asas pequenas que  
batem muitas  
vezes por minuto

reserva grandes  
quantidades de  
gorduras

asas com  
silenciadores, voo  
com baixo ruído

lança asas para  
trás, semelhante a  
um caça  
supersônico

aterrissagem  
desajeitada, que  
diminui o impacto  
no solo

forma correntes  
descendentes de  
ar

ave migratória, de  
pequeno porte

ave de rapina  
noturna

ocorre nas  
Américas,  
predador diurno,  
come aves

asas com grande  
envergadura,  
podendo chegar a 3  
metros

também chamados  
de colibris, estão  
entre as menores  
aves conhecidas

garimpa seu  
alimento na zona  
de maré

ave que se aloja em  
cavernas, prédios e  
igrejas

ave de rapina, voa a  
300km/h

pousa no solo  
maximizando o tempo  
de impacto para reduzir  
o efeito sobre seu  
corpo

batem as asas numa  
frequência de 25 Hz  
produzindo um  
zumbido característico

aerodinâmica lhe  
permite voar como se  
estivesse remando no ar

possui penas das asas  
com margens fofas  
funcionando como  
silenciadores que  
absorvem a energia

migram utilizando de  
correntes termais.



Após 20 ou 30 minutos de trabalho, os grupos terão suas associações validadas pelo professor, que anota nome e nota do grupo. Para referência do professor, as cartas já estão ordenadas conforme o “gabarito”, ou seja, o conjunto das primeiras cartas de cada cor forma uma “família” correta, e assim sucessivamente. Poderá ser aplicada uma correção parcial, prestigiando os acertos - ainda que não totais. A nota poderá variar conforme a composição combinada para a disciplina, podendo ser a nota ordinária ou extra. Dependendo da condução, o professor também poderá não atribuir nota ao trabalho, sendo entendido como o plano de aula para aquele dia.

Outra sugestão interessante seria adaptar o jogo à fauna local, mesmo que se trate de meio urbano. Assim, o professor e/ou os alunos poderão confeccionar suas cartas com base em espécies locais: carcará, urubu, pardal, sabiá, tucano, etc. As observações do professor de Física são importantes principalmente para identificar em cada espécie a modalidade do voo e suas implicações referentes à sua disciplina. Quanto às possíveis dificuldades das escolas urbanas em observação de espécies, cabem dois comentários. O primeiro seria a possibilidade de visita da turma em áreas verdes próximas. O segundo é um alento para quem tanto luta pela preservação da biodiversidade: as aves estão voltando a aparecer nos grandes centros com diversidade. O principal motivo é a formação de corredores ecológicos, verdadeiras estradas verdes que permitem migração de indivíduos e colonização de novas regiões, rompendo certas fronteiras impostas pela urbanização.

#### ❖ BIBLIOGRAFIA, SUGESTÕES DE LEITURA E OUTROS RECURSOS

##### ***Livros e Revistas***

- SCHMIDT-NIELSEN, Knut , *Fisiologia animal – Adaptação e Meio Ambiente* , 5a. Ed., São Paulo/SP: Editora Santos, 2002.



- CARTHY, e HOWSE, *Comportamento Animal*, São Paulo, EDUSP, 1978.
- CAMPBELL, Neil A. e REECE, Jane B., *Biology*, 8a. ed., San Francisco/EUA, 2009.
- BERTHOLD, Peter, *Control of Bird Migration*, Londres: Ed. Chapman Hall, 1996.
- HALLIDAY, RESNICK, WALKER. *Fundamentos de Física, 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- HELOU, GUALTER, NEWTON. *Física 1*. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- SAMPAIO, J. L; CALÇADA, C. S. *Universo da Física, 2: Hidrostática, Termologia, Óptica*. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005.
- STUDART, N; DAHMEN, S. R. *A Física do Voo na Sala de Aula. Física na Escola*, v. 7, n. 2, 2006.

#### **Sites e Outros Recursos**

- <http://www.saoluis.br/revistajuridica/arquivos/005.pdf>
- <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>
- <http://www.fisnet.com.br>

#### **Filmes e Documentários**

- <http://www.youtube.com/watch?v=j5KjCn7B6mU&feature=fvsr>
- <http://www.youtube.com/watch?v=4l0xavWi7kU>
- Voar ou não voar (documentário da série: A vida das aves).
- Conexões da Engenharia | Aeroporto Internacional de Hong Kong;  
<<http://www.mundofox.com.br/br/videos/conexoes-da-engenhara/aeroporto-internacional-de-hong-kong/73850966001/>>

#### **Passeios e Visitas**

- Visitação de reservas e parques de fácil acesso para observação de espécies.
- Túnel de Vento do Museu Espaço Catavento (SP).

