
ARQUIMEDES E A COROA DO REI: PROBLEMAS HISTÓRICOS

Roberto de Andrade Martins
Instituto de Física - UNICAMP
Campinas - SP

Resumo

Este artigo discute a história de que Arquimedes teria descoberto a falsificação da coroa do rei Hieron de Siracusa a partir de medidas da água derramadas pela coroa e por iguais pesos de ouro e de prata. Esta história, relatada pela primeira vez por Vitruvius, é repetida constantemente em livros didáticos e em sala de aula. Esse método atribuído a Arquimedes não seria, no entanto, adequado, por causa dos erros introduzidos pela tensão superficial do líquido. Galileo já suspeitava que Arquimedes teria utilizado outro método, empregando pesagens (balança hidrostática) e não medidas de líquido derramado. Há mais de cem anos, Berthelot encontrou um texto do início da era cristã que confirmava a conjectura de Galileo, pois atribuía a Arquimedes esse segundo método. Apesar disso, autores sem um bom conhecimento sobre a história da ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam a velha interpretação implausível e sem base histórica.

I - Introdução

Muitos livros e enciclopédias repetem histórias que não possuem nenhum fundamento, como a lenda sobre Arquimedes e a coroa do rei Hieron II de Siracusa. Costuma-se dizer que o famoso matemático estava tentando determinar se o ourives que a fabricou havia substituído uma parte do ouro por prata e que a solução surgiu durante um banho. A lenda afirma que Arquimedes teria notado que transbordava uma quantidade de água da banheira, correspondente ao seu próprio volume, quando entrava nela e que, utilizando um método semelhante, poderia comparar o volume da coroa com os volumes de iguais pesos de prata e ouro: bastava colocá-los em um recipiente cheio de água, e medir a quantidade de líquido derramado. Feliz com essa fantástica

descoberta, Arquimedes teria saído correndo, nu, pelas ruas, gritando “eureka” (em grego, evidentemente!)¹.

Como determinar se um suposto relato histórico é fidedigno ou não? Que tipo de critério se pode utilizar para saber se um fato descrito por um autor ocorreu ou não? Esse é o tipo de questão que ocorre imediatamente a um historiador da ciência ao ler descrições como essa.

II - Método de análise

Questões relativas a um passado remoto devem ser discutidas com base em documentos, testemunhos e objetos associados àquele passado remoto. Além disso, questões envolvendo a história da ciência estão sujeitas a uma análise que leva em conta o próprio conhecimento científico atual, uma vez que uma análise anacrônica (embora criticável sob outros aspectos) é válida para tentar-se determinar se um fenômeno é possível ou plausível².

A partir da análise de todos esses fatores, pode-se construir um argumento defendendo alguma conclusão e deve-se deixar claro até que ponto a conclusão é algo bem fundamentado ou apenas uma opinião ou conjectura. Tentar esclarecer, por exemplo, se Arquimedes realmente analisou a coroa do rei Hieron de tal e tal maneira exige uma análise de diversos aspectos:

- 1) Quem descreveu os procedimentos, quando e a partir de que fontes de informação?
- 2) Esses procedimentos são possíveis e plausíveis (do ponto de vista científico)?
- 3) Que documentos, testemunhos e objetos do passado podem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?
- 4) Até que ponto se pode chegar a uma conclusão segura sobre essa questão?

¹ O leitor poderá encontrar um grande número de relatos semelhantes a este. Para citar apenas uma obra recente que contém essa descrição, ver ROBERTS, *Descobertas acidentais em ciências*, pp. 19-21.

² Atualmente existe uma resistência dos historiadores da ciência contra o uso de informações científicas atuais para analisar episódios antigos. No entanto, em certos casos esse uso parece defensável, pois o conhecimento científico atual pode ser necessário para reconstruir o objeto de investigação. Ver, por exemplo, PICKSTONE (1995).

III - A fonte da lenda: Vitruvius

Comecemos pelo ponto (1): como se originou essa versão da história?

Nenhuma das obras de Arquimedes que foram conservadas menciona essa questão. O autor mais antigo que a descreveu foi Marcus Vitruvius Pollio, um arquiteto romano do século I a.C., em sua obra *De architectura*. Eis a tradução do trecho relevante:

“Quanto a Arquimedes, ele certamente fez descobertas admiráveis em muitos domínios, mas aquela que vou expor testemunha, entre muitas outras, um engenho extremo. Hieron de Siracusa, tendo chegado ao poder real, decidiu colocar em um templo, por causa de seus sucessos, uma coroa de ouro que havia prometido aos deuses imortais. Ofereceu assim um prêmio pela execução do trabalho e forneceu ao vencedor a quantidade de ouro necessária, devidamente pesada. Este, depois do tempo previsto, submeteu seu trabalho, finalmente manufaturado, à aprovação do rei e, com uma balança, fez uma prova do peso da coroa. Quando Hieron soube, através de uma denúncia, que certa quantidade de ouro havia sido retirada e substituída pelo equivalente em prata, incorporada ao objeto votivo, furioso por haver sido enganado, mas não encontrando nenhum modo de evidenciar a fraude, pediu a Arquimedes que refletisse sobre isso. E o acaso fez com que ele fosse se banhar com essa preocupação em mente e ao descer à banheira, notou que, à medida que lá entrava, escorria para fora uma quantidade de água igual ao volume de seu corpo. Isso lhe revelou o modo de resolver o problema: sem demora, ele saltou cheio de alegria para fora da banheira e completamente nu, tomou o caminho de sua casa, manifestando em voz alta para todos que havia encontrado o que procurava. Pois em sua corrida ele não cessava de gritar, em grego: εὕρηξα, εὕρηξα [“Encontrei, encontrei!”]. Assim encaminhado para sua descoberta, diz-se que ele fabricou dois blocos de mesmo peso, igual ao da coroa, sendo um de ouro e o outro de prata. Feito isso, encheu de água até a borda um grande vaso, no qual mergulhou o bloco de prata. Escoou-se uma quantidade de água igual ao volume imerso no vaso. Assim, depois de retirado o corpo, ele colocou de volta a água

que faltava, medindo-a com um sextarius³, de tal modo que o nível voltou à borda, como inicialmente. Ele encontrou assim o peso de prata correspondente a uma quantidade determinada de água. Feita essa experiência, ele mergulhou, então, da mesma forma o corpo de ouro no vaso cheio, e depois de retirá-lo fez então sua medida seguindo um método semelhante: partindo da quantidade de água necessária, que não era igual e sim menor, encontrou em que proporção o corpo de ouro era menos volumoso do que o de prata, quando tinham pesos iguais. Em seguida, depois de ter enchido o vaso e mergulhado desta vez a coroa na mesma água, descobriu que havia escoado mais água para a coroa do que para o bloco de ouro de mesmo peso, e assim, partindo do fato de que fluía mais água no caso da coroa do que no do bloco, inferiu por seu raciocínio a mistura de prata ao ouro e tornou manifesto o furto do artesão (VITRUVIUS, De l'architecture, livro IX, preâmbulo, §§ 9-12, pp. 5-7).

Há elementos um pouco estranhos na história. Por que motivo alguém encheria uma banheira até a borda? Para molhar todo o chão do lugar onde a pessoa ia tomar banho? Se o banho havia sido preparado por um escravo (uma hipótese plausível), ele próprio teria que secar todo o chão, depois. Não é muito razoável pensar que ele enchesse a banheira até a borda.

Vitruvius não viveu na época de Arquimedes e sim dois séculos depois, portanto suas palavras não constituem uma informação de primeira mão. Em que tipo de fonte ele baseou-se? Não o sabemos.

IV - Dificuldades físicas do método

Vejamos, agora, o ponto (2): poderia Arquimedes ter utilizado esse método?

Basta um pouco de bom senso para perceber que esse método de medida de volume não pode funcionar. Suponhamos que a coroa do rei tivesse um diâmetro da ordem de 20 cm. Então, seria preciso utilizar um recipiente com raio superior a 10 cm, cheio de água, e medir a mudança de nível ou a quantidade de líquido derramado quando a coroa fosse colocada lá dentro. Suponhamos que a massa da coroa fosse da

³ O “sextarius” era uma medida romana de volume (0,547 litros, em valores atuais), que tinha esse nome por ser equivalente a 1/6 do “congius”. O “congius” correspondia a aproximadamente um galão moderno.

ordem de 1 kg e que a sua densidade (por causa da falsificação) fosse de 15 g/cm³ (um valor intermediário entre a densidade do ouro e a da prata). Seu volume seria então de 67 cm³. Colocando essa coroa no recipiente cheio de água, cuja abertura teria uma área superior a 300 cm², o nível do líquido subiria uns 2 milímetros. É pouco plausível que fosse possível medir essa variação de nível ou medir a quantidade de líquido derramado com uma precisão suficiente para chegar a qualquer conclusão, por causa da tensão superficial da água. Se o recipiente estivesse totalmente cheio, ao mergulhar a coroa dentro dele, poderia cair uma quantidade de líquido muito maior ou muito menor do que o volume da coroa (ou mesmo não cair nada). Portanto, é fisicamente pouco plausível que Arquimedes pudesse utilizar esse tipo de método.

Muitos autores antigos perceberam as dificuldades do método que Vitruvius atribuiu a Arquimedes. Um deles foi Galileo Galilei, que comentou sobre isso em um pequeno trabalho chamado *La bilancetta*. Nesse trabalho, ele afirmou que o método utilizando a quantidade de água que transbordava do recipiente seria “muito grosseiro e longe da perfeição”, ou “de todo falho”, e comentou:

Acreditaria sim que, difundindo-se a notícia de que Arquimedes havia descoberto o furto por meio da água, algum autor contemporâneo terá deixado algum relato do fato; e que o mesmo, ao acrescentar qualquer coisa ao pouco que havia entendido pelos rumores espalhados, disse que Arquimedes havia utilizado a água do modo que passou a ser o universalmente aceito (GALILEO, 1986, p. 105).

Galileo sugeriu que, em vez de utilizar o método descrito por Vitruvius, Arquimedes teria realizado medidas de peso (e não de volume) para resolver o problema, utilizando aquilo que chamamos de “princípio de Arquimedes”: cada corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo igual ao peso do líquido deslocado. Suponhamos que tomamos a coroa e um igual peso de ouro (medidos no ar). Depois, mergulhamos cada um na água, preso a um fio, e medimos novamente seu peso aparente. Esse peso será menor do que o peso anterior (medido no ar), por causa do empuxo. Se os volumes forem iguais, os empuxos serão iguais. Se a coroa contiver prata, seu volume será maior do que o do ouro puro, e seu empuxo será também maior, portanto seu peso na água será menor do que o do bloco de ouro puro. Através de medidas de peso da coroa e de blocos de prata e ouro puros, na água e no ar, é possível determinar-se com grande precisão a proporção de prata utilizada pelo ourives. No seu pequeno tratado, Galileo mostrou como poderia ser construída uma balança especial que permitisse realizar facilmente esse tipo de comparação.

Bem, Galileo não foi um historiador da ciência. Estava se guiando apenas por seus conhecimentos físicos e não por algum documento antigo que indicasse como Arquimedes havia realmente feito seus experimentos. Os argumentos de Galileo são fisicamente plausíveis, mas poderiam não corresponder à verdade histórica. Existiriam documentos, testemunhos e objetos do passado que pudessem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?

V - Evidências antigas

Nenhum historiador encontrou, até hoje, documentos da época de Arquimedes que pudessem esclarecer a questão. No entanto, há mais de 100 anos, Berthelot localizou documentos bastante antigos que favorecem a interpretação de Galileo (BERTHELOT, 1891). Em primeiro lugar, analisando textos medievais, este autor mostrou que, de fato, o método da balança hidrostática era descrito em tratados técnicos antigos para resolver problemas semelhantes ao da coroa. Um texto do século XII, chamado *Mappae clavicula*, fornece indicações precisas sobre como fazer as pesagens dentro da água e, a partir daí, calcular a porcentagem de prata utilizada (BERTHELOT, 1891, pp. 478-9).

Teria sido esse método utilizado por Arquimedes ou teria sido, por exemplo, uma invenção árabe transmitida à Europa durante o período medieval? Essa segunda possibilidade foi excluída por Berthelot, pois ele localizou um poema latino do século IV ou V d.C. (*Carmen de ponderibus et mensuris*), onde está descrito o uso da balança hidrostática para resolver o problema da coroa e onde esse método é explicitamente atribuído a Arquimedes. Comprovou, assim, a existência de uma tradição bastante antiga que interpretava a solução de Arquimedes de um modo compatível com nosso conhecimento científico.

Além disso, Berthelot indicou também que algumas partes do *Mappae clavicula* são traduções palavra por palavra de textos gregos antigos, o que indica uma transmissão de uma tradição muito antiga sobre o processo de pesagem no ar e na água como meio de avaliar as ligas metálicas (BERTHELOT, 1891, p. 485).

Os argumentos e documentos estudados por Berthelot reforçam a idéia de que Arquimedes teria utilizado um método de pesagens no ar e na água e não o método de derramamento de água, descrito por Vitruvius.

VI - Comentários finais

Podemos ter certeza de que essa é a interpretação correta? Não, não podemos. Nós nem sequer sabemos se existiu a coroa do rei Hieron. Porém, supondo-se que a coroa existiu e supondo que Arquimedes descobriu a falsificação, a versão de

Vitruvius é implausível, e a idéia de que Arquimedes utilizou uma balança hidrostática é a mais razoável.

Apesar de Berthelot já ter proporcionado uma boa análise desse problema histórico há mais de um século, autores que não são historiadores da ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam interpretações que carecem de uma boa base.

Além de ser historicamente sem fundamento, essa história passa uma visão falsa sobre Arquimedes e sobre a ciência em geral. Dá a impressão de que a ciência evolui por acidentes, e que Arquimedes nada mais foi do que uma pessoa esperta e excêntrica. Na verdade, Arquimedes foi um excelente matemático, que deu grandes contribuições à estática e à hidrostática e que através desses conhecimentos, tinha condições de determinar um modo adequado de avaliar se ocorreu ou não uma falsificação na coroa do rei Hieron. Além de proporcionar uma visão histórica falsa, essa versão popular faz um serviço negativo ao próprio ensino da física, pois descreve um método inviável de comparação de densidades, em vez de ensinar como se poderia realmente detectar a fraude.

Infelizmente, a lenda da água transbordando na banheira continua até hoje a ser repetida e contada nas escolas e nas universidades e provavelmente continuará a ser contada no futuro.

VII - Referências bibliográficas

BERTHELOT, Marcel. Sur l'histoire de la balance hydrostatique et de quelques autres appareils et procédés scientifiques. *Annales de Chimie et de Physique* [série 6], **23**: 475-485, 1891.

GALILEI, Galileo. La bilancetta – a pequena balança ou a balança hidrostática. Trad. Pierre H. Lucie. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (9): 105-7, 1986.

PICKSTONE, John V. Past and present knowledges in the practice of the history of science. *History of Science* **33**: 203-24, 1995.

ROBERTS, Royston M. *Descobertas acidentais em ciências*. Trad. André Oliveira Mattos, revisão de Oswaldo Pessoa Jr. Campinas: Papirus, 1993.

VITRUVIUS, Marcus. *De l'architecture*. Trad. Jean Soubiran. Paris: Belles Lettres, 1969.