

## **A invenção do balão de ar quente**

Claudette Balpe

Tradução: Sílvia Duarte

Evocando a evasão, a potência, mas também a simplicidade, porque funciona sem motor – e portanto não faz barulho – o balão de ar quente fascina também pelo seu mistério: pois, afinal, como é que uma grande barquinha pendurada num balão cheio de gás pode subir “sozinha”? Os alunos serão estimulados pela vontade de compreender “como funciona” e pela vontade de descobrir como os inventores o imaginaram e conseguiram fabricá-lo.

### **Do mito ao jogo: como se elevar no ar?**

Das fábulas da Antiguidade ao mito de Ícaro, depois às máquinas imaginárias ou desenhadas por Bacon e Leonardo da Vinci – para os mais célebres dos seus precursores –, o desejo de se elevar no ar sempre perseguiu os homens. As crianças conservaram este sonho, e, por isso, o prazer que têm em brincar com objectos em papel, balões, etc.

O trabalho pedagógico pode começar por uma lista dos objectos aéreos sem motor que as crianças conhecem ou com os quais brincam: aviões ou foguetões de papel, papagaios, balões, pára-quedas ascendentes, planadores, etc. Esta lista servirá para permitir à turma familiarizar-se com o assunto e começar a pôr em relevo algumas características.

Põe-se imediatamente a questão de como se dá a ascensão. As causas são rapidamente identificadas: energia muscular da mão que lança o avião de papel, a força do vento e tensão do fio para o papagaio e para o pára-quedas ascendente, tracção por um outro avião para o planador, etc. Mais misterioso para as crianças, o caso do balão da feira remete implicitamente para o do balão de ar quente, que também se desloca, aparentemente, sozinho no ar. Este implícito é o ponto de partida para representações erradas sobre o funcionamento do balão de ar quente, e não apenas nos mais jovens.

Se, logo na discussão preliminar, as crianças falam dos aviões ou dos foguetões, argumentaremos a presença de um motor (de combustão para o avião, de propulsão para o foguetão), de modo a pôr de parte estes casos em que o movimento é provocado por um dispositivo de transformação da energia produzida, quando se dá uma combustão. Talvez não seja fácil para as crianças compreender esta distinção, pois no caso do balão de ar quente, mesmo que o gás arda sob o orifício do invólucro, o balão não é puxado por um motor de combustão (como um carro): a combustão do gás tem como única função aquecer o ar contido no balão. Quando paramos de aquecer, o balão de ar quente não cai brutalmente, pode continuar a sua ascensão ainda durante um pequeno momento e depois descer, à medida que o ar do balão arrefece.

Fazer uma classificação permitirá descobrir e identificar as questões a colocar. As crianças farão a lista dos diferentes factores a ter em conta na movimentação de objectos aéreos sem motor: a causa da movimentação, a forma do objecto (um foguetão de papel não plana como um avião), a natureza do material, etc. Ganharão também consciência do enigma da movimentação do balão de feira cheio de hélio ou do balão de ar quente: o que é que os faz elevar? Porque é que não se mantêm sempre no ar? Como conduzi-los?

Apresentam-se duas pistas ao professor para enriquecer as actividades propostas neste capítulo:

- uma pista histórica: que meios foram imaginados pelos homens para se elevarem no ar antes de ter inventado os motores térmicos? Aproveitaremos para pesquisar como era feito o primeiro balão de ar quente (ver o CD-ROM);
- uma pista científica aberta em várias direcções, que iremos explorar em baixo: porque é que um balão de feira ou um balão de ar quente se elevam sozinhos, enquanto que os balões que insuflamos com o nosso sopro acabam por cair por terra? Porquê aquecer o ar do balão? Por fim, porque é que os balões cheios de ar quente, como aqueles cheios de hélio, se mantêm no ar sem motor?

### **Saber tirar proveito das suas observações**

Para compreender como um balão insuflado com ar quente se eleva, a criança depara-se com representações iniciais diferentes, que correspondem frequentemente a crenças erradas. Assim, pensa que basta encher um balão qualquer para o ver elevar-se; também a descrição do balão de ar quente a faz acreditar que o balão levanta voo puxado pelo ar quente... A sua visão é mecânica. Além disso, a sua apreciação do mecanismo é falsa: só conhece as forças de tracção (com a ajuda de fios, de varas, etc.) e, aqui, não compreende “o que empurra ou puxa o balão”. A criança ignora a impulsão de Arquimedes, que está no entanto no centro da ascensão, por isso, há necessidade de fazê-la apreender de forma qualitativa os mecanismos de flutuação num fluido.

### **A impulsão de Arquimedes**

Para introduzir a impulsão de Arquimedes, podemos remeter para a experiência das crianças no mar ou na piscina: a impressão de pesar menos, de estar a ser levantado, sobretudo boiando de costas. Esta noção, no entanto, é complexa: diferentes factores intervêm ao mesmo tempo, e por isso é difícil estudá-la no nível básico. Procuraremos essencialmente uma abordagem simples e qualitativa, sem procurar estabelecer nenhuma fórmula.

Para isto, iremos praticar manipulações tentando, de cada vez, comparar a influência de elementos tomados dois a dois (relação peso/volume/forma). As poucas experiências que se seguem constituem assim situações-problemas elementares.

#### **Primeira experiência:**

Material:

- cinco copos idênticos em plástico duro (copos 1);
- tinas em plástico (10 litros) transparentes cheias de água;
- uma balança electrónica de precisão às gramas;
- açúcar em pó, sêmola, massa para modelar, arroz, xarope de fruta.

Reunidos em grupos, os alunos devem encher os seus copos progressivamente com açúcar, sêmola, etc., o seu copo está colocado numa tina, devem parar de

encher antes que este apanhe água, quer dizer no “limite da flutuação” (a borda do copo está ao nível da água, “imerso”). Uma vez o equilíbrio realizado, a quantidade de matéria introduzida no copo é pesada.

Os grupos partilham então os seus resultados e, geralmente, constata-se que as massas obtidas por cada um são iguais, até à grama, entre elas, apesar da diferença da natureza dos produtos utilizados.

Seguem-se questões: nomeadamente, que se passaria se tornássemos os copos mais leves? Os alunos formulam as suas hipóteses e depois testam-nas.

Durante as manipulações, cada grupo vai medir a altura emergente do copo e vai ligá-la à massa do produto retirado, têm um conjunto de resultados que se pode colocar num quadro de entrada dupla. A análise da variação da altura em função da diminuição da massa permite estabelecer uma conclusão: para um dado volume (o do copo), mais a massa é aligeirada, mais o copo se eleva sob a superfície da água (pode-se fazer um quadro das medições: massa/elevação).

### **Segunda experiência:**

O material utilizado é o mesmo que foi reunido para a primeira experiência, com excepção dos copos, que substituímos por outros mais volumosos (mais largos e mais altos) – serão os copos 2.

Para comparar os copos 1 e 2, o professor pode interrogar a turma sobre os que apresentam o maior volume, perguntando que experiência permitiria verificar a resposta avançada. Geralmente, os grupos enchem um copo 2 e vertem o conteúdo no copo 1... que ultrapassa. Pode-se também recorrer a um copo doseador para medir os volumes com exactidão.

Uma segunda questão prende-se com o seguinte problema: que se passa se vertermos no copo 2 a quantidade de matéria que “faz flutuar ao nível da borda” o primeiro?

Os alunos emitem as suas suposições (“aquele mergulha mais ou aquele flutua melhor”etc.), realizam a experiência (com açúcar, sêmola, etc., cada grupo trabalhando com o produto que utilizou no início) e procede às constatações: o copo 2 volta à superfície da água (emerge) seja qual for o produto em questão.

Daqui a conclusão: para uma mesma massa, é o copo com mais volume que assegura a melhor flutuação.

O conjunto destas manipulações permite assim colocar em evidência a complexidade do fenómeno de flutuação, numa primeira abordagem ao conceito de Impulsão de Arquimedes, permitindo abordar qualitativamente – sem fórmula matemática – as diversas facetas da sua significação concreta. Atingiremos finalmente a identificação e ligação dos dois factores que intervêm: o volume e o peso.

Uma vez que trabalhámos até então na água com diferentes produtos – açúcar, sêmola, etc. – e que as conclusões foram válidas, qualquer que seja o produto utilizado, resta-nos agora passar ao ar.

### **A dilatação do ar.**

Uma experiência pode mostrar que aquecer o ar aumenta o seu volume. Precisamos para isso de duas garrafas de vidro idênticas. Todas duas serão abertas e cobertas com um balão e uma será colocada em banho-maria. As duas experiências poder ser apresentadas pelo professor ao conjunto dos alunos, mas elas são suficientemente simples para serem realizadas pelos grupos diante dos seus colegas.

O professor convida os alunos a comparar os volumes e as massas das duas garrafas: eles são idênticos, pois as garrafas são as mesmas e contêm então, no início, a mesma quantidade de ar. Depois de alguns minutos, a turma pode constatar que o balão que cobre a garrafa em banho-maria se enche. Como explicar este fenómeno?

As crianças fazem suposições e apontam as diferenças: o ar contido na garrafa colocada em banho-maria foi aquecido. Podemos, desde logo, chegar às seguintes conclusões:

– para um volume de ar idêntico no início (o da garrafa), o balão enche-se sob o gargalo assim que o ar é aquecido;

– se o balão se enche, é porque o ar da garrafa correspondente aflui para cima: é preciso para isto que o ar aquecido aumente de volume (dizemos que ele se “dilata”);

– o volume do dispositivo (garrafa + balão) aumentou sem que tivéssemos “juntado ar”: a massa do conjunto está então conservada apesar do aumento do volume (aqui para levantar a confusão massa/volume, pode-se pesar o equipamento a frio e depois a quente – com a condição de o fazer rapidamente...). Encontramos aqui a conclusão da actividade anterior: para uma mesma massa, era o copo que tinha mais volume que assegurava uma maior flutuação.

Depois da discussão podemos por analogia imaginar que a garrafa seja substituída por uma “bola de ar” e compreenderemos que aquecida, esta bola de ar tornar-se-á mais volumosa. Seguir-se-á então, que como o copo 2 – que se eleva sobre a água porque é mais volumoso – a bola, agora maior porque aquecida, se elevará no ar. E para o balão de ar quente? Quanto mais o ar é aquecido, mais a massa contida no volume é aligeirada e mais o balão se eleva, uma hipótese que verificaremos fabricando um (ver mais à frente).

Assim que o ar contido no balão é aquecido dilata-se e, então, o seu volume aumenta. Mas como o invólucro que o contém não é extensível, uma parte do ar deve-se escapar pela abertura: haverá então uma massa menor de ar quente no invólucro do que quando estava cheio de ar frio. Afinal, o balão cheio de ar quente pesa menos que o balão cheio de ar frio e pode, então, elevar-se. Mas, assim que ganha altitude, o ar contido no invólucro arrefece, diminui de volume. Ar frio exterior entra no invólucro: o balão fica mais pesado e desce.

Uma vez que estes princípios estejam adquiridos, interrogar-nos-emos sobre a escolha do gás utilizado – o ar quente para o balão dos irmãos Montgolfier, o hidrogénio para o balão inventado pelo erudito Charles na mesma época. Compreenderemos (referindo os dados sobre os gases – 1 litro de ar frio pesa 1,3 g, 1 litro de ar quente menos de 1 g e 1 litro de hidrogénio um décimo de grama – e os cálculos sobre os pesos comparados de dois volumes iguais de gases diferentes) que um balão de ar quente pesa o mesmo que um balão cheio de

hidrogénio (este gás foi abandonado depois da tragédia do dirigível Hindenburg, em 1937).

### **Na origem da descoberta**

Este trabalho sobre o balão de ar quente é também uma oportunidade de fazer as crianças tomar consciência que esta invenção marcou de facto o culminar de todo um processo multiforme, tecnológico, científico, económico e político. Fazer a ligação com aqueles a quem temos o hábito de chamar os “precursores” convida a mudar a questão do génio individual para a questão do pensamento colectivo. O estudo dos textos históricos permitirá às crianças traçar as diferentes etapas da invenção do balão de ar quente, examinando para trás a importância dos feitos de todas as ordens anunciadoras desta descoberta.

Assim é interessante saber que, bem antes de se lançarem nos seus trabalhos em torno do balão de ar quente, os irmãos Montgolfier interessavam-se já pela navegação aérea e pelas propriedades dos gases sobre os quais tinham lido várias obras. Será conveniente a este respeito estudar o “Relatório feito à academia das Ciências sobre a máquina aerostática dos senhores Montgolfier” (ver o CD-ROM), o qual apresenta a influência das diferentes pesquisas anteriores.

A parte do acaso será ainda subestimada, quando as crianças abordarem a anedota da camisa de Joseph a secar diante da lareira. Este episódio não teria consequências se Joseph não tivesse reflectido, ao mesmo tempo, no meio de se elevar no ar, examinando a gravura representando o cerco de Gibraltar pelos espanhóis...

O seguimento das diferentes tentativas deixaria ainda perceber a importância do papel da Academia das Ciências, para certificar a descoberta, e de Luís XVI, que esperava que esta descoberta prometedora lhe permitisse realizar o seu projecto de transporte de homens com fins militares – uma ideia que era partilhada pelos membros da Academia, como se pode ver no relatório já citado.

Por fim, as crianças poderão notar que no século XVIII os inventores não eram necessariamente eruditos. O engenho e a tenacidade ocupavam, por vezes, o

lugar do saber científico ou técnico: a análise da grande lista das experiências feitas pelos irmãos Montgolfier, com todas as modificações e melhoramentos sucessivos, mostrará todas as qualidades que lhes permitiram chegar aos seus fins.

### **Fabricar um balão de ar quente e testar o seu funcionamento**

As crianças estudaram o princípio físico que prevalece no funcionamento do balão de ar quente, e sabem daqui em diante, como e porquê é que ele se pode elevar sem motor. A história dos irmãos Montgolfier mostra bem que não fizeram “voar” os seus engenhos antes de conhecer os princípios científicos que explicam a sua “flutuação” no céu. Mas do intelecto à experiência vivida, a distância é grande...

As crianças reproduziram um modelo já concebido. Pois os problemas que vão encontrar serão sobretudo técnicos e temíveis a este nível! Ainda por cima terão de construir o seu balão de ar quente com os materiais de que dispõem da vida quotidiana (esta utilização de elementos, que fazem lembrar os que foram utilizados pelos irmãos Montgolfier, tem uma dimensão cultural à qual as crianças são sensíveis). Os alunos não dispõem de utensílios especializados, nem de cola ultra forte. Devem cortar cuidadosamente, ajustar... A cooperação é necessária!

Para assegurar o sucesso da operação, o professor deve organizar o trabalho em grupos, desenvolvendo as “etapas de fabrico”, com o procedimento habitual das actividades técnicas feitas em aula. É a oportunidade para fazer as crianças reflectir na organização das tarefas, o material necessário, as soluções técnicas (que cola? que papel?) os gestos adequados, a divisão do trabalho, etc.

Alguns conselhos estão disponíveis no site

<http://www.inrp.fr/lamap/activites/air/idees/temoignage/montgolfiere.htm> (ver também a ficha de Cemea on line no site de *La main à la pâte*).

A escola de Gourgé seguiu o seguinte protocolo:

Material:

- seis folhas de papel de seda de cor;
- cartolina;
- um par de tesouras;
- o gabarito de meio-fuso (teremos então seis fusos).

Construção:

- dobra as folhas de papel de seda em quatro partes;
- traça os contornos do gabarito, com o teu lápis de cor, nas folhas;
- corta pelos traços: obténs fusos que será preciso decorar;
- cola os fusos pela borda de forma a obter o invólucro do balão de ar quente;
- corta um círculo de papel de seda e cola-o no cimo do balão para que o ar não passe por cima.

Quando o balão estiver construído, é preciso fazê-lo “levantar voo” e por isso aquecer o ar. Procedemos primeiro ao estudo dos meios de aquecimento: secador de cabelo, radiador, decapante térmico ou um pequeno fogão da *camping-gaz*. Pode-se também queimar um pouco de produto combustível numa grande lata, acima da qual teremos o balão, que se insuflará pouco a pouco (atenção, seja qual for o meio adoptado, o aquecimento deverá ser feito no exterior, no pátio da escola). Uma classificação irá indicar as propriedades, vantagens ou limites de cada uma das propostas. A escolha será discutida e argumentada: se escolhermos uma decapante térmico, é preciso saber que o tempo de insuflação do balão será muito mais longo do que com um *camping-gaz*; mas se recorrermos a este último, será preciso ter um cilindro metálico que faça de chaminé para dirigir o ar quente para o balão, e este dispositivo necessitará ainda, para evitar as perdas de calor, de ter uma anilha (não inflamável) bem apertada sobre o cilindro. Aproveitaremos o facto das crianças manterem o “balão” durante o aquecimento para sublinhar que o sucesso da operação exige que algumas condições estejam reunidas: o objecto, frágil, deve ser mantido com precaução, numa posição vertical, etc. Os alunos irão descobrir igualmente a importância dois outros factores: o peso do papel (compreenderão assim porque é que o papel de seda é utilizado preferencialmente a outro material) e uma colagem bem hermética.

Numa turma de básico, um secador de cabelo colocado na abertura permitirá ver o balão de ar quente elevar-se alguns centímetros durante quatro ou cinco segundos de aquecimento.

Vejamos agora a barquinha do balão de ar quente: que massa poderá um balão de 1 m<sup>3</sup> levantar?

A força ascensora é a diferença entre o peso mudado (ar frio 1,3 g/l) e o peso real (ar quente 0,77 g/l), ou seja perto de 0,5 g/l. Quanto mais aquecemos, mais o ar ocupa lugar: para um dado volume, quanto maior for a diferença entre o peso do ar frio e o do ar quente, mais a força ascensora é importante.

Um balão com 1 m de diâmetro tem um volume de cerca de 0,4 m<sup>3</sup>, ou seja 400 l. Podemos estimar que um balão assim pode levantar cerca de 200 g (massas do invólucro e da barquinha incluídas).

### **O balão de ar quente nos dias de hoje, ou o renascimento de uma técnica**

No seguimento da invenção dos irmãos Montgolfier, toda a Europa se entusiasma pelos “mais leves que o ar”. A corrida à rapidez começa e, com ela, a moda da travessia da Mancha por aeróstato. A concorrência entre Charles e Pilâtre de Rozier, um dos pioneiros dos voos em balão de ar quente, salda-se pela morte do último: para ir mais depressa, levou com ele um balão a hidrogénio que se inflamou... este episódio alertou para o perigo dos balões, sejam quais forem, e os balões a hidrogénio deixaram brutalmente de ser utilizados. Quanto aos balões de ar quente, serão quase abandonados até à segunda metade do século XX: com efeito não se podia transportar palha suficiente para ir tão longe quanto um balão a hidrogénio. No início do século XX, Louis Godard inventa o queimador a propano, mas este ainda é pouco eficaz para dar aos balões de ar quente uma verdadeira utilidade, será preciso esperar pela década de 60, com a invenção de novos materiais e sobretudo a utilização de queimadores a propano mais eficientes para os ver reaparecer.

As crianças poderão informar-se sobre as novas utilizações do balão de ar quente: seja como suporte publicitário, seja como objecto de tempos livres destinado aos apaixonados de ascensões aéreas.

Será uma oportunidade para a turma examinar um balão de ar quente moderno se tivermos oportunidade. Mas os alunos poderão já fazer pesquisas sobre a estrutura destes engenhos. Notarão a importância de novos materiais utilizados para o fabrico do invólucro – materiais não inflamáveis, ligeiros, resistentes a altas temperaturas – e procurarão as características do queimador e da sua utilização.

O princípio do queimador a propano é muito simples: o gás contido nas garrafas está sob pressão, por isso líquido. Passa por uma serpentina de tubos de vaporização, na qual se detém e se vaporiza: pode então ser queimado. O ar do invólucro é assim aquecido até cem graus e o balão torna-se mais ligeiro do que o volume do ar envolvente. O talento do piloto consiste em aquecer no momento certo. Com efeito, o queimador não é utilizado de maneira contínua mas por solavancos e o efeito não se faz sentir senão ao fim de uma dezena e segundos, o piloto deve antecipar o arrefecimento do balão.