

BIBLIOTECA DE AUTORES CLÁSICOS

IMPRENSA NACIONAL-CASA DA MOEDA, S. A.

Av. de António José de Almeida

1000-042 Lisboa

www.incm.pt

www.facebook.com/INCM.Livros

editorial.apoiocliente@incm.pt

© Imprensa Nacional - Casa da Moeda
e Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa

TÍTULO

Problemas Mecânicos

AUTOR

Aristóteles

DESIGN

www.whitestudio.pt

COMPOSIÇÃO

White Studio

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

INCM

TIRAGEM

800 exemplares

1.ª EDIÇÃO

Abril de 2013

ISBN 978-972-27-2150-9

DEPÓSITO LEGAL N.º 353 700/13

EDIÇÃO N.º 1019311

**OBRAS COMPLETAS
DE ARISTÓTELES**

COORDENAÇÃO DE
ANTÓNIO PEDRO MESQUITA

PROBLEMAS MECÂNICOS

VOLUME IX
TOMO III

Projecto promovido e coordenado pelo Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa em colaboração com o Centro de Estudos Clássicos da Universidade de Lisboa, o Instituto David Lopes de Estudos Árabes e Islâmicos e os Centros de Linguagem, Interpretação e Filosofia e de Estudos Clássicos e Humanísticos da Universidade de Coimbra.

Este projecto foi subsidiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

BIBLIOTECA DE AUTORES CLÁSSICOS

**PROBLEMAS
MECÂNICOS**

—
ARISTÓTELES

TRADUÇÃO

RODOLFO LOPES

(CENTRO DE ESTUDOS CLÁSSICOS E
HUMANÍSTICOS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

REVISÃO CIENTÍFICA

ALBERTO BERNABÉ PAJARES

(UNIVERSIDADE COMPLUTENSE DE MADRID)

CENTRO DE FILOSOFIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA
IMPRESA NACIONAL - CASA DA MOEDA
LISBOA 2013

NOTA PRÉVIA

Para a tradução segui a edição M. E. BOTTECCHIA (1982) pelo facto de constituir a primeira e única proposta de estabelecimento do texto com base em toda a tradição manuscrita. Com a excepção de um único caso em que optei por uma lição divergente (5851a22: τέμνει em vez de τοίνυν), aceitei todas as alterações em relação às edições anteriores, graças às quais foi possível esclarecer o sentido de algumas passagens quase indecifráveis. Já quanto à numeração dos problemas, preferi seguir a ordem tradicional, em detrimento da proposta por BOTTECCHIA, por considerar que as suas razões não são suficientes para uma alteração tão profunda da estrutura (já canónica) do texto (vide *Introdução*, pp. 29-31).

A acompanhar a tradução propriamente dita segue-se um conjunto de elementos acessórios destinados, por um lado, a contextualizar e aprofundar alguns aspectos fundamentais, e, por outro, a agilizar a consulta do volume: uma introdução genérica sobre as condições em que o tratado foi produzido e que explicitasse os seus principais eixos teóricos; um glossário remissivo dos principais termos gregos e respectivas traduções; um índice de autores antigos e outro de modernos; a bibliografia citada; e uma lista das abreviaturas utilizadas para as edições de fragmentos.

As figuras inseridas no corpo de texto da tradução tentam recuperar parte das ilustrações contidas em alguns manuscritos e nas edições renascentistas. A sua inclusão torna bastante mais inteligíveis as descrições geométricas com que Aristóteles exemplifica vários postulados. Visto que estas representações denotam algumas divergências na tradição, segui a reconstituição proposta por BOTTECCHIA na sua tradução italiana (2000) pelo facto de ser integralmente compatível com a edição estabelecida pela autora. Quanto às que constam na introdução, todas elas são originais (com a excepção da figura 1 que equivale à figura 4 da tradução).

Finalmente, resta-me agradecer: ao Doutor António Pedro Mesquita pelo modo diligente e rigoroso como coordenou o volume; ao Doutor Alberto Bernabé Pajares pela frutífera revisão de todo o trabalho que em muito o enriqueceu; à Leonor Ribeiro pela concepção das figuras que acompanham o texto e também pela leitura crítica das secções mais técnicas da introdução.



INTRODUÇÃO

Até Galileu, a mecânica lidava exclusivamente com a utilização e construção de instrumentos destinados a superar constrangimentos naturais. Incluía também a reflexão teórica sobre estes instrumentos e os efeitos que provocavam, mas o seu propósito era manifestamente técnico e, como tal, diverso do das ciências da natureza. O seu objecto de estudo era, pois, o movimento artificial impassível de ser produzido através das capacidades naturais do homem, já que dependia por inteiro de uma força externa. Foram estas as directrizes estabelecidas pelos [*Problemas*] *Mecânicos*, o primeiro tratado sobre mecânica e, por isso, ponto de partida para o desenvolvimento desta disciplina enquanto tal.

Através de uma leitura do tratado à luz de alguns axiomas centrais do sistema filosófico de Aristóteles, torna-se possível a reconstituição de uma doutrina da mecânica – fragmentária, contudo pioneira. Consequentemente, este cruzamento permitirá descortinar o quadro teórico subjacente com que se procura explicar o funcionamento de alguns engenhos mecânicos até aí construídos e utilizados numa base meramente empírica. Esta primeira tentativa trará, pois, duas vantagens acrescidas: por um lado, marcar um ponto de transição de um conhecimento implícito inerente à prática para um saber consciente e sustentado por uma teoria; por outro, aceder ao que seria a mecânica de Aristóteles e esclarecer o seu enquadramento na sistematização dos saberes empreendida por este autor.



1. A «MECÂNICA» ANTES DOS [PROBLEMAS] MECÂNICOS

1.1 BREVE HISTÓRIA DO CONCEITO

A) HOMERO E HESÍODO

Em termos genéricos, o sentido dos compostos de μηχαν- prende-se com a fabricação artificial (μηχανάομαι¹) de engenhos (μηχαναί) para resolver uma dificuldade específica e garantir um desfecho favorável ao agente.

Esta actividade produtiva requer uma capacidade intelectual distante do senso-comum e vocacionada para a resolução de problemas concretos: a μηῆτις². O sujeito detentor deste misto de inteligência prática e capacidade criativa consegue, pelo recurso a um engenho, obter um desfecho benéfico para si próprio perante uma situação desfavorável. O exemplo mais famoso (e também o primeiro) deste tipo de agente é Ulisses, que, na *Odisseia*, consegue ultrapassar as dificuldades que vai encontrando a caminho de Ítaca precisamente porque, detentor desta capacidade, resolve em seu benefício cada um dos vários problemas através do recurso a um determinado engenho; por isso, é chamado, alternadamente, πολύμητις³ («muito astucioso/habilidoso») e πολυμήχανος⁴ («muito engenhoso»)⁵.

Nos Poemas Homéricos há várias ocorrências de compostos de μηχαν-, mas não existe ainda um termo específico para «engenho», sendo, em vez disso, preferida uma conexão metafórica com instrumentos concretos⁶; por exemplo, o tronco ardente com que Ulisses perfura o olho de Polifemo é assemelhado a um trado⁷ (*Od.* IX.385). Já o verbo μηχανάομαι é bastante frequente: a muralha que os Gregos tinham construído junto das naus para sustentar o ataque troiano é qualificada precisamente com esta forma verbal (*Il.* VIII.177).

Uma ocorrência curiosa é a do adjectivo ἀμήχανος com o sentido de «irreparável»⁸. A ausência de engenhos equiparada à impossibilidade de

1. Embora esteja atestado também o verbo μηχανάω, a frequência da forma da voz média (μηχανάομαι) é incomparavelmente superior.

2. A tradução mais adequada será talvez «astúcia», embora o conceito implique também o sentido mais prático de «habilidade». Para um desenvolvimento mais alargado da μηῆτις, vide Detienne & Vernant 1974.

3. E.g. *Il.* I.131, X.382, XIV.82, XXIII.755; *Od.* II.173, IV.763, XIII.311, XXII.34.

4. E.g. *Il.* II.173, IV.358, X.144, XXIII.723; *Od.* I.205, X.401, XVI.167, XXIII.321.

5. A associação directa (isto é, implicada sintacticamente) entre πολύμητις e πολυμήχανος é consumada no *Hino Homérico a Hermes* (319). Neste mesmo texto, é usado

o adjectivo μηχανιώτης (aplicado a Hermes) com o sentido de «engenhoso» (436).

6. Por vezes são utilizadas palavras de sentido análogo, como ὄπλον («ferramenta») em relação aos utensílios de Hefesto (*Il.* XVIII.409), mas nenhuma delas deriva da raiz μηχαν-.

7. Um trado é uma ferramenta usada pelos carpinteiros para furar madeira.

8. Ἀμήχανος tem este significado quando surge associado ao substantivo ἔργον («obra/trabalho/feito»), geralmente no plural, com o sentido de «coisas irreparáveis». E.g. *Il.* VIII.130, XI.310.

solução sugere que a intervenção deste tipo de meios representa o limite máximo da acção, a solução de último recurso.

A capacidade de criar e utilizar engenhos (a μήτις) podia implicar um desfecho que, além de favorável ao agente, seria prejudicial a terceiros, por resultar num logro premeditado. Nestes casos, é comum a articulação com outras palavras como αεικής («vil»): na *Odisseia* é dito que os pretendentes de Penélope «maquinavam actos vis» (*Od.* XX.394, XXII.432: αεικέα μηχανώντο)⁹.

Em Hesíodo (*Th.* 146), surge a primeira ocorrência da palavra μηχανή, não com o sentido de «engenho», antes sugerindo a capacidade para os criar¹⁰. O contexto é o do trabalho artesanal, portanto absolutamente integrado no âmbito da mecânica, mas descreve a acção de figuras divinas (no caso, os Ciclopes¹¹), relegando este tipo de saber para uma dimensão sobre-humana.

B) HISTORIOGRAFIA E DRAMATURGIA

Já na transição para a Época Clássica, começa a estabelecer-se o sentido técnico do conceito, passando o termo μηχανή a assumir a significação genérica de «engenho» enquanto objecto concreto e factual. O verbo μηχανάομαι fica cada vez mais restrito ao contexto de fabricação de objectos materiais destinados a facilitar a vida do quotidiano ou a produzir efeitos que seriam inalcançáveis sem o recurso a este tipo de meios¹².

A maior parte destes casos encontra-se depositada na dramaturgia e também na historiografia, não implicando que todos eles correspondam a factos históricos; pelo contrário. No caso do teatro, convém distinguir as referências incluídas no enredo dramático das que dizem respeito às condições de apresentação, como o famoso expediente do *deus ex machina*¹³. Nos escritos históricos, as reservas são de ordem diversa, e mais difíceis de esclarecer, em virtude do carácter lendário que determinados episódios evidenciam. No que trata aos indícios que possamos tomar como factos, eles serão analisados posteriormente. Quanto às referências entretecidas na ficção, ainda que com fundamento histórico, deixarei apenas um exemplo paradigmático¹⁴.

No contexto da descrição da famosa ponte que Xerxes terá construído para que o seu exército transpusesse o Helesponto (episódio amplamente

9. Para um exame minucioso deste tipo de associação lexical, vide MICHELI 1995: 10, n. 6 para os Poemas Homéricos e CHANTRAINE 1974: III 699 para os outros autores em geral.

10. Este sentido de μηχανή é também sugerido por WEST 1966: 209.

11. Não se trata dos Ciclopes da *Odisseia*, conhecidos pelo desdém em relação a Zeus e aos homens. Em Hesíodo, estas figuras não têm essa carga simbólica, já que apenas são referidos como artifices dos deuses até ao nascimento de Hefesto; fabricaram, por exemplo, o raio de Zeus como prova de gratidão pela sua libertação das profundezas da terra (*Hes. Th.* 501-506).

12. Cf. KRAFFT 1967: 15.

13. Vide infra p. 15.

14. Além destes contextos mais técnicos (ficcionais ou não), os derivados de μηχαν- continuaram a ser usados no sentido metafórico. Por exemplo, a palavra μηχανήμα, usada nos [*Problemas*] *Mecânicos* como termo técnico para «engenho» (e.g. 848a36), é muitíssimo recorrente na tragédia com o sentido de «ardil» (*A. Ag.* 1126, *Ch.* 981, *Pr.* 469, 989; *E. HF* 855, *Ion* 809, 1116, *TrGF* V.2 F 288.1 = *Stob.* 8.1; *S. OC* 762).

descrito por Heródoto¹⁵), Ésquilo concentrou apenas num verso (*Pers.* 722) as directrizes essenciais do espírito da mecânica:

μηχαναῖς ἔξευξεν Ἑλλης πορθμόν, ὥστ' ἔχειν πόρον
através de engenhos uniu o estreito de Hele para obter uma passagem

Perante uma dificuldade imposta pela natureza, uma aporia em sentido literal¹⁶, graças à qual a progressão se afigurava impossível pelos meios convencionais, Xerxes idealiza um engenho (μηχανή) destinado a resolver aquele problema em particular (garantir uma passagem: πορός) e, por conseguinte, garantir um desfecho favorável – no caso, invadir o continente.

C) PLATÃO

Semelhante associação faz Platão no *Crátilo* (425d), quando diz que os tragediógrafos recorrem aos engenhos (μηχαναί) sempre que se deparam com algum embaraço (τι ἀπορώσιν) e convocam os deuses a participar na acção. É evidente que este passo não está isento de um traço irónico, bem como diz respeito a um engenho específico (o do *deus ex machina*); mas sugere uma concepção da mecânica similar à que temos vindo a notar: um recurso extrínseco destinado a resolver uma situação aparentemente irresolúvel – o que vale tanto para o engenho do *deus ex machina* em si relativamente à representação, quanto para a divindade convocada em relação ao enredo. É também esta a ideia que transparece de uma outra passagem do *Crátilo* (415a) em que é sugerida uma etimologia tão criativa quanto paradigmática: diz Sócrates que a palavra μηχανή é composta por μῆκος («grandeza») e ἄνω («atingir um resultado»). Aproximando o sentido de μῆκος do de πολύ («muito»), conclui que μηχανή é algo que permite atingir um resultado de grande envergadura¹⁷.

D) ARISTÓTELES

Termino esta breve incursão em Aristóteles, o autor que estabelece definitivamente a terminologia da mecânica e a adequa aos contextos técnicos. Não quer isto dizer que Aristóteles se limita a este sentido do conceito;

15. Nas *Histórias*, Heródoto descreve pormenorizadamente todo o processo de construção da ponte (VII.33-37, IX.121) e consequente travessia (VII.55-57).

16. À letra, ἀπορία significa «que não pode ser transposto» (isto é, um «beco-sem-saída»); Heródoto, por exemplo, usa o termo abundantemente com este significado (e.g. I.79, II.141). O sentido figurado de «dificuldade» em contexto filosófico é posteriormente cunhado por Platão (e.g. *Prt.* 321c, *Tht.* 151a).

17. Segundo CHANTRAINE 1974: III 700, μηχανή deriva de *μάχην (cujo genitivo seria *μάχηνος), étimo que também deu origem ao termo μήχος; foneticamente semelhante a μῆκος, mas com um sentido ligeiramente diverso: «recurso», «expediente» (*Il.* II.342; *Od.* XII.392; *Hdt.* II.181, IV.151; *Theoc.* II.95).

antes pelo contrário, recorre também às suas implicações metafóricas inclusivamente em contexto filosófico. Por exemplo, quando, na *Metafísica* (I 4, 985a18), acusa Anaxágoras de recorrer ao νοῦς («Intelecto») sempre que encontra uma dificuldade (o verbo usado é ἀπορέω), o termo que utiliza para descrever este «ardil» é exactamente μηχανή.

Quando se refere à mecânica enquanto ciência, Aristóteles usa um de dois termos: μηχανικά e μηχανική. O primeiro, precedido do artigo (τά), diz respeito aos «problemas relacionados com a mecânica» (*Apo.* I 13, 78b37), daí que seja lícito subentender o termo προβλήματα («problemas»). O segundo refere exclusivamente a disciplina em si, como, aliás, era regra nas palavras formadas pelo sufixo -ικ no contexto específico dos saberes; surge, por isso, associada a τέχνη («técnica») (*Metaph.* XIII 3, 1078a16), mas também a ἀπόδειξις («demonstração») (*Apo.* I 9, 76a24).

A expressão τέχνη μηχανική, a mais frequente, foi transposta para o latim sob a forma *mechanica* [ars], da qual se originou a palavra portuguesa «mecânica».



1.2 A MECÂNICA COMO ΤΕΧΝΗ DIVINA

Vimos que nas primeiras manifestações literárias ainda não existe uma concepção da mecânica enquanto τέχνη cujo resultado permite contrariar os constrangimentos impostos pela e por natureza; antes se verifica um uso mais lato dos compostos de μηχαν-. Contudo, isso não implica uma total inexistência de conhecimento sobre os mecanismos e respectivas potencialidades. Pelo contrário; uma análise superficial a algumas passagens sugere a ideia de que esse tipo de saber (e saber fazer) seria, segundo aqueles poetas, pertença exclusiva dos deuses.

Como já foi dito, a principal característica da mecânica consiste em infundir movimento em corpos que, por natureza, não o possuem; isto é, um engenho mecânico terá, por definição, um princípio de movimento artificial imposto pelo sujeito que o fabricou. Porém, a intervenção do agente é apenas necessária na altura da fabricação, estando prescrita uma certa autonomia para o engenho, que aparentemente funcionará por si próprio – este motivo foi, aliás, o epítome da mecânica aplicada de que são prova os vários automatismos criados durante o Período Helenístico. É como se o criador do engenho tivesse o poder de implantar um princípio de vida num ente forjado pela τέχνη, assemelhando-se, assim, aos deuses. Era precisamente esta a noção de mecânica que vigorava implícita em Homero, Hesíodo e na mitologia tradicional. Sabendo que a implantação de um princípio de vida (uma ψυχή, no sentido mais original do termo) estava reservada aos deuses, a mecânica era, pois, uma τέχνη divina.

É também esta a lógica que preside à criação de Pandora por parte de Hefesto (a mando de Zeus): primeiro junta terra e água¹⁸ e depois infunde na mistura força (σθένοϲ) e voz (ἀυδή) humanas (*Op.* 60-61).

Entre as várias criações «mecânicas» deste artífice dos deuses, destaca-se uma (ou um grupo delas) pela sua dupla valência: são, por um lado, engenhos em si e, por outro, ferramentas para criar novos engenhos. Trata-se do conjunto de autómatos forjados por Hefesto para o assistirem: servas douradas, foles automáticos e trípodes. As funções destas criaturas consistiam, fundamentalmente, no auxílio ao deus, não só nas tarefas de artífice, como também em actividades mais básicas do quotidiano: para se deslocar, no caso das servas (*Il.* XVIII.421)¹⁹, e acompanhá-lo (inclusivamente para a assembleia dos deuses), no caso das trípodes²⁰ (*Il.* XVIII.378). Em boa verdade, a palavra ἀυτόματοϲ («autómato») – termo usado em Homero para qualificar estes engenhos (*Il.* XVIII.376) – pode sugerir alguma autonomia ou livre-arbítrio, dada a sua significação mais literal de «por livre vontade»; mas não é esse o caso, na medida em que os autómatos criados por Hefesto dependem exclusivamente das suas deliberações e destinam-se apenas a servi-lo.

Não há quaisquer referências no texto que indiquem o funcionamento interno deste tipo de engenhos nem tampouco qualquer indicação da natureza do seu automatismo; ficando apenas a ideia de que foram animados por um sopro vital semelhante ao que fora infundido em Pandora²¹. Tal como esta, as servas de Hefesto são dotadas de força (σθένοϲ) e voz (ἀυδή), além de que possuem entendimento (νοῦϲ) no espírito (φρήν). Esta caracterização sugere, primeiro, que os autómatos são semelhantes aos humanos, dado que possuem uma capacidade intelectual (νοῦϲ) sedeada num princípio de vida (φρήν)²² que os anima (*Il.* XVIII.419-420); segundo, que, perante a ausência de explicações quanto ao seu funcionamento, estes casos não se baseiam na existência efectiva deste tipo de «tecnologia» à data de composição dos textos, como sugerem alguns autores²³.

18. O τόπος do homem feito a partir do barro é também recorrente noutras textos cosmogónicos, como no *Gênesis* (2.7) hebraico, no *Enki e Nimmah* (30-44) sumério e até na *Iliada* (VII.99). Além de telúrica, esta concepção antropogónica assenta na combinação de determinados elementos em cuja mistura resultante será implantado um princípio de vida que garante a autonomia. A metáfora da «dimensão mecânica» da criação é convidativa.

19. Há autores que identificam estas servas com uma espécie de muletas (note-se que Hefesto era coxo); vide BERRYMAN 2009: 25.

20. A razão desta curiosa companhia prender-se-á com o facto de as trípodes serem um símbolo de poder (apud BERRYMAN 2003: 351).

21. Sobre a intervenção do poder divino na automação dos auxiliares de Hefesto, vide BURFORD 1972: 196-ssq; EDWARDS 1991: 195.

22. A palavra φρήν, em Homero, tem, por vezes, o significado de «princípio de vida»; por exemplo, quando Aquiles é visitado em sonhos pelo fantasma de Pátroclo, é dito que no Hades existem almas (ψυχή) que não têm φρήν (*Il.* XXIII.104). Para uma análise destes e doutros termos análogos na épica homérica, vide PEREIRA 2003: 122-133.

23. Vide HUMPHREY ET ALII 1998: 61-62. Por outro lado, há quem sugira que estas secções do texto homérico sofreram interpolações tardias do tempo de Filon de Bizâncio (PRAGER 1974: 3).

1.3 CONHECIMENTO IMPLÍCITO

A) EGÍPTO

No plano material, as manifestações de um conhecimento implícito da mecânica corporizado por uma prática de matriz empírica começam a surgir desde cedo; porém, como é usual nestes contextos, os casos mais precoces trazem algumas dúvidas quanto à sua validade histórica.

Refere Heródoto (II.195) que, durante a construção de uma das pirâmides do Egípto, foram utilizados engenhos (μηχαναί) destinados a erguer pedras de dimensões elevadas dispostos sequencialmente como elos numa cadeia; quanto à sua constituição, apenas é dito que são feitos de peças de madeira. O carácter duvidoso de tal inovação é desde logo denunciado por Diodoro Sículo (I.63), segundo o qual os Egípcios não dispunham desse tipo de tecnologia²⁴. Além disso, é fisicamente possível que os construtores das pirâmides tivessem erguido os blocos de pedra (mesmo os mais pesados) fazendo uso apenas de uma corda produzida a partir de um tipo de palmeira existente naquele local. Através desse material, os operários puxavam os blocos por rampas dispostas ao longo da construção que tornavam possível o transporte exclusivamente manual²⁵.

Contudo, há dados arqueológicos que sugerem algum grau de validade, ou pelo menos de verosimilhança, ao testemunho de Heródoto. Foi descoberto no Egípto, durante uma escavação decorrida em 1896, uma miniatura de uma espécie de suporte em forma de berço para pedras de alvenaria (de meados do século xv a. C.) que se encontrava no Templo de Hatshepsut (faraó reinante na época a que pertence o objecto). Ainda que de dimensões muito reduzidas (236 mm x 105 mm x 51 mm), este objecto singular aduz informações pertinentes à discussão. É que, segundo o costume egípcio daquela época, a edificação de um templo dedicado a um faraó era precedida por uma cerimónia de inauguração, durante a qual se colocava objectos votivos no local de implantação, entre os quais poderiam constar miniaturas representativas das ferramentas a utilizar durante a construção²⁶. Ora, apesar de este objecto em particular não validar o testemunho de Heródoto (dado o lapso temporal de dez séculos), ele permite pelo menos supor que o autor tenha visto algum outro similar. Em todo o caso, a descoberta prova que já no século xv a. C. se usava «engenhos» por mais rudimentares que fossem.

24. Também MICHELI 1995: 12 duvida da descrição de Heródoto.

25. Apud EDWARDS 2003: 346-349.

26. As informações sobre este objecto constam na ficha técnica do *Metropolitan Museum of Art* de Nova Iorque, onde se encontra depositado (n.º 96.4.9), a qual está disponível na página web oficial da instituição.

Ainda sobre o Egipto, o mesmo Heródoto (II.48) refere outro tipo de mecanismo destinado a contextos religiosos. Segundo o historiador, este povo prestava também culto a Dioniso²⁷; e, entre o cortejo dedicado à divindade, costumava seguir uma figura (com cerca de 45 cm de altura) cujo falo era manipulado através de cordas operadas por uma mulher – semelhante às actuais marionetas²⁸.

B) REPRESENTAÇÕES DO UNIVERSO

Em território grego, as primeiras referências a engenhos dizem respeito aos filósofos chamados pré-socráticos. A Tales é atribuída uma maquete do universo, mas não é certo que esta criação tivesse componentes móveis, isto é, que fosse algo de «minimamente mecânico». Segundo Cícero (*Rep.* I.22), este primeiro modelo teria uma estrutura bastante rudimentar, tendo mais tarde sido melhorado e acrescentado por Eudoxo e Arato, e servido de ponto de partida para o próprio Arquimedes. Anaximandro, a quem é atribuída uma explicação de certo modo «mecânica» do universo, pelo menos metaforicamente²⁹, terá, segundo crêem alguns autores, reproduzido as suas concepções teóricas num engenho concreto e material, cujo funcionamento não seria de todo rudimentar³⁰. Tenham estes primeiros autores de facto construído este tipo de mecanismos ou não, é certo que, pelo menos, funcionaram como modelo a superar. A partir praticamente da Época Clássica, a construção destas representações materiais do universo foi adquirindo cada vez mais importância, sendo cultivada de um modo quase compulsivo no Período Helenístico³¹.

C) NA ARQUITECTURA

Num contexto mais prático, os engenhos mecânicos começaram a ser utilizados com alguma frequência na arquitectura, nomeadamente para o levantamento e transporte de grandes blocos de pedra. A fase prévia de construção dependia de duas técnicas: uma consistia em esculpir saliências ou orifícios (geralmente em forma de U) nos blocos de alvenaria; e a outra,

27. Em boa verdade, Heródoto refere-se ao deus egípcio Osíris que identifica com Dioniso.

28. Políbio (XII.13.9) dá conta de um engenho equiparável no mundo grego, mas bastante mais tardio (até posterior aos *[Problemas] Mecânicos*): um caracol que, nos cortejos da Atenas de Demétrio de Faléron, circulava e expelia um muco aparentemente de forma automática (talvez fosse pilotado por um homem no interior).

29. Por exemplo em DK A 11 (= Hippol. *Haer.* I.6.4-7), onde se diz que o universo é um conjunto de anéis concêntricos (que representam os astros) a girar a diferentes velocidades.

30. Vide COUPRIE ET ALII 2003: 175-179; HAHN 2001: 177-218. Tradicionalmente também se atribui a Anaximandro (DK A 1 = D.L. II.1; A 2 = Stuid. alpha 1987.1 «Ἀναξίμανδρος») a invenção do *gnomon* (uma espécie de relógio solar), mas é sabido que este engenho foi criado pelos Babilónios (Hdt. II.109). É, pois, provável que Anaximandro o tenha introduzido na Grécia – cf. KIRK ET ALII 1984: 103-104.

31. Para um desenvolvimento mais alargado desta questão, vide BERRYMAN 2009: 81-87, 216-230.

subsequente, em fixar nesses pontos grandes traves de madeira que serviam de alavancas. Este é um caso clássico de conhecimento implícito, já que aquela técnica punha em prática o chamado «princípio das alavancas» cerca de dois séculos antes de vir a ser estabelecida nos [*Problemas*] *Mecânicos*³².

D) APLICAÇÃO MILITAR

No discurso histórico, a palavra *μηχανή* é, quase exclusivamente, sinónimo de «arma», sendo a mecânica associada a uma ciência militar. Tanto em Heródoto como em Tucídides, os referentes variam desde acepções mais genéricas como «meios bélicos» até objectos mais específicos geralmente no contexto da artilharia³³. Esta associação quase absoluta da mecânica ao universo da guerra não se justifica por uma codificação própria do discurso histórico; antes tem a sua razão de ser numa tendência de matriz económico-militar que se impôs por volta dos finais do século v a. C. Nesta altura, a fase mais dispendiosa de um confronto bélico era o cerco a cidades fortificadas, visto que, perante a inexistência de meios para penetrar as defesas deste tipo, os exércitos mantinham indefinidamente as mesmas posições no terreno sem avanços significativos, consumindo recursos sem qualquer contrapartida³⁴. Quer isto dizer que os meios de artilharia eram diminutos ou ineficazes.

Era precisamente esta lacuna que a mecânica poderia preencher através da criação de novos engenhos que permitissem contornar ou minimizar o problema do cerco; e foi também esta a conclusão a que alguns políticos da época chegaram. Começaram, por isso, a contratar especialistas na construção de aparelhos bélicos sofisticados (alguns provavelmente inauditos) que não pudessem ser neutralizados pelo inimigo, bem como causassem estragos consideráveis naquele tipo de defesa. Inclusivamente o próprio Péricles, segundo refere Plutarco (*Per.* 27.3), chegou a contratar um especialista chamado Ártemon como último recurso; depois de o exército ateniense ter sofrido um duro golpe na ilha de Samos, o estadista recorreu aos conhecimentos deste *μηχανικός* (assim lhe chama Plutarco) para otimizar o cerco àquela cidade³⁵.

A aplicação da mecânica à ciência militar não só possibilitava avanços consideráveis nas técnicas de combate, como também chegou, num dado momento, a elevar o estatuto social dos «mecânicos» bélicos a um ponto

32. COULTON 1974: 1-2 chega a sugerir que a técnica de transporte e levantamento usada na arquitectura grega desde o século VI a. C. antecipa o conteúdo do Problema 29 («sobre o transporte de pesos numa trave de madeira»). O mesmo autor (p. 16) sugere que esta prática foi importada do Egipto.

33. Para um levantamento lexicológico da palavra *μηχανή* com sentido militar em Heródoto e Tucídides, vide MICHELI 1995: 13.

34. Sobre este assunto, vide GARLAN 1974: 122-sqq.

35. Plutarco aponta Éforo (*FGH* 70 F 194) como fonte desta decisão de Péricles. Note-se que o único testemunho para o fragmento referido é justamente esta passagem da *Vida de Péricles*; cf. Plin. *Nat.* VII.202; D.S. XXVIII.3.

considerável. O caso mais paradigmático teve lugar na ilha de Siracusa nos inícios do século IV a. C. Reinava o tirano Dionísio I, cuja agenda política dependia de um forte aparelho militar, pelo que promoveu um recrutamento massivo destes especialistas por todo o Mediterrâneo. Vindos de Cartago, da Itália ou da Grécia, estes primeiros engenheiros militares gozavam de inúmeras regalias, avultados pagamentos e excelentes condições de trabalho que Dionísio oferecia a quem apresentasse novas soluções para o seu exército. Por conseguinte, desta inovação surgiu a primeira catapulta da história militar do ocidente³⁶.

E) NO TEATRO (O *DEUS EX MACHINA*)

Em meados do século V a. C., o termo μηχανή passou a estar também associado ao mundo do teatro; mais propriamente, às condições de representação. Neste contexto muito específico – quase técnico –, a palavra designava o famoso expediente do *deus ex machina*³⁷. Muito sucintamente, este engenho consistia numa espécie de grua colocada nos bastidores que, a dada altura, era erguida até entrar em cena, colocando a personagem dentro dela numa posição superior à acção; e o actor ocupante desempenhava o papel de um deus ou herói que resolvia um conflito gerado no enredo³⁸.

Este efeito só não foi usado por Sófocles. Eurípides, por seu turno, recorria várias vezes ao *deus ex machina*, o que levou Aristófanes a ridicularizá-lo por isso: na *Paz*, coloca em palco um escaravelho voador que pretende parodiar a personagem Belerofonte (de uma tragédia homónima entretanto perdida) de Eurípides que tenta tomar de assalto o Olimpo com Pégaso, um cavalo alado. Curiosamente, nesta passagem da *Paz* (Ar. *Pax* 154-179), é referido o operador do engenho (μηχανοποιός), a quem a personagem pede acrescida cautela³⁹.

F) NA MEDICINA

Já nos finais do século V a. C., a mecânica alastra-se ao âmbito da medicina, particularmente ao campo das técnicas de intervenção cirúrgica e ortopédica. Uma curiosidade desta aplicação é o facto de produzir engenhos de dimensões admiravelmente reduzidas – inéditos até então. Nos tratados hipocráticos começam a surgir diversas referências a instrumentos destinados,

36. Esta estratégia de Dionísio I de Siracusa é reportada por Diodoro Sículo (XIV.42); sobre as implicações históricas deste passo, vide MICHELI 1995: 13-14; MARSDEN 1969: 48-64. Para uma listagem exaustiva das fontes textuais sobre a evolução da artilharia, vide CAMPBELL 2004: 179-211.

37. O engenho em si foi recebendo várias designações, a maior parte devidas a Aristófanes: κρεμάθρα («aparelho de suspensão») em *Nú.* 218; αἰώρημα («objecto suspenso») em *Pax* 80; e κράδη (literalmente «ramo de figueira»; tem uma acepção cômica) em fr. 160 KA = POxy. 2742 1.8.

38. Sobre o funcionamento deste engenho, vide FENSTERBUCH 1934: 1400-1405; sobre as implicações dramáticas e alguns exemplos do seu uso, vide TAPLIN 2003: 11-16, 52-56.

39. Da tragédia *Belerofonte* restam apenas alguns fragmentos (*TrGF* V.2 FF 285-315). Semelhantes críticas tece Platão aos trágicos em geral que acusa de recorrerem a este expediente sempre que se encontram em apuros (*Cra.* 425d).

por exemplo, a tratar fracturas ósseas e deslocamentos de articulações, como cunhas e pequenas alavancas (*Fract.* 31). A extrema utilidade destas inovações técnicas é reconhecida inclusivamente pelos próprios autores dos textos. Por exemplo, no tratado sobre articulações (*Art.* 42), é dito que os médicos que criaram um certo instrumento (μηχάνημα) são dignos de admiração, já que com o auxílio da sua invenção torna-se possível resolver problemas que as mãos do cirurgião não conseguem⁴⁰.

40. Sobre a tecnologia mecânica usada nos tratados hipocráticos, vide KNUTZEN 1963.

2. OS [PROBLEMAS] MECÂNICOS

2.1 ESTABELECIMENTO DA MECÂNICA COMO DISCIPLINA

É unânime que, perante a inexistência de testemunhos mais antigos, o texto dos [Problemas] *Mecânicos* inaugura a história da mecânica, já que constitui a primeira reflexão consciente e teórica sobre esta ciência enquanto tal. Como afirmou o físico e historiador francês Pierre Duhem, referindo-se a este tratado em particular, Aristóteles é o pai da mecânica racional⁴¹. Não é que o tratado encerre todos os fundamentos teóricos da mecânica aristotélica, já que, como veremos, é necessário recorrer a outras obras do *corpus* para os circunscrever. Além disso, no texto comparece também uma vertente prática, dado que um dos seus principais objectivos é explicar o funcionamento de vários mecanismos em concreto.

Constituem, pois, o seu assunto e objectivo principais o esclarecimento da prática através da teoria e, principalmente, o estabelecimento dessa teoria enquanto conjunto de axiomas. Ora, foi muito graças a este registo que a mecânica viria a ser amplamente desenvolvida no Período Helenístico, quer no que trata à prática, através do «avanço tecnológico» que testemunham os inúmeros mecanismos criados nesta época, quer no que respeita à teoria e metodologia, nomeadamente na sistematização do conhecimento mecânico por categorias temáticas ou especialidades⁴².

Porém, dado que o tratado se inscreve numa tradição já secular, cumpre averiguar o porquê de só no século IV a. C. se teorizar sobre uma prática tão anterior. Esta demora ficou a dever-se a duas ordens de razões.

Em primeiro lugar, o factor psicossocial. Desde as fundações da pólis democrática que as actividades produtivas e técnicas eram encaradas com um certo desdém: o trabalho físico estava reservado para os escravos (também para alguns cidadãos menos abastados), ao passo que a maioria dos habitantes com plenos direitos se dedicava à vida política da cidade.

41. DUHEM 1905: I 8.

42. Para um conspecto geral da mecânica aplicada à tecnologia no Período Helenístico, vide LLOYD 1973: 91-112. A primeira sistematização da disciplina em várias especialidades surge em Pappo de Alexandria (VIII.1024.11-sqq.), ainda que o próprio confesse estar a reproduzir um conhecimento já consolidado anteriormente; a este respeito, vide BERRYMAN 2009: 50-54.

Sendo a mecânica uma ciência manifestamente prática cujo sentido apenas se consubstancia na criação efectiva de objectos materiais, torna-se, pois, evidente que não se incluisse nas preocupações dos cidadãos. Além disso, acresce o facto de a abundância de mão-de-obra escrava travar quaisquer avanços tecnológicos que pudessem minimizar o esforço do trabalho físico. No que respeita às aplicações na arquitectura, guerra (esta bastante tardia) e teatro, estes são apenas casos excepcionais que não têm grande influência na vida quotidiana da cidade.

Segundo, o factor sócio-intelectual. Até Aristóteles, os ramos do saber ligados à tecnologia não eram considerados formas de ciência aplicada, antes cabiam sob a designação geral de «ofícios» (τέχναι). Nas concepções filosóficas mais «fiscalistas» como as de alguns pré-socráticos, teóricas como a de Platão, ou mais dirigidas à capacidade discursiva como a dos Sofistas, não cabiam áreas como a mecânica; não enquanto objecto de saber e muito menos enquanto disciplina⁴³. Esta orientação demasiadamente teórica da filosofia criou, por isso, enormes entraves conceptuais e metodológicos que só viriam a ser superados pela nova divisão dos saberes sugerida por Aristóteles⁴⁴. Portanto, será somente nos seus textos que a mecânica será definida e traçado o seu âmbito: não só na secção inicial dos [*Problemas*] *Mecânicos*, mas também noutras passagens do *corpus*, como veremos posteriormente. Acima de tudo, é neste tratado em particular que a mecânica se fixa como disciplina, ao conglomerar um conjunto de reflexões teóricas que, posteriormente, aplica à prática.

2.2 ÂMBITO E EIXOS TEÓRICOS DA MECÂNICA

A) DE QUE TRATA A MECÂNICA

Como é comum em Aristóteles, os parágrafos iniciais de um tratado destinam-se a esclarecer o assunto a abordar. No caso dos [*Problemas*] *Mecânicos*, essas considerações prévias focam os dois fundamentos essenciais que presidem à explicação dos 35 problemas: primeiro, a circunscrição teórica da mecânica e o seu enquadramento no sistema das ciências; segundo, o estabelecimento do círculo como princípio basilar do funcionamento dos mecanismos.

Do geral para o particular, Aristóteles começa por inscrever a mecânica na técnica, isto é, no âmbito das actividades produtivas que pressupõem um conhecimento universalizante dos princípios e causas dos fenómenos em-

43. Note-se que na listagem de disciplinas apresentada por Platão no Livro VI da *República* a mecânica não é mencionada.

44. Sobre o papel de Aristóteles na refundação da ciência, vide LLOYD 1970: 99-124.

píricos, razões pelas quais se demarcam da simples experiência (ἐμπειρία)⁴⁵. É, pois, através deste tipo de saber que o Homem pode superar os constrangimentos da natureza:

«Em muitos casos, de facto, a natureza produz efeitos opostos aos nossos interesses; é que a natureza actua sempre da mesma maneira e de forma linear, enquanto que os nossos interesses variam muitas vezes. Assim, sempre que é preciso fazer alguma coisa contra a natureza, um obstáculo [ἀπορία] surge através da dificuldade e torna-se necessário recorrer à técnica [τέχνη]. Por isso, à secção da técnica que nos assiste perante esse tipo de obstáculos chamamos mecânica.» ([*Problemas*] *Mecânicos* 847a13-20.)

Mais especificamente, pertencem à disciplina da mecânica «os casos em que o mais pequeno domina o maior, e que os objectos com um impulso [ρόπή] reduzido movimentam grandes pesos⁴⁶ [βάρος]» (847a22-23). É, no fundo, em torno destes dois conceitos fundamentais que toda a ciência mecânica orbita, pois que todo e qualquer mecanismo consiste genericamente na superação de uma força natural (o peso) por meio de outra artificial e externa (o impulso) que comparece especificamente para esse efeito. Além disso, essa força criada pelo engenho (pela μῆτις, diríamos) permite que o mais fraco prevaleça sobre o mais forte; em última instância, potencia a acção humana a ponto de dominar a própria natureza.

Quanto ao seu estatuto epistemológico, os problemas mecânicos ocupam uma posição intermédia:

«Comparados aos problemas físicos, [os mecânicos] não são absolutamente idênticos nem completamente diversos, antes comuns às especulações matemáticas e físicas: o ‘como’ [τὸ ὡς] é demonstrado pela matemática e o ‘acerca de’ [τὸ περὶ] pela física.» ([*Problemas*] *Mecânicos* 847a25-28.)

O curioso jogo entre o «como» e o «acerca de» parece sugerir que as questões relacionadas com a mecânica devem a sua explicação às ciências matemáticas, ainda que se situem no campo da física; isto é, o funcionamento de um determinado mecanismo desenrola-se numa dimensão física (o «acerca de»), mas a explicação desse funcionamento assenta em pressupostos matemáticos (o «como»). Em sentido análogo, é dito na *Metafísica* (XIII 3, 1078a14-18) que a óptica, cujo estatuto epistemológico é igual ao

45. A este respeito, vide *Metaph.* I 1, 981a5-8, 27-30 (cf. *EN* VI 4, 1140a1-23).

46. O conceito de «peso» é bastante problemático, dado que também pode referir-se ao que hoje se entende por «massa»; sobre esta questão vide n. 110. De modo a evitar anacronismos, uso indiscriminadamente o termo «peso» independentemente da noção física a que diga respeito.

da mecânica (e também ao da harmónica), não trata das representações visuais *enquanto* tais, mas sim *enquanto* linhas e números. Nos *Segundos Analíticos* (I 9, 76a24; 13, 78b37), Aristóteles é ainda mais explícito, quando diz que as demonstrações geométricas estão ligadas às mecânicas e ópticas, ao passo que as harmónicas dizem respeito às aritméticas. A demarcação particular da geometria no quadro geral das matemáticas como referente teórico específico das explicações mecânicas acaba por ser consumada neste tratado de forma particularmente evidente.

B) SUPREMACIA DO CÍRCULO

Continuando o itinerário explicativo do geral para o particular (técnica, matemática, geometria), Aristóteles reduz a explicação de todas as questões desta ordem a um só princípio:

«O princípio fundamental de todo este tipo de fenómenos é o círculo.»
 ([*Problemas*] *Mecânicos* 847b16-17.)

É, de facto, evidente, ao longo do tratado, a preocupação em descrever o funcionamento e as potencialidades de todos os engenhos em função do axioma segundo o qual tudo depende da forma circular, referida como «a origem de todas as maravilhas» (848a12). Por esse motivo, é dedicada uma segunda parte introdutória à descrição deste ente geométrico (848a16-b1); segue-se uma apresentação esquemática das suas propriedades e potencialidades⁴⁷:

- i) conjugação de opostos como côncavo/convexo, grande/pequeno e movimento/repouso;
- ii) quando o raio se movimenta continuamente, o ponto de partida torna-se necessariamente ponto de chegada;
- iii) quanto mais afastado um ponto do raio estiver do centro, mais rapidamente/facilmente⁴⁸ se desloca;
- iv) os círculos podem ser combinados entre si e, por isso, produzir um efeito conjunto mais favorável.

47. Note-se que a descrição do círculo se refere, por vezes, ao ente geométrico em abstracto e, por outras, a um determinado objecto concreto com forma circular ou que assuma um movimento circular.

48. Sobre a equivalência destes dois conceitos, vide infra p. 28.

C) OS MOVIMENTOS DO CÍRCULO

Segundo os [*Problemas Mecânicos*], o círculo comporta em si dois movimentos (1, 848b10-12)⁴⁹; ou melhor, a trajectória que um objecto descreve ao deslocar-se por uma circunferência é composta por dois movimentos. Um deles segue na direcção da tangente e o outro na direcção do centro do círculo; o primeiro é «de acordo com a natureza» (κατὰ φύσιν) e o outro é «contra a natureza» (παρὰ φύσιν):

«Isto acontece com qualquer raio: desloca-se pelo arco de circunferência, de acordo com a natureza na direcção da tangente e contra a natureza na direcção do centro.» (1, 849a14-16.)

A descrição é esclarecedora e até surpreendente: o movimento circular é composto por dois movimentos rectilíneos combinados. Aristóteles explica o fenómeno (1, 848b35-849a22) recorrendo à relação existente entre os dois lados perpendiculares de um paralelogramo e a sua diagonal⁵⁰:

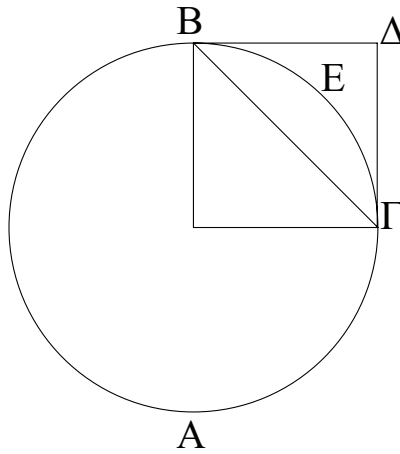


figura 1

A deslocação de B a Γ produz-se através da combinação de dois movimentos em simultâneo: $B\Delta$ (tangencial) e $\Delta\Gamma$ (normal). Dado que essa proporção não se verifica, o movimento de B a Γ é descrito pelo arco E.

49. DE GANDT 1982: 128 observa que esta concepção é incompatível com a doutrina de Aristóteles segundo a qual o movimento circular é simples. Contudo, há que ter em conta que essa concepção só se aplica aos corpos celestes (cf. BODNÁR & PELLEGRIN 2009: 281-283; MICHELI 1995: 58-60).

50. Trata-se de uma intuição da chamada regra do paralelogramo usada ainda hoje para o cálculo da adição de vectores (vide FULLER 1954: 167-168); este será o primeiro testemunho deste tipo de explicação do movimento circular (apud DE GANDT 1982: 120).

O problema será saber em que consistem exactamente os atributos «de acordo com a natureza» e «contra a natureza» – questão discutida já desde os comentadores renascentistas⁵¹. O texto não é esclarecedor: além da equivalência «de acordo com a natureza»/tangente e «contra a natureza»/centro, apenas é dito, em termos não muito claros, que o movimento «contra a natureza» consiste numa espécie de «efeito de desvio» (ἐκκρούω) na direcção do centro (1, 849a3-22).

Em primeiro lugar, convém manter algum distanciamento em relação à explicação mais abrangente do sistema físico aristotélico: o movimento (enquanto mutação ou passagem de potência a acto) «de acordo com a natureza» deve-se a uma causa eficiente intrínseca ao próprio ente, ao passo que o «contra a natureza» exige uma causa externa. É nesta diferença fundamental que assenta a classificação dos entes: naturais quando comportam em si mesmos o princípio de movimento e da técnica se este lhes for exterior. Por exemplo, na *Física* (VIII 4, 255a20-23) é dito que a alavanca por si só não consegue causar movimento (já que carece de uma causa eficiente externa), ao passo que algo que esteja quente em acto consegue, por si só, movimentar o que está quente em potência. No caso da mecânica, por se enquadrar em absoluto na técnica, a distinção entre «de acordo com a natureza» e «contra a natureza» dependerá de outras condições.

Várias propostas têm sido adiantadas, como o paralelo com as estrelas cadentes descritas nos *Meteorológicos* (I 4, 342a16-27)⁵², ou a equivalência ao movimento de uma esfera tratado na *Física* (VII 2, 244a2-4)⁵³. São possibilidades válidas, contudo um tanto distantes do contexto, dado que dizem respeito aos corpos celestes. A este propósito, vale a pena lembrar a concepção cosmológica dos movimentos natural e antinatural que Aristóteles sustinha a propósito dos elementos (terra, água, ar e fogo): cada corpo dirige-se «de acordo com a natureza» para junto do lugar natural; por exemplo, uma pedra cai para o chão porque é maioritariamente constituída por terra, e as chamas sobem porque o elemento fogo se situa acima da superfície. Mas esta hierarquia só se aplica ao nível sublunar, dado que no espaço celeste domina um elemento único e perfeito (a quintessência), pelo que os corpos desta dimensão descrevem movimentos circulares também perfeitos⁵⁴.

Ainda que não se preste a um decalque perfeito para a explicação dos dois tipos de movimento, o modelo cosmológico oferece uma base sólida para repensar a questão. O pressuposto basilar é que, no quadro geral do movimento, os corpos admitem uma de duas hipóteses: seguem na direcção do elemento de que são maioritariamente compostos, se assumirem o movimento «de acordo com a natureza»; seguem noutro sentido, se forem movimentados contra aquela direcção natural, isto é, se forem levados

51. Sobre a discussão do problema nos autores do Renascimento, vide BOTTECCHIA 2000: 151-153.

52. Vide MICHELI 1995: 60-sq.

53. Vide KRAFFT 1970: 64-sq.

54. Esta distinção é abordada na *Física*, sobretudo no Livro VIII.

«contra a natureza». Transpondo esta ideia geral para o círculo, pode dizer-se que, enquanto se movimenta na trajectória circular, um corpo *combina* as duas direcções (daí que produza «maravilhas»): segue na direcção da tangente («de acordo com a natureza») e, simultaneamente, na do centro («contra a natureza»). Serão, pois, duas subdivisões (concomitantes e indissociáveis) detectáveis no fenómeno global. Admitindo que, neste contexto, o quadro geral do movimento corresponde ao período durante o qual a força aplicada permanece em actividade e garante a continuidade do movimento circular, uma hipótese será classificar de «contra natureza» o movimento em direcção ao centro, pelo facto de este se manter em repouso. Ora, algo que, em movimento, se desloca para algo em repouso estará de algum modo «contra a natureza».

A outra hipótese radica na observação directa dos fenómenos. Imaginemos uma chávena de café. Quando impomos um movimento circular ao líquido pela acção de uma colher (a força externa), é notório que, por um lado, o centro da chávena tende a congrega todo o café em movimento; daí que se forme um redemoinho. Por outro lado, é também evidente que o líquido se dirige simultaneamente para fora do redemoinho, isto é na direcção da tangente (neste caso, os rebordos da chávena); de tal forma que, se girarmos a colher com muita intensidade, o café será expelido precisamente nessa direcção. Deste modo, o movimento na direcção da tangente será «de acordo com a natureza» pelo facto de parecer levar o objecto na trajectória inicial da força aplicada, antes de ser influenciado pelo centro imóvel que parece atraí-lo⁵⁵ «contra a natureza». No fundo, Aristóteles parece intuir os conceitos de força centrífuga (afastamento do centro) e força centrípeta (atração pelo centro). Embora não tenha ainda condições teóricas para os formular, o seu modelo explicativo da mecânica trá-los implícitos enquanto noções indistintas.

D) REDUÇÃO DOS PROBLEMAS À BALANÇA

A redução de todos os fenómenos a uma só causa é, como foi dito, uma das principais linhas de força do tratado⁵⁶. Já vimos que no plano teórico ou geométrico tudo se resume à acção do círculo e veremos agora que, num âmbito mais concreto, todos os mecanismos podem ser explicados à luz de um só:

«Por conseguinte, as questões relacionadas com a balança reportam-se ao círculo, com a alavanca à balança, enquanto que todos os outros casos semelhantes relacionados com movimentos mecânicos se reportam à alavanca.» ([*Problemas*] *Mecânicos* 848a11-14.)

55. Aristóteles fala em «desvio». Cf. supra p. 22

56. Sobre a importância desta atitude metodológica, vide KRAFFT 1970: 150-sqq.

O correlato material do conceito geométrico de círculo, ao qual se reportam todas as explicações, será, pois, a balança. Ao longo do tratado, este pressuposto é recorrente e diz respeito tanto às balanças vulgares⁵⁷ como às de braços desiguais – estas de funcionamento bem mais complexo. De acordo com a descrição do Problema 20, este tipo de balança divergia do convencional pelo facto de a secção do braço que recebe o objecto ser inferior àquela que indica a medida⁵⁸. Além disso, também o modo de determinar peso é distinto: ao invés de ser necessário equivaler ao peso do objecto o dos pesos-padrão, o resultado era obtido por um contrapeso único aposito no braço em que estava gravada uma escala⁵⁹. Esse contrapeso poderia ser variável, indicando a medida na escala (a chamada balança romana), ou fixo, sendo o fulcro o elemento variável (balança de Bismar). Dado que o contrapeso está fixo à balança (20, 853b32) e esta tem vários cabos (20, 854a6-7), parece mais provável que a balança referida no Problema 20 seja deste segundo tipo⁶⁰.

Em todo o caso, é curioso que Aristóteles reduza todos os problemas mecânicos à balança, quando todas as balanças funcionam pelo chamado «princípio das alavancas». Será talvez sintoma de que a dedução deste princípio tenha partido da observação de balanças e não de alavancas e, conseqüentemente, não se possa atribuir a autoria desta lei, pelo menos enquanto lei, a Aristóteles; ainda que seja indiscutível que a conhecia implicitamente.

D) O PRINCÍPIO DAS ALAVANCAS
E O MOVIMENTO LOCALIZADO

Convencionalmente, a primeira demonstração do princípio das alavancas é atribuída a Arquimedes. Eis a formulação:

«[Duas] magnitudes comensuráveis estão em equilíbrio quando a distância [do ponto de apoio] é reciprocamente proporcional ao peso» (*Sobre o Equilíbrio dos Planos* prop. 6).

Simplificando os resultados a que Arquimedes chega na dedução subsequente⁶¹, podemos dizer que dois corpos estão em equilíbrio quando o resultado da multiplicação entre a distância ao ponto de apoio e o peso é o

57. Balanças com dois braços iguais; dos quais um recebe o objecto a ser pesado e o outro o equivalente em pesos-padrão. Por exemplo, um objecto que pese 2kg exigirá os mesmos 2kg em pesos-padrão no braço oposto para que a balança fique perpendicular ao cabo, permitindo assim aferir a medida exacta.

58. Nos [*Problemas Mecânicos*, esta secção é chamada «falange» (φάλαγξ; 20, 853b25).

59. Este tipo de balança seria comum no tempo de Aristóteles, dado que já Aristófanes dá testemunho dele na *Paz* (1240-1249), quando refere uma prática ilícita dos vendedores que consistia em polvilhar chumbo sobre o contrapeso de modo a inflacionar o valor da pesagem.

60. Para uma discussão do problema, vide BOTTECCHIA 2000: 189-194; DAMEROW ET ALII 2000: 6-sqq.

61. Vide DIJKSTERHUIS 1987: 289-304.

mesmo para ambos; isto é, a distância ao ponto de apoio e o peso são diretamente proporcionais:



figura 2

$$d^A p^A = d^B p^B$$

d^A : distância de A ao ponto de apoio

p^A : peso de A

d^B : distância de B ao ponto de apoio

p^B : peso de B

A e B estarão em equilíbrio, se o produto entre d^A e p^A for igual ao produto entre d^B e p^B . Exemplificando, consideremos que o corpo A tem 10 kg e o corpo B tem 5 kg. Se A distar 1m do ponto de apoio e B distar 2m do mesmo ponto de apoio, A e B estarão em equilíbrio: $1 \times 10 = 2 \times 5$.

Estas conclusões, a que Euclides supostamente também terá chegado⁶², dependem fundamentalmente da relação entre a distância ao ponto de apoio e o peso dos dois corpos. Além disso, o propósito deste método é explicar o equilíbrio de dois corpos nestas condições; isto é, o modo como um e outro adquirem uma forma de repouso interdependente.

Nos [*Problemas*] *Mecânicos*, cujo contexto envolve objectos *em movimento*, Aristóteles implica as mesmas conclusões mas a partir de uma perspectiva diferente. Mas antes de entrar no texto, convém abordar, ainda que de modo sucinto, a concepção aristotélica de movimento, a fim de que as considerações dedicadas à mecânica em particular sejam devidamente inseridas num quadro teórico mais abrangente.

No contexto geral do movimento, Aristóteles distingue um tipo específico que diz respeito à mudança no espaço: o movimento localizado. O modelo explicativo obedece ao do movimento como mudança em geral⁶³, já que é uma especificação deste (aplica-se às condições de alteração posicional). Este tipo particular de movimento é abordado em diversas passagens do *corpus*, dentre as quais cito a seguinte:

62. É atribuída uma formulação semelhante a Euclides, mas o único testemunho existente é uma tradução árabe cuja autenticidade é bastante discutida; vide RENN ET ALII 2003: 52-53.

63. Sobre as equivalências entre o modelo explicativo do movimento localizado e o do movimento em geral, vide DE GANDT 1982: 100-103.

«O movente [τὸ κινουῦν] movimenta sempre alguma coisa [τι = τὸ κινούμενον], em alguma coisa [ἐν τινι] e até alguma coisa [μέχρι του] – com ‘em alguma coisa’ quero dizer ‘num tempo’ [ἐν χρόνῳ], e com ‘até alguma coisa’ refiro-me a ‘uma determinada extensão’ [ποσόν τι μήκος] [...]. Se o movente for A, o movido [τὸ κινούμενον] B, a extensão do movimento Γ, e Δ o tempo em que [ocorre o movimento], uma força igual em A movimentará, em igual tempo, metade de B no dobro da extensão Γ; em metade do tempo Δ [essa mesma força] movimentará metade de B na extensão Γ. Deste modo a proporção verificar-se-á.» (*Física* VII 5, 249b27-250a4.)

Temos, pois, quatro elementos distintos: movente, movido, tempo e extensão. Tendo em conta que esta citação surge inserida na demonstração de que uma qualquer força não pode movimentar um qualquer corpo⁶⁴, o propósito de Aristóteles é estabelecer uma relação de proporção entre os quatro elementos do movimento, de modo a demonstrar em que condições uma determinada força pode movimentar um determinado corpo. No tratado *Sobre o Céu* (I 7, 275a7-10; III 2, 301b4-13) fora já adiantado que existe uma relação entre a magnitude de um corpo e a magnitude do movimento que pode causar ou sofrer. Mas este excerto da *Física* acrescenta duas outras variáveis à equação: tempo decorrido e espaço percorrido. A relação entre a magnitude do corpo movente e a do movido só faz sentido e só pode ser aferida pela comparação com o tempo durante o qual se processa o movimento e com a sua extensão. Como veremos, esta será a chave do princípio que governa o funcionamento dos mecanismos.

Analisada sob outra perspectiva, esta passagem da *Física* denota uma certa complementaridade entre termos relacionados com o movimento propriamente dito e termos respeitantes aos objectos em si: A é dito ser «mover» (τὸ κινουῦν: VII 5, 249b31), primeiro, e depois é associado ao conceito de «força» (δύναμις: VII 5, 250a2; ἰσχύς: VII 5, 250a8); já B, num caso é «movido» (τὸ κινούμενον: VII 5, 249b31) e, algumas linhas mais abaixo, será relacionado com a noção de «peso» (βαρός: VII 5, 250a9). Esta utilização indistinta de termos pertencentes a âmbitos diversos tem que ver com o facto de Aristóteles conceber uma força como «geradora de movimento»⁶⁵; daí que seja bastante recorrente a aplicação do mesmo termo a conceitos que actualmente consideramos serem distintos. Mas o que importa realçar neste contexto é que uma força pode representar uma acção externa sobre um objecto (por exemplo, um homem que empurre esse

64. Posição igualmente defendida noutras passagens da *Física* (VIII 3, 253b6-7; VIII 10, 266b17-18) e também na *Geração dos Animais* VII 7, 787a15-22.

65. Por exemplo, numa passagem do tratado *Sobre o Céu* em que se discute este assunto, Aristóteles usa a expressão «força movente» (δύναμις κινούσα: III 2, 301b4). Para uma discussão do problema, vide CARTERON 1975: 163.

objecto) ou o peso do próprio objecto. É certo que hoje sabemos que não é o objecto em si o responsável pelo seu peso (enquanto força), antes a acção da gravidade sobre a sua massa – e aquela é-lhe tão externa quanto um homem que o empurre; mas Aristóteles não fazia esta distinção.

Quanto à terminologia, ainda que predominem os compostos de κιν-, Aristóteles introduz, numa outra passagem da *Física*, uma ligeira variação; ou melhor, uma especificação. Quando associa este tipo de movimento com a posição espacial (κίνησις κατὰ τόπον⁶⁶), prefere o termo φορά – provavelmente uma importação de Platão que o usava para referir as órbitas dos corpos celestes⁶⁷, as quais, até Kepler, se julgavam ser circulares. É provável que esta analogia esteja também na base das inúmeras ocorrências da palavra nos [*Problemas*] *Mecânicos*, onde o círculo se afigura como princípio explicativo de todos os fenómenos particulares. De facto, na maior parte dos casos, o substantivo φορά («deslocação») ou o verbo cognato φέρω («deslocar») designam as diversas mudanças posicionais que os pontos sofrem durante o movimento circular. No entanto, não se limitam a estes contextos, já que muitas vezes são usadas em vez de κίνησις («movimento») e κινέω («movimentar»). Se, por um lado, as palavras φορά/φέρω parecem manter-se próximas do sentido que lhes dava Platão (enquanto movimento circular), por outro, estão vinculadas à concepção aristotélica mais lata de movimento localizado (circular ou não), bem como chegam a substituir os termos genéricos κίνησις/κινέω. Deste modo, a tradução menos comprometedorá será «deslocação» para a forma substantival e «deslocar-se» para a verbal.

Nos [*Problemas*] *Mecânicos*, a abordagem ao princípio das alavancas difere da de Arquimedes em dois pontos fundamentais. Em primeiro lugar, procura explicar o funcionamento de uma alavanca e não o equilíbrio entre dois corpos em relação a um ponto de apoio⁶⁸; segundo, em vez de simplesmente equacionar a distância ao ponto de apoio de ambos os corpos e o seu peso, também tem em conta o espaço percorrido pelo objecto movimentado e o tempo durante o qual ocorreu esse movimento:

«No entanto, no que respeita à alavanca, são três os elementos: o fulcro, que funciona como cabo [*de uma balança*] e centro [*de um círculo*], e dois pesos – o movente e o movido. Ora, a proporção entre o peso movido e o movente é inversa à que existe entre as suas distâncias do centro; mas, em todo o caso, quanto mais afastada alguma coisa estiver do fulcro, mais

66. *Ph.* VII 1, 243a8. Cf. *Cael.* IV 4, 311b33; *EN* X 3, 1174a30; *GC* I 3, 319b32.

67. E.g. *Cra.* 421b; *Lg.* X, 897c; *Grg.* 451c; *Smp.* 188b; *Ti.* 39b, 81a.

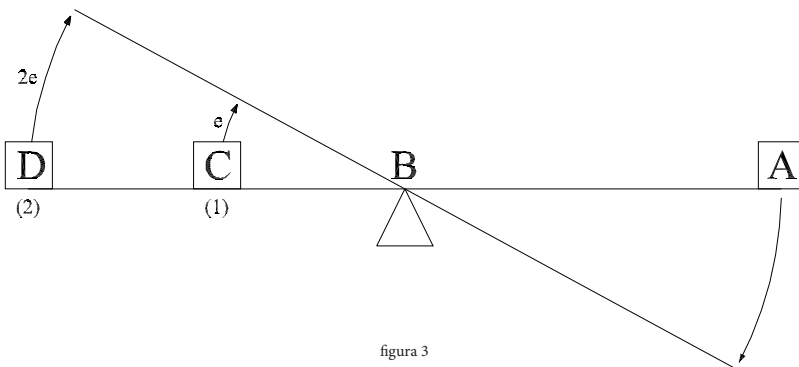
68. Como bem observa DUHEM 1905: I 5, Aristóteles não separa as leis do movimento das do equilíbrio, isto é, não distingue estática de dinâmica. Deste modo, um corpo estará em equilíbrio quando não produz nem sofre qualquer tipo de movimento. Cf. CARTERON 1975: 162.

facilmente se movimentará. A causa é a que já referimos: o raio maior descreve um círculo maior. Deste modo, pelo efeito da mesma força, a deslocação será tão superior quanto mais afastado o movente estiver do fulcro.» ([*Problemas*] *Mecânicos* 3, 850a37-b6.)

O contexto é a descrição de uma alavanca, cujo funcionamento, como foi dito, se reporta ao da balança (e o desta ao do círculo): é composta por um ponto de apoio (o fulcro), por um objecto movente (associado a uma força) e por um movido (relacionado com o peso). A relação entre movido e movente é então pensada de acordo com o peso de cada um, a distância ao ponto de apoio e com a extensão do movimento («deslocação») – o tempo não entra neste caso particular (pois trata-se de uma explicação básica da alavanca) mas será recorrente nas análises mais complexas e detalhadas⁶⁹.

Por outro lado, é também de notar a concepção de força enquanto «geradora de movimento» reflectida pela utilização indiscriminada das expressões «mais facilmente» (ῥᾶον) e «mais rapidamente» (θᾶρτον) como sinónimos, quando se trata de caracterizar um movimento⁷⁰. A energia necessária para colocar um objecto em movimento é, pois, equiparada à extensão por ele percorrida num determinado período de tempo, de tal forma que a intensidade da força aplicada se manifesta na velocidade (1, 848b6-7)⁷¹.

Simplificando o raciocínio latente no texto, pode dizer-se que a distância ao centro e o peso dos objectos são inversamente proporcionais, isto é, quanto mais um aumenta, tanto mais o outro diminui. Em segundo lugar, são directamente proporcionais a distância ao ponto de apoio e a extensão do movimento: quanto maior for uma, maior será a outra. Finalmente, cumpre dizer que todas estas relações pressupõem o mesmo tempo. Vejamos o seguinte esquema:



69. Problemas 1, 15 e 24. A relação entre o tempo do movimento e a sua extensão é abordada em 1, 848b6-7.

70. E.g. ῥᾶον: 850a32, 850b3, 852a23, 852b11, 854a13, 854b8, 857b16, 858a3; θᾶρτον: 847b15, 848a17, 848b5-6, 849b25, 850a36, 851a38; ambos em conjunção: 851b3, 852a15.

71. Ainda propósito da noção de força, vide também 847a20-24 e a n. 109 a propósito do termo ῥοπή («impulso»).

No mesmo tempo, a mesma força aplicada em A (o movente) fará um objecto (o movido) movimentar-se pela extensão C se estiver à distância 1 do ponto de apoio (em B), e pela extensão 2C se estiver à distância 2 do ponto de apoio. De acordo com o princípio, 2C é o dobro de C, porque a distância entre o objecto em 2 (movido ao longo de 2C) e o ponto de apoio é o dobro da que existe entre o objecto em 1 (movido ao longo de C) e o ponto de apoio. Além disso, deduz-se também o seguinte: se a força aplicada em A tiver a intensidade 1 e estiver à distância 1 do ponto de apoio, e o movido for um objecto também com intensidade 1 e à distância 1 do ponto de apoio, eles estarão em equilíbrio.

Por estas razões, pelo facto de as demonstrações de Arquimedes e Euclides denotarem algumas imprecisões⁷² e por estes se terem inspirado no texto aristotélico, alguns autores tendem a considerar esta passagem dos [Problemas] *Mecânicos* como a primeira tentativa de formulação e demonstração do princípio das alavancas. O primeiro a dar conta dessa suspeita foi Simplício, o qual diz no comentário à *Física* (*In Ph.* 1110.2-5 Diels) que foi graças à proporcionalidade entre movente, movido e distância percorrida (os elementos da demonstração de Aristóteles) que Arquimedes construiu um determinado mecanismo. Mais tarde, nos inícios do século xx, Pierre Duhem, ao tentar reconstruir o raciocínio delineado naquela secção dos [Problemas] *Mecânicos*, conclui que o texto evidencia uma clara consciência dos princípios basilares desta lei⁷³. Mais recentemente, um grupo de investigadores do Instituto Max Planck declarou que a formulação aristotélica está «demasiadamente» próxima da correcta, razão pela qual deverá dever-se a um acrescento de um comentador tardio (!)⁷⁴.

2.3 GÉNERO E ESTRUTURA

De modo a completar o que foi dito acerca do âmbito e pressupostos do texto, vejamos brevemente de que modo se articulam as matérias nele abordadas.

Ao contrário do que acontece com os tratados mecânicos a partir de Arquimedes, que seguem o método axiomático euclideano (dedução de teoremas a partir de postulados e definições), o de Aristóteles segue um

72. Vide RENN ET ALII 2003: 48-56.

73. DUHEM 1905: I 292-293.

74. RENN ET ALII 2003: 47. Esta interpretação é bastante discutível, na medida em que os autores não apresentam quaisquer razões ou dados que a sustentem. Além disso, não é possível fazer essa inferência nem pelo cotejo dos vários manuscritos, edições e comentários nem através de nenhum outro tipo de informação.

modelo diverso, o qual consiste em estruturar os assuntos em séries sucessivas de perguntas e respectivas respostas (por vezes apenas propostas), cujo primeiro cultor terá supostamente sido Demócrito⁷⁵. Note-se, porém, que o termo πρόβλημα não consta no título da obra nem tampouco no início de cada uma das 35 séries de pergunta-resposta⁷⁶. De facto, a palavra é usada apenas três vezes (847a23, 25, 848a19), o que não implica que este rótulo seja desadequado; pelo contrário, dado que a expressão προβλήματα μηχανικά é usada por Aristóteles logo no parágrafo inicial precisamente para esclarecer o âmbito da obra.

A introduzir os Problemas propriamente ditos, surgem dois conjuntos de considerações prévias onde se estabelecem os pressupostos que orientarão a resolução de cada um deles; será aquilo a que poderemos chamar «quadro teórico». Posteriormente, segue-se um conjunto de 35 blocos relativamente independentes, cada um dos quais estruturado em dois momentos principais. Primeiro, é lançada uma ou mais perguntas, geralmente introduzida(s) pela locução διὰ τί («por que motivo?»). Segundo, são adiantadas algumas propostas de resolução que, em grande parte dos casos, obedecem também a uma estrutura interrogativa comumente iniciada pelas locuções ἢ ὅτι / ἢ διότι («será porque?») que, por vezes, são seguidas de πότερον ὅτι («ou será que é porque?»). Em certas ocasiões, este segundo momento é acompanhado de exemplos que sustentam as propostas.

Em suma, os raciocínios vão-se sucedendo num ritmo mais dialéctico do que expositivo, sendo cada um dos casos analisado minuciosamente. Depois de um levantamento inicial de uma ou mais hipóteses, é escolhida aquela que estiver mais de acordo com os pressupostos estabelecidos previamente nas duas secções iniciais. É interessante notar que, no Problema 32 («sobre o movimento dos projecteis I»), Aristóteles confessa que seria descabido tentar responder à pergunta inicial porque lhe faltavam os princípios teóricos (32, 858a15-16).

Segue-se uma proposta de esquematização do tratado e conseqüente ordenação dos Problemas. Os títulos apresentados são deduzidos a partir do conteúdo de cada secção, já que no original, como se disse, não há qualquer demarcação nem classificação explícitas:

75. Tradicionalmente, diz-se que Demócrito terá redigido um tratado com o título Χερνικά προβλήματα (DK A 33.49/B 299h = D.L. IX.49), mas a atribuição é duvidosa. Além do facto de não ter sobrado qualquer fragmento, mas apenas um título, a palavra Χερνικά é um ἄταξ λεγόμενον (isto é, só ocorre uma única vez em todo o corpus literário grego), razão pela qual se torna difícil de traduzir.

76. A ordenação dos Problemas é discutível, já que depende de considerar a secção 848b1-850a2 o Problema 1 (FORSTER 1991; HETT 1936) ou uma continuação das considerações preliminares (ΒΟΤΤΕΣΧΙΑ 2000). Optei pela primeira hipótese, dado que a estrutura é tipicamente a de um Problema, bem como é usada a palavra πρῶτον («primeiro») que, a meu ver, pretende assinalar o início da secção dos Problemas e demarcá-la da preliminar.

- Introdução** (847a11-b15)
- Propriedades do círculo** (847b16-848a37)
- Problema 1:** sobre as balanças I (848b1-850a2)
- Problema 2:** sobre as balanças II (850a3-29)
- Problema 3:** sobre as alavancas (850a30-b9)
- Problema 4:** sobre os remadores do meio (850b10-27)
- Problema 5:** sobre os lemes (850b28-851a37)
- Problema 6:** sobre a altura das vergas nos barcos (851a38-b5)
- Problema 7:** sobre a acção do vento na navegação (851b6-14)
- Problema 8:** sobre o movimento dos corpos esféricos e circulares (851b15-852a13)
- Problema 9:** sobre a relação entre o tamanho dos círculos e a velocidade (852a14-22)
- Problema 10:** sobre a balança sem qualquer peso (852a23-28)
- Problema 11:** sobre o transporte através de cilindros (852a29-37)
- Problema 12:** sobre o lançamento de projecteis através de fundas (852a38-b10)
- Problema 13:** sobre os cabrestantes (852b11-21)
- Problema 14:** sobre o porquê de se partir um cabo de madeira com o joelho (852b22-28)
- Problema 15:** sobre a esfericidade das pedras existentes junto à costa (852b29-853a4)
- Problema 16:** sobre a flexibilidade dos cabos de madeira (853a5-18)
- Problema 17:** sobre as cunhas (853a19-31)
- Problema 18:** sobre as roldanas (853a32-b13)
- Problema 19:** sobre os machados (853b14-24)
- Problema 20:** sobre as balanças de braços desiguais (853b25-854a15)
- Problema 21:** sobre os fórceps dos dentistas (854a16-31)
- Problema 22:** sobre os quebra-nozes (854a32-b15)
- Problema 23:** sobre o losango (854b16-855a27)
- Problema 24:** sobre o movimento de círculos concêntricos (855a28-856a38)
- Problema 25:** sobre a estrutura dos leitos (856a39-857a4)
- Problema 26:** sobre o transporte de traves de madeira com o ombro (857a5-21)
- Problema 27:** sobre o transporte de pesos com o ombro (857a22-33)
- Problema 28:** sobre as picotas (857a34-b8)
- Problema 29:** sobre o transporte de pesos numa trave de madeira (857b9-20)
- Problema 30:** sobre o movimento do corpo ao levantar (857b21-858a2)
- Problema 31:** sobre a deslocação de objectos já em movimento (858a3-12)
- Problema 32:** sobre o movimento dos projecteis I (858a13-16)
- Problema 33:** sobre a força propulsora (858a17-22)
- Problema 34:** sobre o movimento dos projecteis II (858a23-b3)
- Problema 35:** sobre o movimento de objectos em redemoinhos (858b4-31)

2.3.1 A «RODA DE ARISTÓTELES»
(PROBLEMA 24)

Como vimos, os assuntos abordados ao longo dos 35 Problemas são extremamente diversificados. Dado que seria manifestamente inapropriado analisá-los todos um por um, optei por escolher aquele que a tradição acabou por consagrar como uma espécie de «protagonista» deste texto. Trata-se do Problema 24, sobre o movimento de círculos concêntricos, que ficou conhecido por «A Roda de Aristóteles»⁷⁷.

O argumento é o seguinte: dois círculos concêntricos de diferentes dimensões percorrem numa revolução a mesma distância. O enigma, que Aristóteles diz «ser intrigante» (ἀπορῆται: 24, 855a28), reside no facto de esta proposição implicar que a distância percorrida por um círculo não seja igual ao seu perímetro. Vejamos o seguinte esquema:

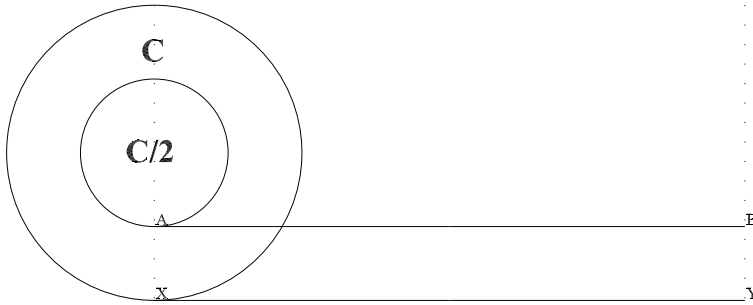


figura 4

Segundo os pressupostos mais básicos da geometria, quando um círculo faz uma revolução completa, o segmento de recta que descreve pela circunferência é igual ao seu perímetro. Assim, o segmento BC será igual ao perímetro do círculo A, e o segmento DE será igual ao círculo A2. Sabendo que o diâmetro do círculo A2 é metade do diâmetro do círculo A, o segmento DE será também metade de BC. Porém, de acordo com o que é dito no Problema 24, se estes círculos forem concêntricos, os segmentos descritos numa revolução completa serão iguais. Eis o paradoxo.

Antes de tudo, convém esclarecer dois pontos prévios: primeiro, o texto não deixa a questão em aberto, já que fornece uma explicação – ainda que parcial; segundo, nesta secção não se discute geometria em abstracto, mas sim uma situação concreta e particular (note-se que a mecânica se situa entre a geometria e a física, e não *na* geometria) em relação a um modelo

77. Para uma análise aprofundada deste Problema e do tratamento que recebeu na história da matemática, vide DRABKIN 1950.

teórico mais abrangente. Isto significa que o termo «círculo» deverá ser tomado por «objecto circular» – por exemplo, uma moeda.

De acordo com a explicação de Aristóteles, esse aparente paradoxo explica-se pelo facto de a concentricidade dos dois círculos ser meramente accidental: só um deles é na verdade o centro e a origem do movimento; um é movente e o outro é movido. Por isso, o movente terá que movimentar-se a si próprio e ao movido, o que faz com que a velocidade seja dividida por ambos. Logo, o movido acompanhará o movente e ambos percorrerão a mesma distância a velocidades diferentes.

Esta explicação é um bom ponto de partida, dado que desfaz o paradoxo sob uma das possíveis perspectivas.

Imaginemos que os círculos são duas moedas unidas pelo centro através de uma peça cilíndrica que as atravessa. Essas moedas, cuja proporção de tamanhos é a mesma que existe entre aqueles círculos (uma tem o dobro do diâmetro da outra), serão então dispostas em dois degraus que tenham a altura igual aos seus diâmetros, respectivamente. Por último, as moedas unidas pela peça cilíndrica serão encaixadas nos dois degraus:

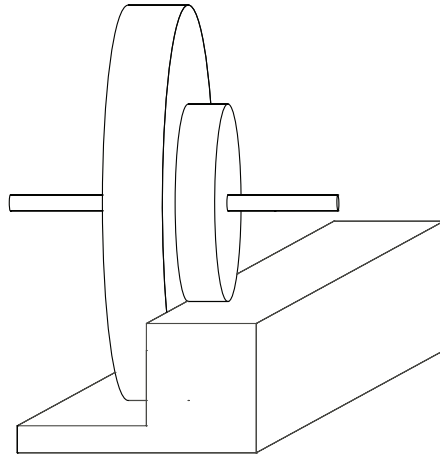


figura 5

Segundo sugere o paradoxo, ambas as moedas completariam uma revolução sobre o degrau respectivo e percorreriam exactamente a mesma distância com o rebordo: a moeda maior de A a B e a mais pequena de C a D. É impossível que isto aconteça por causa de um dos três tipos de deslizamento que pode afectar uma das moedas (qualquer que seja): em relação à peça metálica, em relação ao degrau ou mesmo a ambos⁷⁸. Além disso,

78. Sobre a inevitabilidade deste deslizamento, vide DRABKIN 1950: 163-166; BUNCH 1997: 4-9.

pegando agora na explicação de Aristóteles, se uma das moedas desliza, a outra terá um movimento diferente e, como tal, não pode dizer-se que, em rigor, sejam concêntricas. Em suma, dado o deslizamento ser inevitável, as duas moedas não descrevem o mesmo segmento, dado que uma delas (a que desliza) não se movimenta de modo contínuo e ininterrupto.

Contudo, o que ao longo dos séculos intrigou comentadores e pensadores como Héron de Alexandria, Galileu, Descartes ou mesmo Fermat não foi a aplicação prática do paradoxo da roda a que se cinge o texto de Aristóteles; antes as suas implicações teóricas. Isto é, caso simulemos um contexto puramente especulativo e abstracto que exclua o efeito de deslizamento, as explicações referidas não têm qualquer cabimento e torna-se muito complicado resolver o paradoxo apenas com recurso à matemática. Será preciso esperar até aos inícios do século xx para que isso aconteça, mais propriamente pelo conceito de número transfinito desenvolvido por Georg Cantor. Muito sucintamente, a teoria dos conjuntos deste matemático diz que todos os pontos de um determinado segmento de recta têm um correspondente numa recta (de extensão infinita); ou seja, existe entre ambos uma bijecção. Exemplificando, todos os pontos de um segmento de recta com 1 cm de extensão podem ser colocados em correspondência de 1 para 1 com todos os pontos de uma recta (por natureza infinita)⁷⁹. Uma curiosidade acerca desta teoria é o facto de tomar como axioma a chamada hipótese do *continuum*, um conceito assaz aristotélico⁸⁰.

2.4 TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO

A) ANTIGUIDADE

Na Antiguidade, o texto dos [*Problemas*] *Mecânicos* seria bastante divulgado e lido pelos autores que se dedicavam à mecânica, dado que a sua influência no estabelecimento e consolidação desta área do saber foi considerável.

O principal herdeiro e difusor do texto foi Héron de Alexandria, que, numa obra intitulada *Mechanica*, terá estruturado um conjunto de problemas cujo método e conteúdo denunciam mais do que inspiração no texto aristotélico: por exemplo, o facto de reduzi-los todos à balança e as explicações ao círculo, ou a repetição quase *ipsis uerbis* de várias passagens⁸¹.

79. Sobre a aplicação da teoria dos conjuntos de Cantor ao paradoxo do Problema 24, vide GARDNER 1983: 2-3.

80. Para uma visão geral do conceito de *continuum* em Aristóteles, vide BODNÁR & PELLEGRIN 2009: 285-287.

81. Esta leitura é bastante falível, dado que do tratado de Héron resta apenas uma versão árabe, além de um conjunto de fragmentos e citações de outros autores. Deste modo, torna-se muito difícil distinguir o que pertence de facto a Héron do que possa ter sido

acrescentado posteriormente com base no texto de Aristóteles. Sobre este problema, vide DRABKIN 1950: 170 n. 14; BERRYMAN 2009: 134-143.

De um modo menos directo, Vitruvius evidencia também alguns traços do texto de Aristóteles, principalmente no Livro X (sobretudo no capítulo 3] do *Sobre a Arquitectura*, onde aborda algumas questões relacionadas com as artes náuticas, retomando, assim, o assunto dos Problemas 4-7⁸².

B) MUNDO ÁRABE

Até há relativamente pouco tempo, era garantido que o texto dos [*Problemas*] *Mecânicos* não tinha sido divulgado nem tratado no mundo árabe, embora fosse certo que os conhecimentos sobre mecânica antiga tinham chegado àquela civilização. Dessa transmissão dá conta o tratado *Kitab al-Qarastun* («Livro da Balança»), conhecido no ocidente latino por *Liber Karastonis*, da autoria do astrónomo e matemático Tabit ibn-Qurra (século IX). O texto recupera as noções antigas de força, centro gravítico, equilíbrio ou mesmo do princípio das alavancas e, também à imagem dos antigos, aplica-as ao funcionamento da balança. Ainda que seja evidente a matriz grega do tratado, os estudiosos tendem a identificar nele influências de autores posteriores (por exemplo, Arquimedes) e, salvo raras excepções, rejeitam qualquer relação com o texto de Aristóteles⁸³. Com base apenas neste testemunho, é perfeitamente legítimo concluir que os [*Problemas*] *Mecânicos* não circularam no mundo árabe.

Porém, há outras fontes que permitem pensar o contrário. Em primeiro lugar, estão registados diversos títulos de paráfrases ao tratado, além de que existem citações avulsas de assuntos nele contidos (com menção directa de Aristóteles) desde o longínquo século VIII (!) – segundo se pensa, também o próprio Averróis tentou resolver o famoso Problema 24 (a chamada «Roda de Aristóteles»), ainda que sem sucesso⁸⁴.

Além destas referências, existe uma outra fonte, fundamental, que até há bem pouco tempo permanecera no esquecimento. Trata-se do Livro V da obra *Kitab mizan al-Hikma* («Livro da Balança da Sabedoria»), uma enciclopédia do século XII organizada por Al-Khazini que visava reunir todo o conhecimento antigo sobre mecânica; semelhante a um compêndio, como sugere o título *Nutaf min al-Hiyal* («Elementos de Mecânica»). A filiação nos [*Problemas*] *Mecânicos* é por demais evidente, já que consiste numa sùmula dos pontos essenciais do tratado e alude explicitamente a Aristóteles como seu autor⁸⁵.

82. O eixo intertextual Aristóteles- Héron - Vitruvius é analisado com grande detalhe em MICHELI 1995: 115-119; BOTTECHIA 2000: 7-11; KRAFFT 1970: 129-sqq.; CLAGETT 1959: 89-105.

83. Para um confronto das várias opiniões acerca deste problema, vide ABATTOUY 2001: 99 n. 5. Sobre o conteúdo e método do *Kitab al-Qarastun*, vide MICHELI 1995: 94-95; KNORR 1982: 75, 92-sqq.; principalmente a obra de JAOUICHE 1976, inteiramente dedicada a este tratado, em que o autor admite que a formulação do princípio das alavancas possa ser aristotélica (60-61).

84. Para uma listagem e breve explicação das várias referências avulsas ao tratado no mundo árabe, vide ABATTOUY 2001: 101-103.

85. A primeira frase começa precisamente com a expressão «Aristóteles disse...». A edição crítica e tradução anotada do texto encontram-se no referido artigo de ABATTOUY 2001: 108-sqq.

C) «IDADE MÉDIA»

Durante o chamado período medieval, os [*Problemas*] *Mecânicos* eram quase absolutamente desconhecidos; não absolutamente, como alguns autores sugerem⁸⁶, dado que subsistiram algumas referências isoladas. A mais antiga, já do século XIII, consta no tratado de falcoaria *De artibus uenandi cum auibus* da autoria de Frederico II da Sicília que se reporta a Aristóteles para afirmar que os círculos maiores são mais eficazes para levantar grandes pesos (um dos postulados principais do texto aristotélico). Uma outra, de 1413, resume-se ao título *Repertorium super mechanica Aristotelis*, o qual fazia parte de uma lista de obras autorizadas para exportação da cidade de Bolonha⁸⁷.

Este quase absoluto desaparecimento da obra dever-se-á, seguramente, à inexistência de uma tradução latina (que, como veremos, só aparecerá no século XVI) e à grande escassez de originais. De facto, dentre os 29 manuscritos que compõem a tradição, apenas três são anteriores ao século XIV; aliás, segundo alguns críticos textuais, os três mais antigos são já desse século⁸⁸.

D) RENASCIMENTO

Após um período de quase total anonimato, o tratado assumiu um papel preponderante no contexto renascentista. Não só pelo facto de ser um texto de Aristóteles (o que seria suficiente para ter aceitação quase unânime entre os intelectuais deste tempo), mas também – e principalmente – pelo facto de as concepções científicas (matemáticas e mecânicas) que propunha estarem em perfeita sintonia com o espírito da época⁸⁹. Note-se que é nesta altura que as ciências físicas e matemáticas começam a assumir o papel de protagonistas que, mais tarde, se viria a consumir na chamada revolução científica do século XVII. Prova disso foi o facto de o próprio Galileu conhecer e seguir os ensinamentos do texto de Aristóteles a ponto de nele se ter baseado para compor algumas das lições de matemática que proferiu em Pádua entre 1597-1598⁹⁰. Curiosamente, haveria de ser o mesmo Galileu a relegar o tratado para a categoria de «conhecimento ultrapassado».

A profusão deveu-se, em grande medida, a dois factores: em primeiro lugar, a inclusão do tratado na primeira edição das obras de Aristóteles em preparada por Aldo Manúcio (*Opera omnia, graece, cum Theophrasti operibus nonnullis*); segundo, não menos importante, a primeira tradução para Latim, publicada em Paris no ano de 1517, da autoria de Vittore Fausto (*Aristotelis mechanica Victoris Fausti industria in pristinum habitum*

86. E.g. LAIRD 1986: 45; ROSE & DRAKE 1971: 67.

87. Sobre estas duas referências, vide BOTTECCHIA 2000: 11.

88. A relação dos manuscritos está pormenorizadamente analisada na edição crítica estabelecida por BOTTECCHIA 1982: 17-33.

89. Para um estudo aprofundado do impacto provocado pelos [*Problemas*] *Mecânicos* no Renascimento, vide ROSE & DRAKE 1971.

90. A forte influência que o tratado exerceu sobre o pensamento de Galileu é analisada em BOTTECCHIA 2000: 17-25; MICHELI 1995: 133-152; ROSE & DRAKE 1971: 94-96.

restituta ac latinitate donata). A partir daqui, multiplicaram-se as reimpressões, novas traduções, paráfrases e um número vastíssimo de comentários (alguns deles ilustrados).

A partir de meados do século xvii, o tratado deixou de ter interesse científico e passou a ser abordado quase exclusivamente pelo texto em si – não tanto pelo conteúdo. Desse modo, as considerações a apresentar sobre essa perspectiva mais filológica ficarão para a secção seguinte sobre a autoria e autenticidade.

2.5 AUTORIA

A autenticidade dos [*Problemas*] *Mecânicos* manteve-se praticamente indiscutível até ao século xix⁹¹. Dessa altura até à data, a tendência tem sido considerar que o texto não pertence a Aristóteles, razão pela qual diversas autorias alternativas foram necessariamente surgindo. Todavia, houve e há opiniões que sustentam a tese contrária – posição também seguida ao longo destas páginas.

Além do que já foi dito na secção sobre a transmissão e recepção do texto até aos tempos mais recentes, cumpre apenas acrescentar o testemunho dos catálogos antigos. Dos três que restaram⁹², todos eles registam o título do tratado: no de Diógenes Laércio (V.22-27) aparece com o número 123 (Μηχανικόν α'⁹³); no de Hesíquio (também chamado «Anónimo» pelas suspeitas de autenticidade) tem o número 114 e o mesmo título do de Diógenes; finalmente, no de Ptolomeu surge com o número 20 (Μηχανικά προβλήματα β'). As diferenças são ligeiras: apenas há a notar o facto de o Catálogo de Ptolomeu dividir o tratado em dois livros, bem como o facto de acrescentar a palavra προβλήματα.

Quanto às várias teorias modernas que defendem a autenticidade do texto, sublinho a obra de Fritz Krafft pelo facto constituir o primeiro estudo

91. As únicas excepções serão, provavelmente, os renascentistas Girolamo Cardano e Francesco Patrizi, que, todavia, apenas «suspeitavam» que o tratado não fosse de Aristóteles (vide ROSE & DRAKE 1971: 72 n. 11).

92. Estes catálogos são listagens das obras de Aristóteles constantes em quatro das 12 *Vitae* (obras de carácter biográfico) dedicadas ao autor. Em rigor, existem quatro listas, mas, como duas delas são praticamente idênticas (as duas versões árabes do catálogo perdido de Ptolomeu), consideram-se apenas três. Sobre a natureza e implicações dos vários catálogos antigos, vide MESQUITA 2005: 227-243. Esta mesma obra apresenta uma listagem comparativa dos títulos constantes nestes catálogos (537-560).

93. O numeral diz respeito à quantidade de livros por que é composto um tratado (α': 1 livro; β': 2 livros).

que coloca em lugar de destaque o problema da autenticidade, bem como por combinar fundamentos científicos, enquadramento no sistema aristotélico e também critérios filológicos⁹⁴. Também merece ser referida a de Elisabetta Bottecchia que, além de estabelecer a primeira edição crítica do texto a partir de todas as fontes textuais que restaram (manuscritos e edições), delineou um completíssimo conspecto do problema da autenticidade⁹⁵.

2.5.1 ARGUMENTOS CONTRA A AUTENTICIDADE

Muito resumidamente, pode dizer-se que os dois séculos de exegese ao texto dos [*Problemas*] *Mecânicos* produziram quatro grupos de objecções à sua autenticidade: a condenação do seu conteúdo (a), a terminologia nele utilizada (b), o enquadramento no *corpus* (c) e, finalmente, um outro tipo de derivações assentes numa espécie de presunção de inautenticidade (d).

A) CONDENAÇÃO DO CONTEÚDO

Curiosamente, o parecer que alertou os autores para a natureza hipoteticamente espúria do texto adveio de um estudioso das ciências ditas «exactas» e não de um filólogo: foi Jean Étienne Montucla que, na sua monumental *Histoire des Mathématiques* em quatro volumes, decretou que a mecânica de Aristóteles consistia num conjunto de erros matemáticos grosseiros e que o tratado estava povoado de falsidades⁹⁶. Isto é, a «condenação» dirigia-se ao conteúdo e à validade científica do texto e não propriamente à questão autoral, sendo os critérios matemáticos e não filosóficos nem filológicos.

A natureza da análise de Montucla não é acessória, já que acabaria por fundamentar uma das mais influentes orientações contra a autenticidade do tratado; por exemplo, a de Valentin Rose e Alfred Gercke. O primeiro, numa obra dedicada à ordenação do *corpus Aristotelicum* e à autenticidade dos textos, declara que todos os que abordem questões matemáticas são espúrios⁹⁷. O segundo, autor do verbete sobre Aristóteles na *Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, determina, em sentido análogo, que a aplicação prática das questões abordadas nos [*Problemas*] *Mecânicos* nunca poderia interessar ao Estagirita, razão pela qual o tratado deverá ser de um peripatético posterior⁹⁸. Estas opiniões parecem surgir mais como uma espécie de defesa perante as acusações de Montucla do que como um juízo acerca do texto propriamente dito: visto que o conteúdo dos [*Problemas*] *Mecânicos* fora declarado errado e falso (bem como todos os textos sobre matemática), não seria possível que Aristóteles os tivesse redigido. Além disso, não se baseiam em fundamentos filosóficos nem filológicos, já que simplesmente decretam algo que parece necessário e indiscutível.

94. KRAFFT 1970: 19-48.

96. MONTUCLA 1799: I 187-188.

97. ROSE 1854: 192-193.

98. GERCKE 1895: col. 1044.

95. BOTTECCHIA 2000: 27-51.

B) TERMINOLOGIA

A segunda grande orientação centra-se sobretudo na terminologia usada no texto. Por exemplo, Thomas Heath conclui que, pelas semelhanças vocabulares, a obra será seguramente de Euclides⁹⁹. Esta opção, a meu ver, não parece sustentável, já que o texto evidencia algumas características que não teriam cabimento em Euclides. O exemplo mais flagrante será talvez a inexistência de um termo para o conceito de raio, que, no texto de Aristóteles, é denominado por expressões perifrásticas como ἡ ἐκ τοῦ κέντρου γραμμὴ («a linha [traçada] a partir do centro»)¹⁰⁰. Ora, em Euclides, o conceito de raio é expresso pelo termo técnico διάστημα. Outro exemplo semelhante é a referência a pontos geométricos por meio da construção prolixa ἐπί com Dativo antes da letra que designa o ponto, enquanto que nos *Elementos* se usa apenas a própria letra.

Nesta linha de pensamento, surgem algumas opiniões que tentam salvaguardar estas inevitáveis contradições, recorrendo ao artifício de situar o tratado entre Aristóteles e Euclides: o autor seria alguém que tivesse assimilado parcialmente a terminologia euclideana e, ao mesmo tempo, estivesse ainda influenciado pela de Aristóteles. Por exemplo, Heiberg sustenta esta hipótese com base no uso de τετράπλευρον para definir o rectângulo¹⁰¹. De facto, é o termo consagrado em Euclides, mas há que ter em conta que só ocorre uma única vez no texto de Aristóteles (1, 848b20), já que a palavra mais recorrente é ἑτερομήκης («objecto oblongo») – de origem pitagórica.

C) ENQUADRAMENTO NO CORPUS

O terceiro tipo de objecções à autenticidade do texto assenta no seu suposto desfasamento em relação ao resto do *corpus*. Por exemplo, Eduard Zeller segue esta via, argumentando que nos [*Problemas*] *Mecânicos* não existem suficientes concepções filosóficas para que o texto possa ser de Aristóteles¹⁰². Além de tudo o que foi dito nas secções anteriores sobre a filiação do tratado no pensamento aristotélico, pode ainda acrescentar-se mais um pequeno detalhe: o uso da expressão κατὰ συμβεβηκός («acidental»), cuja preponderância no sistema aristotélico é indiscutível¹⁰³.

D) PRESUNÇÃO DE INAUTENTICIDADE

A quarta orientação, bem mais recente, chega a ser falaciosa, dado que sugere autorias alternativas, *por* assumir à partida que o texto não é autêntico

99. HEATH 1921: I 344.

101. HEIBERG 1904: 32.

100. Vide n. 117 à tradução.

102. ZELLER 1879: 897-921. Analogamente, DE GANDT 1982: 121 defende que a concepção de movimento dos [*Problemas*] *Mecânicos* não é compatível com a de Aristóteles.

103. Sobre as implicações desta expressão, vide MESQUITA 2005: 502-507.

– diríamos ser uma falácia de petição de princípio em virtude de inverter os termos do problema: dado que se considera o texto espúrio, torna-se necessário preencher a lacuna. Um argumento frequente desta linha de raciocínio é sustentar uma determinada autoria a partir de referências isoladas que, de algum modo, se relacionem com o texto. Vários autores sugerem o nome de Estratão de Lâmpsaco pelo facto de constar um título semelhante ao dos [*Problemas*] *Mecânicos* numa lista das suas obras¹⁰⁴. Outros, em sentido análogo, aventam o nome de Arquitas de Tarento, pelo facto de Diógenes Laércio lhe atribuir a construção de mecanismos para resolver problemas geométricos¹⁰⁵.

De um modo genérico, os autores que actualmente consideram que o texto é espúrio assumem uma de duas posições: ou seguem uma das três primeiras orientações, acrescentando outros argumentos semelhantes; ou assumem uma posição semelhante à quarta orientação, partindo do princípio que o texto é de facto espúrio e propondo uma autoria alternativa.

104. Os autores que defendem esta posição são referidos em BERRYMAN 2009: p. 107 n. 14.

105. D.L. VIII.79. Esta posição é defendida, por exemplo, por WINTER 2007: viii-ix.





BIBLIOGRAFIA CITADA

EDIÇÕES, TRADUÇÕES E COMENTÁRIOS

ABBATTOUY, M. (2001), «*Nutaf Min Al-Hiyal: A Partial Version of Pseudo-Aristotle's Problemata Mechanica*», *Early Science and Medicine*, 6.2, 96-122.

APELT, O. (1888), *Aristotelis quae feruntur de plantis, de mirabilibus auscultationibus, mechanica, de lineis insecabilibus, ventorum situs et nomina, de Melisso Xenophane Gorgia*, Lipsiae, Teubner.

BEKKER, I. (1831), *Aristotelis Opera*, Vol. II, Berlin, Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften.

BOTTECCHIA, M. E. (1982), *Aristotele. Μηχανικά. Tradizione Manoscritta, Testo Critico, Scolii*, Padova, Antenore.

BOTTECCHIA, M. E. (2000), *Aristotele. Problemi Meccanici*, Catanzaro, Rubbetino.

CAMPBELL, A. (2004), *Greek and Roman Military Writers. Selected Readings*, London/New York, Routledge.

DIELS, H. (1895), *Commentaria in Aristotelem Graeca, Preussische Akademie der Wissenschaften*, Vol. X (*Simplicii in physicorum libros quattuor posteriores*), Berolini, G. Reimer.

DIJKSTERHUIS, J. E. (1987), *Archimedes*, Princeton, Princeton University Press.

EDWARDS, M. W. (1991), *The Iliad: A Commentary*, KIRK, G. S. (ed.), vol. v (books 17-20), Cambridge, Cambridge University Press.

FORSTER, E. S. (1984), *Mechanics, The Complete Works of Aristotle. The Revised Oxford Translation*, BARNES, J., c. b. vol. II, Chichester, Princeton University Press, 1299-1318.

HETT, W. S. (1936), *Aristotle. Minor Works*, Cambridge Mass./London, Harvard University Press/William Heinemann.

HUMPHREY, J. W. ET ALII (1998), *Greek and Roman Technology: a Sourcebook. Annotated Translations of Greek and Latin Texts and Documents*, London, Duckworth.

JAOUICHE, K. (1976), *Le Livre du Qarastun de Tabit ibn Qurra*, Leiden, Brill.

PRAGER, F. D. (1974), *Philo of Byzantium. Pneumatica*, Wiesbaden, Ludwig Reichert.

WEST, M. L. (1966), *Hesiod: Theogony. Edited with Prolegomena and Commentary*, Oxford, Clarendon Press.

WINTER, T. N. (2007), *The Mechanical Problems in the Corpus of Aristotle*, Lincoln, University of Nebraska (<http://digitalcommons.unl.edu/classicsfacpub/68/>).



ÍNDICES, DICIONÁRIOS E LÉXICOS

CHANTRAINE, P. (1968-1980), *Dictionnaire Étymologique de la Langue Grecque. Histoire des Mots*, 4 Tomos, Paris, Klincksieck.



ESTUDOS

BERRYMAN, S. (2003), «Ancient Automata and Mechanical Explanation», *Phronesis*, 48.4, 344-369.

BERRYMAN, S. (2009), *The Mechanical Hypothesis in Ancient Greek Natural Philosophy*, Cambridge, Cambridge University Press.

BODNÁR, I. & PELLEGRIN, P. (2009), «Aristotle's Physics and Cosmology», *A Companion to Ancient Philosophy*, GILL, M. L. & PELLEGRIN, P., Oxford, Wiley-Blackwell, 270-291.

BUNCH, B. (1997), *Mathematical Fallacies and Paradoxes*, New York, Dover Publications.

BURFORD, A. (1972), *Craftsmen in Greek and Roman Society*, Ithaca, Cornell University Press.

CARTERON, H. (1975), «Does Aristotle Have a Mechanics?», *Articles on Aristotle*, BARNES, J. ET ALII, Vol. I (*Science*), London, Duckworth, 161-174.

CLAGETT, M. (1959), *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, University of Wisconsin Press.

COULTON, J. J. (1974), «Lifting in Early Greek Architecture», *Journal of Hellenic Studies*, 94, 1-19.

COUPRIE, D. L. ET ALII (2003), *Anaximander in Context. New Studies in the Origins of Greek Philosophy*, Albany, State University of New York Press.

DAMEROW, P. ET ALII (2000), *Mechanical Knowledge and Pompeian Balances*, Berlin, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 145 (<http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P145.PDF>).

DE GANDT, F. (1982), «Force et Science des Machines», *Science and Speculation. Studies in Hellenistic Theory and Practice*, BARNES, J. ET ALII, Cambridge/Paris, Cambridge University Press/Maison des Sciences de l'Homme, 96-127.

DETIENNE, M. & VERNANT, J.-P. (1974), *Les Ruses de l'Intelligence. La Mètis des Grecs*, Paris, Flammarion, 1974.

DRABKIN, I. (1950), «Aristotle's Wheel. Notes on a History of a Paradox», *Osiris*, 9, 162-198.

DUHEM, P.-M.-M. (1905-1906), *Les Origines de la Statique*, 2 vols., Paris, A. Hermann.

EDWARDS, J. F. (2003), «Building the Great Pyramid: Probable Construction Methods Employed at Giza», *Technology and Culture*, 44.2, 340-354.

FENSTERBUCH, C. (1934), «Theatron», AAVV, *Paulys Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, Stuttgart, Alfred Druckenmüller Verlag, Band V.A.2 (*Thapsos - Thesara*), cols. 1384-1422.

FULLER, G. (1954), *Analytic Geometry*, Cambridge, Addison-Wesley.

GARDNER, M. (1983), *Wheels, Life and other Mathematical Amusements*, New York/San Francisco, Freeman.

GARLAN, Y. (1974), *Recherches de Poliorcétique Grecque*, Paris/Athènes, École Française d'Athènes.

GERCKE, A. (1895), «Aristoteles», AAVV., *Paulys Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, Stuttgart, Alfred Druckenmüller Verlag, Band II.1 (*Apollon – Artemis*), cols. 1011-1055.

HAHN, R. (2001), *Anaximander and the Architects: the Contributions of Egyptian and Greek Architectural Technologies to the Origins of Greek Philosophy*, Albany, State University of New York Press.

HEATH, T. (1921), *A History of Greek Mathematics*, 2 vols., Oxford, Clarendon Press.

HEIBERG, J. (1904), «Mathematisches zu Aristoteles», *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften*, 18, 1-49.

KIRK, G. S. ET ALII (1984), *The Presocratic Philosophers. A Critical History with a Selection of Texts*, Cambridge, Cambridge University Press, 2.^a ed.

KNORR, W. (1982), *Ancient Sources of the Medieval Tradition of Mechanics. Greek, Arabic and Latin Studies of the Balance*, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

KNUTZEN, G. H. (1963), *Technologie in den Hippokratischen Schriften* περι διαίτης ὀξέων, περι ἀγγῶν, περι ἄρθρων ἐμβολῆς, Wiesbaden, Franz Steiner.

KRAFFT, F. (1970), *Dynamische und Statische Betrachtungsweise in der Antiken Mechanik*, Wiesbaden, Franz Steiner.

KRAFFT, F. (1967), «Die Anfänge einer Theoretischen Mechanik und die Wandlung ihrer Stellung zur Wissenschaft von der Natur», *Beiträge zur Methodik der Wissenschaftsgeschichte*, BARON, W., Wiesbaden, Franz Steiner, 12-33.

LAIRD, W. R. (1986), «The Scope of Renaissance Mechanics», *Osiris*, 2 [2.^a s.], 43-68.

LLOYD, G. E. R. (1970), *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, London, Chatto & Windus.

MARSDEN, E. W. (1969), *Greek and Roman Artillery. Historical Development*, Oxford/New York, Oxford University Press.

MESQUITA, A. P. (2005), *Aristóteles. Introdução Geral*, Lisboa, INCM.

MICHELI, G. (1995), *Le Origini del Concetto di Macchina*, Firenze, Leo S. Olschki.

MONTUCLA, J. E. (1799-1802), *Histoire des Mathématiques*, 4 vols., Paris, Henri Agasse.

PEREIRA, M. H. d. R. (2003), *Estudos de História da Cultura Clássica*, vol. 1 (*Cultura Grega*), Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 9.ª ed.

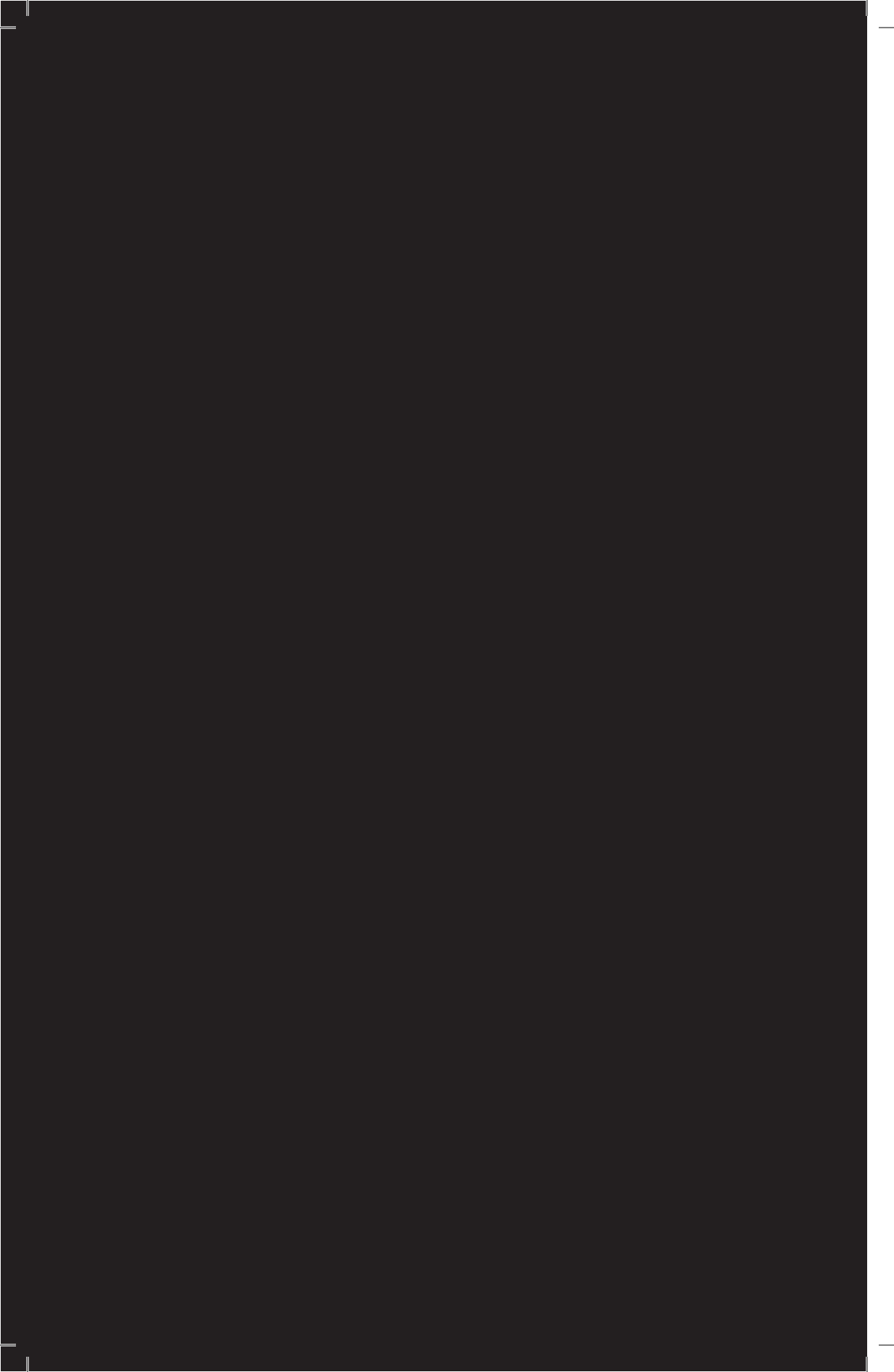
RENN, J. ET ALII (2003), «Aristotle, Archimedes, Euclid, and the Origin of Mechanics: the Perspective of Historical Epistemology», *Symposium Arquímedes*, MONTESINOS SIRERA, J. L. (ed.), Berlin, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 239 (<http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P239.PDF>), 43-59.

ROSE, V. (1854), *De Aristotelis librorum ordine et auctoritate commentatio*, Berolini, Georgii Reimeri.

ROSE, P. S. & DRAKE, S. (1971), «The Pseudo-Aristotelian *Questions of Mechanics* in Renaissance Culture», *Studies in the Renaissance*, 18, 65-104.

TAPLIN, O. (2003), *Greek Tragedy in Action*, London/New York, Routledge, 2.ª ed.

ZELLER, E. (1879), *Die Philosophie der Griechen in Ihrer Geschichtlichen Entwicklung. Zweiter Theil, Zweite Abtheilung: Aristoteles und die Alten Peripatetiker*, Leipzig, Fues's Verlag, 3.ª ed.



EDITORES DE FRAGMENTOS

DK: Diels, H & Kranz (1952), *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Berlin, Weidmann, 6.^a ed.

FGrH: Jacoby, F. (1926-1958), *Die Fragmente der Griechischen Historiker*, Leiden-Berlin, Brill.

KA: Kassel, R. & Austin, C. (1983-2000), *Poetae Comici Graeci*, Berlin/New York, De Gruyter.

TrGF: SNELL, B., KANNICHT, R., RADT, S. (1986-2004), *Tragicorum Graecorum Fragmenta*, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.



[PROBLEMAS] MECÂNICOS

INTRODUÇÃO

Dentre os fenómenos que ocorrem de acordo com a natureza, suscitam admiração aqueles cuja causa é desconhecida; e dentre os que [ocorrem] contra a natureza, [suscitam admiração] os que se originam por meio da técnica para benefício dos homens. Em muitos casos, de facto, a natureza produz efeitos opostos aos nossos interesses; é que a natureza actua sempre da mesma maneira e de forma linear, enquanto que os nossos interesses variam muitas vezes. Assim, sempre que é preciso fazer alguma coisa contra a natureza, um obstáculo¹⁰⁶ surge através da dificuldade e torna-se necessário recorrer à técnica. Por isso, à secção da técnica que nos assiste perante esse tipo de obstáculos chamamos mecânica¹⁰⁷. Tal como escreveu o poeta Antífote, «dominamos pela técnica aquilo em que somos vencidos pela natureza»¹⁰⁸. São desta ordem os casos em que o mais pequeno domina o maior, e que os objectos com um impulso¹⁰⁹ reduzido movimentam grandes pesos¹¹⁰, bem como praticamente todo o tipo de problemas a que chamamos mecânicos. Comparados aos problemas físicos, não são absolutamente idênticos nem completamente diversos, antes comuns às especulações matemáticas e físicas: o «como» é demonstrado pela matemática e o «acerca de» pela física¹¹¹.

A esse género de obstáculos pertencem os problemas relativos às alavancas. É que parece ser estranho que um grande peso seja movimentado por uma pequena força e pelo acréscimo de um peso superior: alguém que não

847a

15

20

25

847b

106. Ἀτοπία. Nesta parte introdutória, as três ocorrências de palavras desta família (além desta, ἀτοπία em 847a19 e ἀτοπέω em 847a28) têm todas o sentido de «dificuldade prática».

107. Μηχανή. Ainda que se trate do termo consagrado para o conceito genérico de «máquina», neste caso é evidente que se trata da disciplina. Sobre a filiação da mecânica na τέχνη, vide *Introdução*, pp. 10, 18-20.

108. Τῆς Γ 55 F 4 (esta passagem é o único testemunho existente do verso em causa). Antífote foi um tragediógrafo dos inícios do século IV a. C. de cuja obra restam apenas breves fragmentos. Não confundir com o sofista homónimo, contemporâneo de Sócrates e participante nos *Memoráveis* de Xenofonte.

109. Ἰσχύς. Desde os comentadores renascentistas que se tem optado pela tradução «momento» (cf. BOTTECCHIA 2000: 137; MICHELI 1995: 139, n. 38); contudo essa opção levanta alguns problemas. Ainda que a noção física de momento (produto da força aplicada e da distância entre o ponto de aplicação e o eixo) esteja já implícita no tratado, principalmente na dedução do princípio das alavancas (vide *Introdução*, pp. 24-29), a formulação de Aristóteles é ainda bastante rudimentar e apenas sugestiva; por isso, a opção por «impulso» (tomada a palavra na sua acepção mais comum) parece estar mais de acordo com o texto. Sobre as implicações do termo ἰσχύς na mecânica antiga, vide KRAFFT 1970: 48-50, 74-78.

110. Βάρος. Ao longo do tratado, o referente deste termo é, na maior parte dos casos, um objecto concreto; mas, por vezes, corresponde ao efeito produzido por esse objecto. No fundo, Aristóteles incorre numa confusão semelhante à que ainda hoje se verifica no senso comum entre «peso» e «massa», já que desconhecia, obviamente, a noção de campo gravítico. Deste modo, opto pela tradução genérica de «peso», mais próxima da letra do texto e do pensamento aristotélico, alertando em nota de rodapé os casos que careçam de explicação específica.

111. Epistemologicamente, a mecânica tem um estatuto intermédio: os seus fenómenos situam-se no âmbito da física, mas a sua explicação deve-se à matemática, mais precisamente à geometria. Sobre este assunto, vide *Introdução*, pp. 18-20.

15 seja capaz de movimentar um peso sem uma alavanca, mais rapidamente movimentará esse mesmo peso se lhe adicionar o peso da alavanca.

PROPRIEDADES DO CÍRCULO¹¹²

20 O princípio fundamental de todo este tipo de fenómenos é o círculo. É razoável que isto aconteça, pois não é nada estranho que algo admirável resulte de algo mais admirável; mas mais admirável é o facto de os opostos existirem conjuntamente. O círculo é constituído por este tipo de opostos; por exemplo, é gerado a partir de movimento¹¹³ e repouso, os quais são, por natureza, opostos entre si. Depois de termos reflectido sobre isto, as propriedades opostas que lhe dizem respeito tornam-se menos surpreendentes.

25 Em primeiro lugar, na circunferência¹¹⁴, a qual não tem largura alguma¹¹⁵, manifestam-se os opostos côncavo e convexo. Estes diferem entre si do mesmo modo que o grande e o pequeno: daqueles, o meio é igual, e destes a recta. Por isso, quando mudam entre si, tornam-se necessariamente iguais antes de passarem a um dos extremos, tal como a linha se torna recta quando de convexa passa a côncava, ou quando, inversamente, de côncava passa a curva convexa¹¹⁶. Com efeito, esta é apenas uma das excepionalidades do círculo; uma segunda é que se movimenta simultaneamente em movimentos opostos: movimenta-se ao mesmo tempo para a frente e para trás.

5 O raio¹¹⁷ tem a seguinte característica: a sua extremidade regressa ao mesmo ponto a partir do qual se iniciou. Como se movimenta continuamente, o ponto mais extremo torna-se, por seu turno, ponto de partida, de tal modo que é evidente que mudou a sua posição original. Por isso, como se disse anteriormente, não é nada estranho que esta seja a origem de todas as maravilhas. Por conseguinte, as questões relacionadas com a balança reportam-se ao círculo, com a alavanca à balança, enquanto que todos os outros casos semelhantes relacionados com movimentos mecânicos se reportam à alavanca.

112. Sobre as propriedades do círculo e sua importância na estruturação e fundamentação do tratado, vide *Introdução*, pp. 20-24.

113. Em contexto mecânico, os compostos de κιν- reduzem-se à especificidade do movimento localizado. Sobre esta questão, vide *Introdução*, p. 27.

114. Τῆ περιχώρη γραμμὴ τὸν κύκλον. Literalmente, «na linha que circunscreve o círculo». Aristóteles não dispunha ainda de uma terminologia técnica para todos os entes geométricos; daí que recorresse a expressões perifrásticas deste tipo para designar alguns deles. No caso da circunferência, usa esta expressão, alternada com ἡ γραμμὴ ἢ τοῦ κύκλου (8, 851b34) quando a refere na sua globalidade; mas sempre que se trata de uma secção específica (um arco de circunferência), recorre ao termo περιφέρεια (cf. infra n. 128).

115. Πλάτος οὐθὲν ἐχούση. Ou seja, que não tem dimensões espaciais; caso contrário, seria uma superfície e não uma linha geométrica.

116. O côncavo (κοῖλος) diz respeito à parte interior do círculo e o convexo (κυρτός) à exterior (cf. ΒΟΤΤΕCCHIA 2000: 139). Aristóteles traça uma oposição semelhante entre côncavo, convexo e rectilíneo (εὐθύς) no tratado *Sobre o Céu* (14, 270b34-271a2).

117. Ἡ γράφουσα γραμμὴ τὸν κύκλον. Também o conceito de raio é formulado pelo recurso a expressões perifrásticas. Além desta, que ocorre apenas nesta passagem, são também usadas ἡ ἐκ τοῦ κέντρου γραμμὴ (848a15) ἢ γράφουσα τὸν κύκλον (1, 848b10, 36; 849a15, 26), ἡ γράφουσα ἐκ τοῦ κέντρου (1, 849a11, 21) ou, simplesmente, ἡ γραμμὴ ἐκ τοῦ κέντρου (13, 852b15, 21; 14, 852b33; 27, 857a31).

Além disso, é por causa de num só raio nenhum dos pontos se deslocar¹¹⁸ à mesma velocidade que qualquer outro (antes mais rapidamente aquele que mais afastado estiver do limite que está fixo¹¹⁹) que se produzem muitas das maravilhas relacionadas com os movimentos dos círculos. O que diz respeito a estes assuntos será tornado claro nos problemas seguintes.

Em virtude de o círculo ter em simultâneo dois movimentos opostos, isto é, que uma das extremidades do diâmetro, em A, movimenta-se para a frente, enquanto que o outro, em B, movimenta-se para trás, há quem aproveite para movimentar muitos círculos ao mesmo tempo em sentidos opostos a partir de um só movimento, como as pequenas rodas feitas de bronze e de ferro que oferecem como ex-votos nos templos¹²⁰.

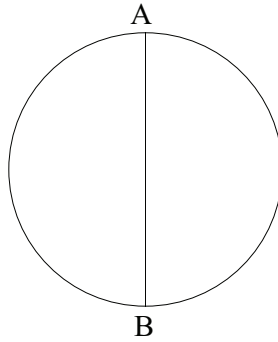


figura 1

É que, se um segundo círculo $\Gamma\Delta$ entra em contacto com o círculo AB , quando o diâmetro do círculo AB se movimenta para a frente, o do círculo $\Gamma\Delta$ movimentar-se-á para trás em relação a AB , enquanto o diâmetro se movimentar em torno do mesmo ponto.

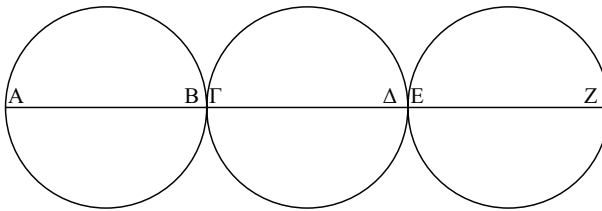


figura 2

118. Φέρεσθαι. A par de κινέω/κίνησις, são também utilizados os termos φέρω/φορά para definir o movimento localizado. Sobre esta questão, vide *Introdução*, p. 27

119. Τοῦ μένοντος πέρατος. Ou seja, o centro (cf. *infra* 1, 849a12 e n. 24). Um escólio de um manuscrito do século XV (*Mutinensis* 76) nota que este princípio está amplamente desenvolvido no tratado *Sobre o Céu* (I 8, 277a29, II 8, 289b18-29, 33-34).

120. É provável que Aristóteles se refira a um qualquer mecanismo composto por rodas dentadas, isto é, uma engrenagem (cf. BOTTECCHIA 2000: 142).

30 Isto é, o círculo $\Gamma\Delta$ movimentar-se-á no sentido oposto ao do círculo
 AB, e, por seu turno, vai movimentar o círculo seguinte, o EZ, no sentido
 oposto ao seu pela mesma razão. Caso haja mais círculos na mesma situa-
 35 ção, produzirão o mesmo efeito a partir do movimento de um só. Tirando
 partido da natureza que é própria do círculo, os artesãos fabricam um ins-
 trumento ocultando a origem, de tal forma que só o aspecto maravilhoso
 do mecanismo é manifesto, ao passo que a causa está invisível¹²¹.



848b

PROBLEMA 1:
SOBRE AS BALANÇAS I

Em primeiro lugar, coloca-se uma dificuldade em relação ao que aconte-
 ce com a balança: por que motivo as balanças maiores são mais preci-
 sas do que as mais pequenas? A origem deste fenómeno reside na seguinte
 5 questão: no círculo, por que motivo o raio mais distante se desloca mais
 rapidamente do que o que está mais próximo, ainda que seja movimenta-
 do pela mesma força? A expressão «mais rapidamente» tem dois sentidos:
 dizemos que algo é mais rápido se percorrer o mesmo espaço num tempo
 inferior ou mais espaço no mesmo tempo. Ora, o raio maior descreve um
 círculo maior no mesmo tempo; então, o círculo exterior é maior do que o
 10 interior. A causa disto é que o raio segue em duas deslocações. Sempre que
 algo se desloca de acordo com uma determinada proporção, esse deslocado
 segue¹²² necessariamente numa recta, que é a diagonal da figura que as li-
 nhas formadas nessa proporção originam¹²³.

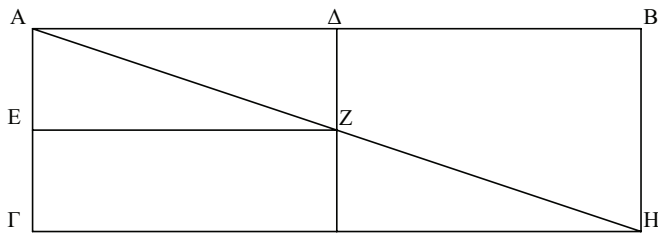


figura 3

121. Embora não se possa apontar a que mecanismo o autor se refere exactamente, a imagem que nos apresenta é semelhante à de um moderno relógio mecânico: funciona por meio de peças circulares movimentadas umas pelas outras em sentidos opostos entre si e escondidas no interior, ao passo que, aos nossos olhos, apenas os ponteiros parecem mover-se.

122. Φέρεσθαι τὸ φερόμενον. No contexto do movimento localizado, é bastante recorrente ambos sujeito e verbo partilharem a mesma raiz. Nestes casos, utilizo o verbo «seguir», de modo a evitar na tradução uma repetição morfológica que não faz sentido em português.

123. Sobre a natureza composta do movimento circular e a lei do paralelogramo, vide *Introdução*, pp. 21-24.

Consideremos que a proporção de acordo com a qual segue o deslocado é a que existe entre AB e AΓ; que AΓ se desloque em direcção a B, e AB para baixo em direcção a HΓ; que A seja deslocado até Δ, e AB até E. Se a proporção da deslocação é a que existe entre AB e AΓ, é forçoso que exista a mesma proporção entre AΔ e AE¹²⁴. Por conseguinte, o paralelogramo pequeno é proporcional ao maior¹²⁵, posto que a sua diagonal é a mesma: será de A a Z. De igual modo, isso será verificado em qualquer ponto em que a deslocação seja interceptada: isso acontecerá sempre na diagonal. É, pois, evidente que o deslocado segue necessariamente em duas deslocações pela diagonal e de acordo com a proporção existente entre os lados do paralelogramo; se for de acordo com qualquer outra proporção, não será deslocado pela diagonal. Por outro lado, se seguir em duas deslocações sem qualquer proporção nem tempo definido, é impossível que a deslocação seja rectilínea.

Tenhamos em conta uma linha recta. Se for traçada na diagonal e fechar os lados do paralelogramo, o deslocado seguirá necessariamente de acordo com a proporção existente entre os lados; isto foi já demonstrado anteriormente. Daí que se o deslocado não tiver qualquer proporção nem tempo definido não dê origem a uma linha recta. Na verdade, em virtude do que já referimos, se se deslocar de acordo com uma proporção e num tempo definido, a sua deslocação será necessariamente rectilínea nesse tempo. Por conseguinte, se seguir em duas deslocações e sem qualquer proporção nem tempo definido, será curvilínea.

A partir destes pressupostos, torna-se evidente que o raio segue simultaneamente em duas deslocações, e que o deslocado chega à perpendicular¹²⁶ por uma linha recta, de tal forma que, inversamente, é perpendicular a essa mesma linha a partir do centro¹²⁷.

Consideremos o círculo ABΓ; que a extremidade B se desloque até Δ e depois atinja Γ.

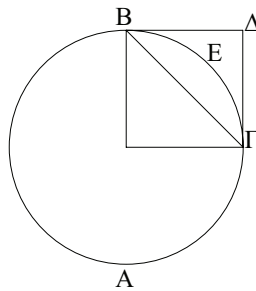


figura 4

124. Isto é, $AB : A\Gamma = A\Delta : AE$. 125. Ὅμοιον τῷ λόγῳ: literalmente, «igual [ao maior] na proporção». Para uma análise pormenorizada deste passo, vide MICHELI 1995: 52-57.

126. Κάθετον. Trata-se da perpendicular à circunferência, isto é, uma tangente. Todavia, pareceria algo abusiva a tradução «tangente», na medida em que Aristóteles dispõe de um termo específico para esse conceito (πάγιον: 1, 849a17; 8, 852a12), além de que nesta passagem ele está apenas implicado.

127. A segunda secção da frase (a partir de «ε que...»), cuja sintaxe é no mínimo confusa, pretende apenas sublinhar que um raio será perpendicular ao centro do círculo e à tangente.

Se se deslocasse de acordo com a proporção existente entre $B\Delta$ e $\Delta\Gamma$, seguiria pela diagonal $B\Gamma$. Porém, visto que não obedece a nenhuma proporção, [B] desloca-se pelo arco de circunferência¹²⁸ $B\epsilon\Gamma$. Se, de dois deslocados pela mesma força, um for repellido com mais intensidade e o outro com menos, é lógico que o que é repellido com mais intensidade se movimenta mais lentamente do que aquele que é repellido com menos – é isto que parece acontecer com o maior e o mais pequeno dos raios. Em virtude de a extremidade do mais pequeno estar mais perto do ponto fixo¹²⁹ do que a do mais distante, ao ser desviada para o sentido oposto, a extremidade do mais pequeno desloca-se mais lentamente em direcção ao meio. Isto acontece com qualquer raio: desloca-se pelo arco de circunferência, de acordo com a natureza em direcção à tangente e contra a natureza em direcção ao centro. O mais pequeno desloca-se sempre mais contra a natureza; em virtude de estar mais próximo do centro, que o desvia, é mais influenciado. Com base no que se segue, torna-se evidente que o raio mais pequeno se movimenta mais contra a natureza do que o maior.

Consideremos o círculo $B\Gamma\epsilon\Delta$ e outro, $XN\text{M}\epsilon$, mais pequeno e no interior daquele, ambos traçados em torno do mesmo centro, A ¹³⁰.

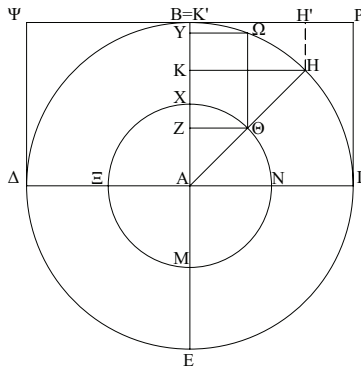


figura 5

128. Περιφέρεια. Este termo é utilizado, em detrimento das expressões τῆ περιχώρη γραμμῆ τῶν κύκλων e ἡ γραμμῆ ἢ τοῦ κύκλου (cf. supra n. 114), quando se trata de referir uma secção específica da circunferência; note-se que esta especificação terminológica não é exclusiva deste tratado (e.g. *Ph.* IV 9, 217b3, 12; VIII 8, 264b25). Visto ser claramente intencional, na medida em que se verifica em todas as ocorrências (1, 849a6, 16; 849b6; 8, 852a10; 24, 855a37; 855b13, 16), creio ser lícito traduzir a palavra por «arco de circunferência».

129. Τοῦ μένοντος. Isto é, o centro. Cf. supra 848a17 e n. 119.

130. Portanto, os círculos $B\Gamma\Delta\epsilon$ e $XN\text{M}\epsilon$ serão concêntricos.

Que os diâmetros sejam traçados em $\Gamma\Delta$ e BE para o maior, e em MX e $NΞ$ 25
para o mais pequeno; além disso, perfaça-se o rectângulo $\Delta\Psi\Gamma$. Se o raio
 AB chegar ao mesmo ponto de onde começou – isto é, AB –, é evidente que
se desloca em direcção a si mesmo; de igual modo, AX voltará a AX . Mas
 AX desloca-se mais lentamente do que AB , tal como foi referido, graças à 30
existência de uma repulsão superior e ao facto de AX ser mais desviado.

Tracemos [o raio] $A\Theta$ e, no círculo, a perpendicular ΘZ de Θ a AB ; de Θ
tracemos também $\Theta\Omega$ paralela a AB , bem como ΩY e HK perpendiculares 35
a AB . Logo, ΩY e ΘZ serão iguais, enquanto que BY é mais pequeno do que
 XZ ; é que as rectas iguais traçadas em círculos desiguais perpendiculares ao
diâmetro cortam secções do diâmetro mais pequenas nos círculos maiores;
e ΩY é igual a ΘZ . Assim, no tempo em que $A\Theta$ tenha sido deslocado por 849b
 $X\Theta$, a extremidade de AB já se deslocou (no círculo maior) por [um arco]
maior do que $B\Omega$ e no mesmo tempo. Na verdade, a deslocação de acordo
com a natureza é igual, ao passo que a contra a natureza é inferior; e BY é
inferior a ZX . No entanto, é forçoso que haja uma proporção: o de acordo 5
com a natureza num está para o de acordo com a natureza no outro, como
o contra a natureza num está para o contra a natureza no outro.

Por conseguinte, $[AB]$ percorreu o arco de circunferência BH que é
maior do que $B\Omega$. Assim, nesse tempo, $[AB]$ percorreu necessariamente
 HB : estará nesse ponto quando se verificar uma proporção entre [os movi-
mentos] contra a natureza e de acordo com a natureza. Então, se o movi- 10
mento de acordo com a natureza é superior no círculo maior, o movimento
contra a natureza poderá concorrer neste ponto se e só se B for deslocado
por BH ao mesmo tempo que o ponto X se desloca por $X\Theta$. Aqui, para o
ponto B , o movimento é de acordo com a natureza em KH (é essa a perpen-
dicular a partir H), mas contra a natureza em direcção a KB . E HK está para 15
 KB , como ΘZ está para ZX . Isto será evidente se B e X forem unidos a H e
 Θ , respectivamente. No entanto, se B tiver sido deslocado menos ou mais do
que HB , não haverá semelhança nem proporção nos dois círculos entre os
movimentos de acordo com a natureza e contra a natureza.

Por isso, graças ao que já foi referido, torna-se evidente por que motivo
o ponto mais distante do centro se desloca mais rapidamente sob o efei- 20
to da mesma força. Quanto ao porquê de as balanças maiores serem mais
precisas do que as mais pequenas, torna-se evidente a partir do seguinte: o
cabo funciona como centro (pois permanece fixo), ao passo que cada uma
das partes exteriores dos pratos da balança funciona como raio. Então, é
forçoso que a extremidade de um prato se movimente, pela acção do mes- 25
mo peso, tão mais rapidamente quão distante estiver do cabo; e que certos
pesos colocados nas balanças pequenas não sejam notórios para a percep-
ção, ao passo que nas balanças grandes o serão. De facto, nada impede que 30

uma grandeza seja menos movimentada do que é detectável pela visão; mas, numa balança de pratos grandes, o mesmo peso torna visível uma grandeza. Algumas [grandezas], por outro lado, são notórias em ambos os casos, mas são-no muito mais em balanças maiores em virtude de o grau de inclinação ser muito superior sob o efeito do mesmo peso. É graças a isto que os vendedores de púrpura adulteram as suas balanças para a falsificação da pesagem: não põem o cabo no meio, pulverizam chumbo numa ou noutra parte do braço da balança, ou então constroem-na a partir da madeira junto à raiz ou que tenha um nó na direcção para que querem inclinar, pois a parte da árvore na qual está a raiz é mais pesada, e um nó é, de algum modo, uma raiz.

PROBLEMA 2:
SOBRE AS BALANÇAS II

Por que motivo o braço da balança, quando lhe é retirado o peso que causa a inclinação, regressa à posição original se o cabo estiver fixo em cima, mas não regressa e permanece fixa se for aposto na parte inferior? Será porque, quando o cabo está fixo em cima, a maior parte da balança está para lá da perpendicular? De facto, o cabo é a perpendicular, de tal forma que a maior parte [da balança] necessariamente se inclina para baixo até que a linha que a divide em dois atinja a perpendicular, já que o peso se encontra na parte elevada da balança.

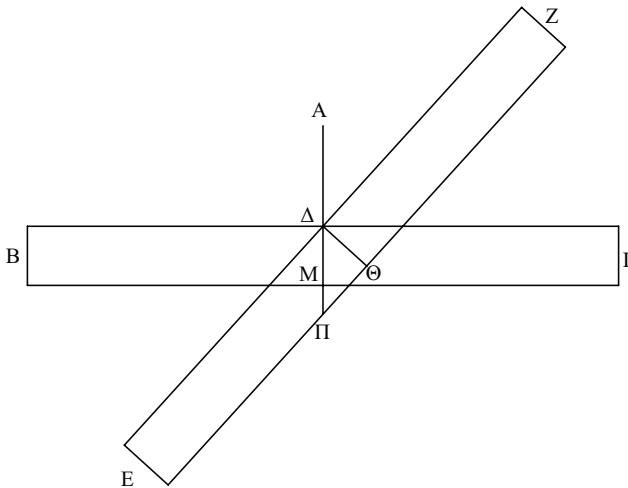


figura 6

Consideremos o braço de balança $B\Gamma$ na horizontal e o cabo $A\Delta$. Traçando na vertical, a perpendicular será $A\Delta M$. Se o impulso for aplicado em B, B estará em E, e Γ estará em Z; de tal forma que a linha que divide a balança em dois estava primeiro em ΔM , na mesma posição que a perpendicular, ao passo que, quando o impulso é exercido, estará em $\Delta\Theta$. Deste modo, a [secção] da balança EZ que está fora da perpendicular AM vai exceder metade da balança em ΘII . Então, se o peso for retirado de E, Z deslocar-se necessariamente para baixo, pois E é inferior. Logo, se o cabo estiver fixo em cima, o braço da balança voltará à sua posição original por este motivo. Se, porém, estiver suportada em baixo, fará o oposto, pois a parte que está por baixo vem a ser maior do que metade do braço (isto é, da perpendicular que a divide), pelo que não torna a subir, pois a parte elevada é mais leve.

Consideremos o braço de balança $N\Xi$ na horizontal, sendo $K\Lambda M$ a perpendicular; $N\Xi$ está dividido exactamente em dois.

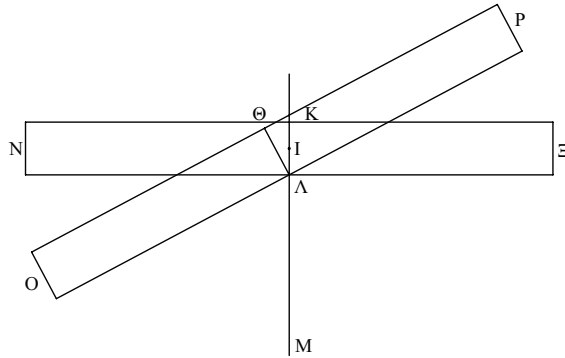


figura 7

Quando o peso é colocado em N, N ficará em O, Ξ em P, e $K\Lambda$ em $\Lambda\Theta$, de tal forma que KO será maior do que ΛP em $\Theta K\Lambda$. Ora, mesmo quando o peso é retirado, o braço permanecerá necessariamente fixo, pois a parte que excede a metade em K é aplicada como peso.

PROBLEMA 3:

SOBRE AS ALAVANCAS¹³¹

Por que motivo pequenas forças movem grandes pesos por meio de alavancas, tal como foi dito no princípio, pelo acréscimo do peso da alavanca? Mais facilmente se movimenta um peso inferior, e é inferior sem o peso da

131. Para uma explicação pormenorizada deste Problema, vide *Introdução*, pp. 27-29.

35 alavanca. Será a alavanca a causa, por consistir num braço de balança com o
 cabo [fixo] em baixo, mas dividida em duas partes desiguais? É que o fulcro
 funciona como cabo: ambos permanecem fixos tal como o centro [de um
 círculo]; além disso, o ponto mais afastado do centro é mais rapidamente
 850b movimentado por um peso igual. No entanto, no que respeita à alavanca,
 são três os elementos: o fulcro, que funciona como cabo e centro, e dois
 pesos – o movente e o movido. Ora, a proporção entre o peso movido e o
 movente é inversa à que existe entre as suas distâncias do centro¹³²; mas, em
 5 todo o caso, quanto mais afastada alguma coisa estiver do fulcro, mais facil-
 mente se movimentará. A causa é a que já referimos: o raio maior descreve
 um círculo maior. Deste modo, pelo efeito da mesma força, a deslocação
 será tão superior quanto mais afastado o movente estiver do fulcro.

Consideremos a alavanca AB, sendo Γ o peso, Δ o movente e E o fulcro.
 Depois do movimento, Δ ficará em H, e o peso movido, Γ , em K.

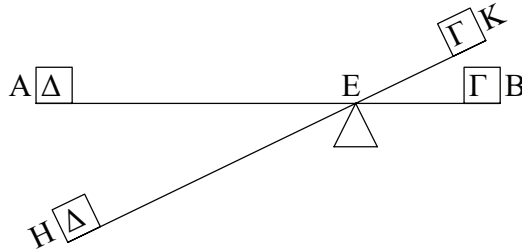


figura 8

PROBLEMA 4:
 SOBRE OS REMADORES DO MEIO

10 Por que motivo os remadores do meio infligem mais movimento ao barco?
 Será porque o remo é uma alavanca? A cavilha¹³³ funciona como fulcro (pois
 permanece fixa), o mar como peso que o remo empurra, e aquele que mo-
 vimenta a alavanca é o marinheiro¹³⁴. Em todo o caso, quanto mais distante
 estiver do fulcro aquele que movimenta o peso, mais peso movimenta; assim,
 15 o raio é maior, e a cavilha, que funciona como fulcro, é o centro [do círculo].

132. Formulação algo rudimentar da lei das alavancas.

133. Σκαλμός. Peça, metálica ou de madeira, onde encaixa o remo.

134. Na verdade, o peso movimentado será o barco e não o mar. O erro de Aristóteles tem que ver com o facto de apenas conhecer o tipo mais simples de alavancas e, consequentemente, de reduzir todos os casos a esse tipo. Para uma discussão sobre este Problema, vide BOTTECCHIA 2000: 162.

A maior parte do remo está dentro do barco (no meio), pois o barco tem a largura máxima neste ponto, de tal forma que a maior parte do remo se encontra, de um lado e do outro, no interior de ambas as amuradas¹³⁵ do barco. Logo, o barco movimenta-se pelo facto de a extremidade do remo no interior se lançar para a frente (quando o remo se dirige para o mar), e de o barco, unido à cavilha, de lançar conjuntamente na direcção da extremidade do remo. No ponto em que o remo sulcar a maior superfície de mar, aí necessariamente avançará muito mais; e sulca a maior superfície no ponto em que a parte do remo estiver mais afastada da cavilha.

Por este motivo, os remadores do meio infligem mais movimento, pois é no meio do barco que está a parte do remo mais afastada da cavilha no interior.

PROBLEMA 5 :
SOBRE OS LEMES

Por que motivo um leme, ainda que seja pequeno e esteja numa extremidade do barco, tem uma força tal que consegue movimentar barcos de grandes dimensões por meio de um pequeno manípulo e da força – mesmo que ligeira – de um só homem? Será porque o leme é uma alavanca e o timoneiro quem a manobra?

O ponto em que está ligada ao barco funciona como fulcro, a totalidade do leme como alavanca, o mar como peso e o timoneiro como movente. No entanto, o leme não toma o mar na paralela, como acontece com o remo, pois não movimenta o barco para a frente, antes o vira enquanto ele se movimenta, pegando o mar na oblíqua. Contanto que o mar é o peso, [o leme] vira o barco, voltando-o na direcção oposta; é que o fulcro vira na direcção oposta: o mar para dentro, e aquele para fora. O barco segue-o, porque está unido a ele.

Por outro lado, o remo, ao empurrar o peso na paralela e ser rebatido por ele, faz andar o barco em linha recta. Já o leme, por estar disposto na oblíqua, fá-lo movimentar também na oblíqua – ora para um lado, ora para o outro. É instalado numa extremidade e não no meio do barco, porque um movente movimenta muito mais facilmente um movido a partir de uma extremidade. É que a parte anterior desloca-se mais rapidamente, porque nos deslocados a deslocação abranda no final; logo, num objecto contínuo, a deslocação é muito fraca no final. Ora, se é mais fraca, mais fácil é de repelir.

É por estas razões que o leme está na popa, e porque, dado provocar pouco movimento naquele local, a abertura é muito maior na extremidade,

135. Τοίχου. Secções perpendiculares ao convés. Correspondem às «paredes» do barco.

em virtude de o mesmo ângulo assentar num arco maior¹³⁶ (tão grande quanto maiores forem os raios que o englobam). Com base nisto, é evidente por que motivo o barco se dirige mais na direcção oposta à pá do remo: a mesma grandeza, se movimentada pela mesma força, progride mais no ar do que na água.

Consideremos que AB é o remo, Γ a cavilha, A a parte que está no interior do barco – ou seja, a parte inicial do remo –, e B a que está no mar.

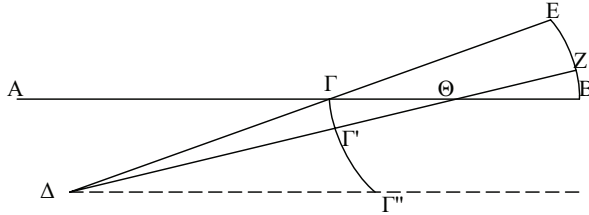


figura 9

Se A se muda para Δ , B não ficará em E, pois BE é igual a $A\Delta$. Nesse caso, a deslocação [de B] teria sido igual [à de A]; porém, ela foi inferior: será para Z. Então, Θ não intersecta¹³⁷ AB em Γ , mas sim um pouco abaixo. É que BZ é inferior a $A\Delta$, tanto quanto ΘZ em relação a $A\Theta$, posto que são triângulos semelhantes. O meio, em Γ , também será deslocado: muda-se para a direcção oposta à extremidade B, que é no mar, e na mesma direcção que A (a extremidade que está no interior do barco), e A mudou de lugar para Δ . Deste modo, o barco mudará de posição e deslocar-se-á até ao ponto em que está a extremidade inicial do remo¹³⁸. O leme também faz a mesma coisa, excepto que não contribui em nada para o movimento para a frente do barco, tal como foi dito mais acima, mas apenas empurra a popa na oblíqua, numa direcção ou na outra, pois a proa vira na direcção oposta.

O ponto a que o leme está fixo deve ser entendido como o eixo do movimento, semelhante à cavilha no caso do remo. Porém, o eixo do barco progride conforme o manípulo muda. Se o levar para dentro, também a popa mudará para essa posição; mas a proa vira na direcção oposta. Visto que a proa está nessa posição, todo o barco muda de posição.

136. Cf. supra 1, 849b3, infra 27, 857a32.

137. Tal como BEKKER, BOTTECHIA regista τοῖνυν. Neste ponto sigo a lição τέμνει, proposta por APELT e seguida por HETT, que me parece fazer bastante mais sentido. Curiosamente, BOTTECHIA, na tradução que posteriormente publicou (2000) acabou por alterar a sua versão também para τέμνει.

138. Aristóteles equipara a acção do leme com a do remo, incorrendo no mesmo erro que no Problema 4, por não conhecer mais do que um tipo de alavancas (cf. supra n. 134).

PROBLEMA 6:**SOBRE A ALTURA DAS VERGAS NOS BARCOS**

Por que motivo quanto mais alta estiver a verga¹³⁹, mais rapidamente navegam os barcos, ainda que com a mesma vela e com o mesmo vento? Será porque o mastro funciona como alavanca e a carlinga¹⁴⁰ (onde encaixa) como ponto de apoio, o barco como peso a movimentar e o vento na vela como movente? Mas se, quanto mais distante está o fulcro, mais fácil e rapidamente uma mesma força movimenta o mesmo peso, então a verga, por estar mais alta, faz com que também a vela esteja mais distante da carlinga, que funciona como fulcro.

40
851b

5

PROBLEMA 7:**SOBRE A ACÇÃO DO VENTO NA NAVEGAÇÃO**

Por que motivo, quando se pretende navegar como se o vento estivesse favor e de facto não está, se riza¹⁴¹ uma parte da vela perto do local onde está o timoneiro e, por outro lado, se afrouxa a escota¹⁴² que está na direcção da proa? Será porque o leme não consegue contrariar um vento muito forte, mas apenas um moderado e, por isso, se reduz a vela? Deste modo, o vento leva o barco para a frente, mas o leme coloca-o na direcção do vento favorável e contraria o mar, servindo de alavanca. Ao mesmo tempo, também os marinheiros lutam contra o vento, pois inclinam o seu próprio corpo na direcção oposta à daquele.

10

PROBLEMA 8:**SOBRE O MOVIMENTO DOS CORPOS
ESFÉRICOS E CIRCULARES**

Por que motivo, dentre as figuras, os objectos esféricos e circulares são mais fáceis de movimentar? Com efeito, um círculo pode girar de três

15

139. Κεραία. Trata-se, neste caso, das travessas de madeira colocadas na perpendicular ao mastro de um barco, nas quais são instaladas as velas.

140. Ἐδωλίον. A carlinga é o encaixe do mastro.

141. Στρέλλονται. «Rizar» significa, em contexto náutico, diminuir a superfície da vela em contacto com o vento. Este processo consiste em fazer passar cabos (os rizes) por um conjunto de ilhós e, puxando-os, fazer a vela subir ao mesmo tempo que é enrolada.

142. Ποδιαίον. Cabo com que se manobram as velas.

formas: pela periferia¹⁴³, sendo também movimentado o centro, tal como gira a roda de um carro; ou somente em torno do centro, tal como as roldanas, mantendo-se o centro imóvel; ou ainda paralelo ao chão, mantendo-se o centro imóvel, tal como gira a roda de um oleiro.

Se os movimentos deste tipo são muito rápidos, é por tocarem no chão com uma pequena parte, tal como o círculo num ponto, e também por causa de não exercerem fricção¹⁴⁴; é que o arco¹⁴⁵ afasta-se da terra. Inclusive, se chegar a ir de encontro a algum corpo, torna a tocar-lhe apenas ligeiramente. Se, em vez disso, fosse rectilíneo¹⁴⁶, tocaria transversalmente numa grande parte do chão.

Além disso, o movente movimenta [os objectos esféricos e circulares] na mesma direcção para a qual o peso inclina. Na verdade, visto que o diâmetro do círculo está perpendicular ao chão, pois o círculo só contacta com o chão num só ponto, o diâmetro divide o peso em duas partes iguais, uma para cada lado. Mas quando se movimenta, o peso aumenta imediatamente no lado para o qual se movimenta, como se fosse inclinado. Daí que para quem o empurra para a frente seja mais fácil de movimentar, pois algo é mais fácil de movimentar na direcção para a qual se inclina, e, como tal, mais difícil de movimentar na direcção oposta à inclinação.

Algumas pessoas dizem ainda que a circunferência está sempre em deslocação, tal como há coisas que estão imóveis em virtude de resistirem, à semelhança do que acontece com os círculos maiores em relação aos mais pequenos. É que os círculos maiores são movimentados mais rapidamente pela mesma força e movimentam corpos pesados, em virtude de o arco do círculo maior ter um impulso considerável em relação ao do mais pequeno, bem como está na mesma proporção que existe entre um diâmetro e o outro.

No entanto, todo o círculo é maior quando comparado com um mais pequeno, pois os mais pequenos são ilimitados¹⁴⁷. Então, se um círculo tem um impulso em relação a um outro, mas é igualmente fácil de movimentar, então esse círculo e as coisas que por ele são movimentadas terão um impulso adicional, isto é, quando não contactam com o chão pela periferia, mas estão na paralela ao chão ou como as roldanas¹⁴⁸. Estando nestas circunstâncias, movimentam-se com muita facilidade e movimentam também

143. Ἀγίς. Alude-se ao limite exterior de um determinado objecto circular e não ao conceito estritamente geométrico (logo, abstracto) de «circunferência» (περιφέρεια).

144. Διὰ τὸ μὴ προσκóπτειν. Parece-me que nesta passagem está implícita a noção de atrito; cf. o mesmo verbo em 851b23, 852a32, 853a3 e o substantivo cognato πρόσκοπις em 852a32.

145. Ἄγυια. Não se trata propriamente do «ângulo», antes do arco correspondente ao ângulo do centro (sobre esta tradução de γωνία, vide ΒΟΥΤΣΕΧΝΙΑ 2000: 178). Aristóteles pretende apenas marcar a ideia de que o contacto com o solo ocorre apenas numa pequena parte do círculo; em movimento, esse contacto consiste numa sucessão contínua e linear de pequenas partes que decorre da natureza arqueada do círculo (cf. infra 8, 851b38-39; 24, 855a36).

146. Neste caso, ao contrário dos restantes, o termo usado para «rectilíneo» não é εὐθύς, mas sim εὐθύγραμμος.

147. Neste caso, «ilimitado» (ἄπειρος) diz respeito ao número de círculos que pode traçado dentro de um determinado círculo – serão, pois, mais pequenos do que esse que os compreende.

148. Sobre os três tipos de movimento circular, vide supra 8, 851b15-852a13. O tipo de movimento «na paralela ao chão» (παρὰ τὸ ἐπίπεδον) corresponde, evidentemente, à roda de um oleiro (cf. supra 8, 851b20-21).

pesos. No entanto, isto não acontece por o contacto e o choque serem ligeiros, mas sim graças a outra causa. E é ela a que foi mencionada anteriormente: um círculo resulta de duas deslocações¹⁴⁹, de tal forma que um deles tem sempre impulso, e os moventes movimentam-no sempre enquanto algo em deslocação, quando o movimentam, de um modo ou doutro, pelo arco de circunferência. É que estão a movimentar algo com uma deslocação própria: o movente empurra-o na direcção da tangente, enquanto que ele próprio já se movimenta pelo diâmetro¹⁵⁰.

10

PROBLEMA 9:
SOBRE A RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO
DOS CÍRCULOS E A VELOCIDADE

Por que motivo movimentamos mais fácil e rapidamente objectos a elevar e a arrastar através de círculos maiores? Como acontece, por exemplo, com as roldanas grandes em relação às mais pequenas, e igualmente com os cilindros. Será porque quanto maior for o raio, maior será o espaço que percorre no mesmo tempo? Desta forma, quando lhes é aposto um peso idêntico, produz-se o mesmo efeito que referimos a propósito das balanças: as maiores são mais precisas do que as mais pequenas. O cabo é o centro [de um círculo] e as partes do braço que estão nos dois lados do cabo são os raios.

15

20

PROBLEMA 10:
SOBRE A BALANÇA SEM O PESO

Por que motivo uma balança é mais facilmente movimentada quando está sem um peso do que quando o tem? Acontece o mesmo também com uma roda, ou outra coisa deste tipo: o mais pesado e maior é mais difícil de movimentar do que o mais pequeno e mais leve. Será porque o corpo pesado é mais difícil de movimentar não só na direcção oposta, como também na oblíqua? É a custo que se movimenta alguma coisa na direcção oposta ao seu impulso, ao passo que é com facilidade que se movimenta para onde se inclina. No entanto, não se inclina na oblíqua.

25

149. Cf. supra 848a3-10.

150. Ἐπὶ τῆς διαμέτρου αὐτὸς κινεῖται. Isto é, que gira em torno de si próprio.

PROBLEMA 11:
SOBRE O TRANSPORTE
ATRAVÉS DE CILINDROS

30 Por que motivo as cargas¹⁵¹ são mais facilmente transportadas em
cilindros do que em carros, ainda que estes tenham rodas grandes e as da-
quelles sejam pequenas? Será porque nos cilindros [as cargas] não exercem
qualquer fricção, enquanto que nos carros têm o eixo sobre qual exercem
35 fricção? Na verdade, causa pressão nele de cima e dos lados. Por outro lado,
um peso [posto] nos cilindros é movimentado em dois pontos: no solo ad-
jacente à parte inferior e no local onde o peso está apoiado; é que o círculo
gira em ambos esses pontos e é empurrado enquanto se desloca.

PROBLEMA 12:
SOBRE O LANÇAMENTO DE PROJÉCTEIS
ATRAVÉS DE FUNDAS

852b Por que motivo os projecteis se deslocam mais [se lançados] de uma
funda do que de uma mão? Certamente que aquele que o lança tem mais
controlo na mão do que se tiver o peso suspenso. E, além disso, neste caso
movimenta dois pesos, o da funda e o projectil em si, ao passo que no outro
caso tem apenas o projectil. Será porque aquele que lança atira o projectil já
5 em movimento na funda (só o larga depois de o ter feito girar várias vezes
em círculo), enquanto que da mão o início se dá a partir do repouso. Todas
as coisas são mais fáceis de movimentar quando já estão em movimento do
que quando estão em repouso. Isto acontece por este motivo, mas também
pelo facto de, no caso da funda, a mão funcionar como centro e a funda
como raio: quanto maior for o raio, mais rapidamente se desloca. Assim, o
10 lançamento da mão é curto quando comparado com a funda.

151. Em vez do termo genérico (e muitíssimo mais recorrente) βάρος, é utilizado o substantivo φορτίον (cf. infra 19, 853b15 e n. 160).

PROBLEMA 13:
SOBRE OS CABRESTANTES

Por que motivo as cavilhas maiores se movimentam mais facilmente em torno do mesmo eixo do que as mais pequenas, e, de modo similar, os cabrestantes¹⁵² mais finos se movimentam mais facilmente do que os mais grossos por acção da mesma força? Será porque o cabrestante e o eixo são o centro e as grandezas que dele distam são os raios? Ora, os raios dos círculos maiores são movimentados pela acção da mesma força mais rapidamente e a uma maior distância do que os mais pequenos. Por acção da mesma força, a extremidade mais afastada do centro muda de posição mais rapidamente. É por isso que se instala cavilhas no eixo [dos cabrestantes], por meio das quais estes giram mais facilmente. Nos cabrestantes finos, a parte exterior do eixo é mais longa, a qual funciona como o raio [de um círculo].

PROBLEMA 14:
SOBRE O PORQUÊ DE SE PARTIR
UM CABO DE MADEIRA COM O JOELHO

Por que motivo um cabo com a mesma dimensão se parte mais facilmente com o joelho se o partirmos segurando nas extremidades à mesma distância [do joelho] do que se for perto ou muito junto do joelho¹⁵³? Igualmente, se o apoiarmos no chão e o pisarmos com o pé, [por que motivo] se parte [mais facilmente] com a mão distante do que próxima [do pé]? Será porque o centro é, num caso, o joelho e, no outro, o pé? Quanto mais distante qualquer coisa estiver do centro, mais facilmente é movimentada; e aquilo que se parte tem necessariamente que ser movimentado.

152. Ὀβοί. Espécie de guincho composto por um eixo cilíndrico com manivelas nas extremidades, em torno do qual era enrolada uma corda para puxar objectos pesados.

153. Esta formulação, sintacticamente muito confusa, parece sugerir que o centro é o ponto onde o cabo parte, e as extremidades (equidistantes do centro) serão os pontos em que se colocam as mãos.

PROBLEMA 15:
SOBRE A ESFERICIDADE DAS PEDRAS
EXISTENTES JUNTO À COSTA

30 Por que motivo são esféricas as pedras que existem junto à costa, as que denominamos seixos, posto que originalmente provêm de grandes rochas e conchas? Será porque, no que trata às coisas que estão em movimento, quanto mais distantes estão do meio, mais rapidamente se deslocam? De facto, o meio funciona como centro, e a distância a partir dele como raio. A partir do mesmo movimento, um raio maior descreve sempre um círculo maior. Um objecto que percorre uma maior distância no mesmo tempo desloca-se mais rapidamente, e os objectos que se deslocam mais rapidamente a partir de uma distância igual chocam com mais violência; ora, se chocam com mais intensidade, também elas próprias sofrem o choque com mais intensidade. Deste modo, é inevitável que as partes mais distantes do meio sejam constantemente despedaçadas. Ao sofrerem este efeito, tornam-
853a -se necessariamente redondas. No caso dos seixos, por causa do movimento do mar e por serem movimentadas juntamente com o mar, resulta estarem sempre em movimento e a exercer fricção enquanto rebolam. Forçosamente que isto acontece sobretudo nas suas extremidades.

PROBLEMA 16:
SOBRE A FLEXIBILIDADE
DOS CABOS DE MADEIRA

5 Por que motivo os cabos são mais frágeis quanto maiores forem e mais flectem quando são erguidos? – mesmo se o pequeno (por exemplo, com dois cúbitos¹⁵⁴) for fino, e o grande (com cem cúbitos¹⁵⁵) for grosso. Será porque o comprimento do cabo funciona como alavanca, peso e fulcro durante a elevação? Na verdade, a primeira secção do cabo, a que a mão levanta, é semelhante a um fulcro, e a que está na extremidade é o peso. Deste modo, quanto maior for a distância ao fulcro, necessariamente que tanto mais flectirá; é que quanto mais distar do fulcro, necessariamente que tanto mais flectirá. Então, as extremidades da alavanca são necessariamente erguidas. Ora, se a alavanca é flexível, necessariamente que flecte tanto mais quanto for erguida. Isto acontece no caso dos cabos compridos, ao passo que nos curtos a extremidade está perto do fulcro, que está em repouso.

154. Cerca de 90 cm.

155. Cerca de 4,5m.

PROBLEMA 17:
SOBRE AS CUNHAS

Por que motivo grandes pesos e corpos de dimensão considerável são separados por uma pequena cunha, e ela exerce tamanha pressão? Será porque a cunha consiste em duas alavancas opostas uma à outra, tendo cada uma um peso e um fulcro, o qual, ora eleva, ora abaixa? Além disso, a deslocação da pancada¹⁵⁶ torna superior o peso que causa impacto e movimento¹⁵⁷; em virtude de movimentar algo que já está em movimento, a força é ainda maior por causa da velocidade. Grandes forças são causadas por uma alavanca, ainda que pequena; por isso aparenta produzir um movimento em desacordo com a sua dimensão.

Consideremos a cunha em $AB\Gamma$, e o objecto decepado ΔEHZ . AB é a alavanca, sendo que o peso está em B e $Z\Delta$ é o fulcro.

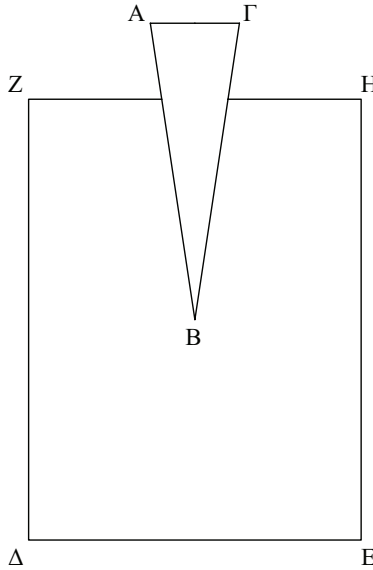


figura 10

Oposta a esta está a alavanca $B\Gamma$. Quando $A\Gamma$ sofre uma pancada, faz uso de ambas estas alavancas; então, B é destruído.

156. Ἡ τῆς πλῆγης φορά. De um modo muito livre, a expressão poderia ser traduzida por «movimento percussivo». Esta foi uma questão bastante discutida por Galileu em *Le Mecaniche* (vide ΒΟΥΤΣΕΧΙΑ 2000: 21-22).

157. Nesta passagem, o termo βόφος não poderia ser mais ambíguo: se por um lado designa o objecto que causa impacto e movimento, por outro também refere o seu efeito.

PROBLEMA 18:
SOBRE AS ROLDANAS

35 Por que motivo, se fizermos duas roldanas em dois blocos de madeira unidos entre si em direcções opostas e as envolvermos com uma pequena corda disposta em círculo – com uma ponta suspensa num dos blocos e a outra fixa nas roldanas ou a atravessá-las –, puxando a ponta inicial da corda, conseguimos deslocar grandes pesos, mesmo se a força que puxa for pequena? Será porque o mesmo peso é levantado por uma força inferior, ou 853b mesmo com a mão, se for usada uma alavanca? A roldana faz o mesmo que a alavanca, de tal forma que uma só pessoa puxa com mais facilidade; e com o mesmo esforço puxa algo mais pesado do que com a mão.

Por outro lado, duas roldanas erguem este mesmo peso com mais do que o dobro da rapidez. É que a segunda roldana puxa um peso ainda inferior 5 ao que puxaria ela sozinha, já que a corda passa pela outra roldana; e essa torna o peso ainda mais inferior¹⁵⁸. Deste modo, se a corda atravessasse mais roldanas, com poucas delas produzir-se-ia uma grande diferença, de tal forma que, se pela primeira fosse puxado um peso com quatro minas¹⁵⁹, 10 pela última seria puxado muito menos. É assim que, nas obras de construção civil, se movimentam grandes pesos com facilidade: passam de uma roldana para outra, e, posteriormente, destas para cabrestantes e alavancas; isto é a mesma coisa que fazer várias roldanas.

PROBLEMA 19:
SOBRE OS MACHADOS

15 Por que motivo se pusermos um grande machado num bloco de madeira e uma grande carga em cima dele, [o machado] não corta o bloco de um modo considerável; mas se levantarmos o machado e batermos com ele, racha-o ao meio, mesmo que aquilo que dá a pancada tenha um peso muitíssimo inferior ao que foi posto no bloco a fazer pressão?¹⁶⁰ Será porque toda a operação é produzida pelo movimento, e um corpo pesado recebe o movimento causado pelo [seu] peso mais quando está em movimento 20 do que em repouso? Quando tem o peso depositado sobre si, [o machado]

158. Aqui, βάρος designa o efeito provocado pelo objecto, dado que diz respeito a uma acção e não ao volume nem à forma do objecto propriamente dito.

159. Cerca de 1,7kg.

160. Note-se que neste caso a ambiguidade do conceito de «peso» é resolvida pelo recurso a dois termos distintos: φορτίον («carga») para o objecto e βάρος para o efeito. Cf. supra n. 151.

não se movimenta de acordo com o movimento do peso; mas, quando se desloca, fá-lo de acordo com o seu [movimento] e o do objecto que dá a pancada. Além disso, o machado funciona como cunha: a cunha, ainda que pequena, parte blocos grandes, porque consiste em duas alavancas associadas em sentidos opostos¹⁶¹.

PROBLEMA 20:

SOBRE AS BALANÇAS DE BRAÇOS DESIGUAIS

Por que motivo as falanges¹⁶² pesam grandes e pesados pedaços de carne com um peso pequeno, além de que correspondem a apenas metade de uma balança? Do ponto em que o peso é colocado pende apenas o prato, enquanto que na outra secção está somente a falange¹⁶³. Será porque a falange funciona simultaneamente como balança e alavanca? É balança, na medida em que cada um dos cabos funciona como centro da falange. Ora, numa secção tem o prato, e na outra, em vez do prato, o contrapeso¹⁶⁴, que está preso à balança – como se puséssemos outro prato e o peso na extremidade da falange. É evidente que puxa o mesmo peso que está colocado no outro prato. No entanto, de modo a que uma só balança funcione como várias balanças, um determinado número de cabos é colocado numa balança dessa natureza. Em cada uma delas, o espaço entre o cabo e o contrapeso é o ponto de equilíbrio da falange; e o contrapeso corresponde aos pontos dispostos à mesma distância uns dos outros, de tal forma que se pode calcular por comparação quanto peso puxa aquilo que está colocado no prato. Deste modo, quando a falange está na horizontal, sabe-se quanto peso tem a falange a partir dessa posição do cabo, tal como já foi referido. 25
30
35
854a

Em suma, esta é uma balança com um só prato, no qual é colocado o peso, ao passo que no lugar do outro [prato], na falange, está o contrapeso. Por isso, a falange corresponde numa parte ao contrapeso. Assim sendo, ela funciona como várias balanças, conforme o número de cabos que tenha. O cabo mais próximo do prato onde é colocado o peso levanta um peso superior, em virtude de toda a falange ser uma alavanca invertida: cada cabo apoiado na parte superior funciona como fulcro, e o peso é aquilo que está dentro do prato. Porém, quanto maior for a distância a que a alavanca está do fulcro, mais facilmente se movimentará; mas, neste caso, cria um peso de referência, e estabelece o peso da falange em relação ao contrapeso. 5
10
15

161. Sobre as propriedades das cunhas, veja-se o Problema imediatamente anterior.

162. Φάλαγγες. Trata-se de uma das secções de uma balança de braços desiguais. Sobre o seu funcionamento, vide *Introdução*, pp. 23-24.

163. Isto é, a secção onde estaria a escala.

164. Σφαίρωμα. Ao contrário do termo mais genérico σταθμὸν (20, 853b33, 38; 854a5), este especifica a forma esférica da peça em questão.

PROBLEMA 21:
SOBRE OS FÓRCEPS DOS DENTISTAS

20 Por que motivo os médicos arrancam os dentes mais facilmente se usa-
rem como auxiliar o peso do fórceps¹⁶⁵ do que se o fizerem só com as pró-
prias mãos? Será por causa de o dente deslizar mais com a mão do que com
o fórceps? Mas o ferro desliza mais do que a mão, bem como não aperta o
25 dente em toda a volta; e a carne dos dedos, por ser mole, tem mais aderência
e fixa-se em torno do dente. No entanto, o fórceps funciona como duas ala-
vancas dispostas em direcções opostas com um só fulcro: a junta das pinças.
Os médicos fazem uso deste instrumento para a extracção [de dentes] pelo
facto de os movimentarem facilmente.

Consideremos uma extremidade do fórceps em A, e outra, aquela com
que se arranca, B. Então, teremos uma alavanca em $A\Delta Z$, outra alavanca em
B ΓE e o fulcro $\Gamma\Theta\Delta$; o dente está em I, na junta das pinças – este é o peso.

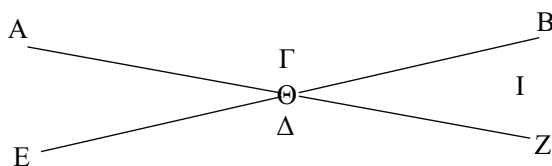


figura 11

30 Quando o médico o prende com cada uma das extremidades B e Z em con-
junto, fá-lo movimentar. Depois de o ter movimentado, arranca-o mais fá-
cilmente com a mão do que com o instrumento.

PROBLEMA 22:
SOBRE OS QUEBRA-NOZES

Por que motivo se partem facilmente as nozes sem uma pancada nos
instrumentos que se criaram para as partir¹⁶⁶? É que [com este método] está

165. Ὀδοντῆρα: literalmente, «objecto para capturar dentes». Trata-se de um instrumento já referido nos tratados hipocráticos (*Medic.* 9), como também noutros textos médicos, com este sentido odontológico (e.g. *Sor. Fract.* II.63). Dadas as características deduzidas da descrição fornecida neste Problema, será seguramente um fórceps.

166. Trata-se, evidentemente, de um quebra-nozes. Embora o autor nunca lhe aplique um termo específico, a descrição que fornece deste instrumento sugere que a sua estrutura e modo de funcionamento seriam muito semelhantes aos actualmente utilizados.

ausente muita força – da deslocação e da veemência. Além disso, podemos parti-las mais rapidamente apertando-as com um instrumento duro e pesado do que com um instrumento leve e de madeira. Será porque a noz é apertada em ambos os lados por duas alavancas, e os pesos são facilmente desagregados por uma alavanca? Este instrumento consiste, de facto, em duas alavancas unidas com o mesmo fulcro (isto é, em A) – a junta.

35

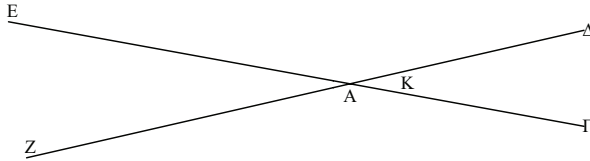


figura 12

Deste modo, se as extremidades EZ forem separadas, elas podem ser facilmente juntas por uma pequena força através do movimento de $\Gamma\Delta$. Então, $E\Gamma$ e $Z\Delta$, por serem alavancas, produzem a mesma ou mais força que o peso produz durante a pancada, pois durante a elevação são erguidas em direcções opostas, e, quando apertam, despedaçam o que está em K.

854b

Pelo mesmo motivo, quanto mais perto K estiver de A, mais rapidamente se parte [a noz]; é que quanto mais distante está a alavanca do fulcro, mais fácil e eficazmente se movimenta através da mesma força.

5

Então, o fulcro é A, ΔAZ uma alavanca, e ΓAE outra. Portanto, quanto mais perto K estiver do ângulo em A, mais perto está da junta em A – e este é o fulcro. Assim, ZE é necessariamente mais elevado pela mesma força. Deste modo, quando a elevação é causada em duas direcções opostas, necessariamente que [o objecto] é mais apertado; e aquilo que é mais apertado, mais rapidamente se parte.

10

PROBLEMA 23:
SOBRE O LOSANGO

Por que motivo, no losango, quando ambos os pontos das extremidades seguem em duas deslocações, cada um deles não percorre uma mesma linha recta, antes um progride muito mais do que o outro? É a mesma razão pela qual o deslocado ao longo do lado percorre menos do que o lado. Aquele percorre a diagonal inferior, e este o lado superior; este segue numa só deslocação, e aquele em duas.

20

Consideremos que, em AB, A se desloca para B, e B para A à mesma velocidade. Consideremos também que AB se desloca por AF e paralelo

25 a $\Gamma\Delta$ à mesma velocidade que estes. A deslocar-se-á necessariamente pela diagonal $A\Delta$ e B por $B\Gamma$, bem como cada um chegará ao mesmo tempo, e AB passa pelo lado $A\Gamma$.

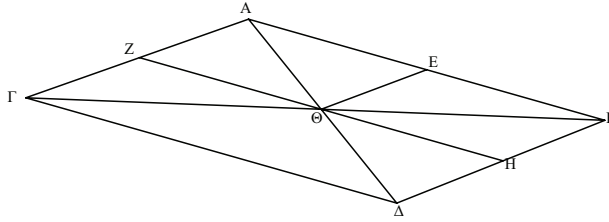


figura 13

Consideremos que A foi deslocado por AE, AB por AZ, de modo a que ZH trace uma paralela em relação a AB; e de E completa-se [o paralelogramo].

30 O paralelogramo gerado é semelhante ao todo: AZ é igual a AE, de tal forma que A é deslocado pelo lado AE. Então, AB será deslocado por AZ e ficará na diagonal em Θ . É forçoso que se desloque sempre pela diagonal. 35 Ao mesmo tempo, o lado AB passará pelo lado $A\Gamma$, e A passará pela diagonal $A\Delta$. De igual modo, fica demonstrado que B é deslocado pela diagonal $B\Gamma$, pois BE é igual a BH. Assim, quando é concluído por uma linha traçada a partir de H, o paralelogramo interior é semelhante ao todo: B estará na diagonal pela intersecção dos lados, e o lado AB passará pelo lado $B\Gamma$, ao 855a mesmo tempo que B passa pela diagonal $B\Gamma$. Simultaneamente, B tem um percurso muito maior que AB, e o lado passa pelo lado inferior, contanto 5 que se desloque à mesma velocidade. Numa só deslocação, o lado terá já seguido mais do que A. Quanto mais agudo for o ângulo do losango, mais inferior será a diagonal $A\Delta$ e maior a [diagonal] $B\Gamma$; mas o lado é inferior a $B\Gamma$. Tal como foi dito, é absurdo que o que segue em duas deslocações por vezes se desloque mais lentamente do que aquele que se desloca num só, e que, quando a dois pontos é dada uma mesma velocidade, um avance mais 10 do que o outro.

O motivo é que, quando um deslocado provém de um ângulo obtuso, [as duas deslocações] são de certo modo opostas – isto é, aquela pela qual se desloca e aquela por que é levado pelo lado. No entanto, quando é a partir de um ângulo agudo, é deslocado na mesma direcção. É que o ângulo 15 do lado favorece a deslocação pela diagonal; e quanto mais agudo for um ângulo e mais obtuso o outro, mais lentamente se deslocará o primeiro e mais rapidamente o segundo. No primeiro caso, eles estão em direcções mais opostas em virtude de o ângulo ser mais obtuso; enquanto que no outro tendem a convergir graças ao facto de as linhas estarem mais juntas. 20 Em ambas as deslocações, B segue sensivelmente na mesma direcção: um favorece o outro, e quanto mais agudo for o ângulo, mais isto acontece. No

entanto, com A acontece o oposto: ele próprio desloca-se para B, enquanto que o lado o desvia para Δ ; e quanto mais obtuso for o ângulo, mais opostas se tornam as deslocações, pois mais recta se torna a linha. Se ela for totalmente recta, [as deslocações] serão completamente opostas. Mas o lado que segue numa só deslocação não é perturbado por nada. Logicamente, atravessa uma maior distância.

25

PROBLEMA 24:
SOBRE O MOVIMENTO
DE CÍRCULOS CONCÊNTRICOS¹⁶⁷

É intrigante por que motivo um círculo maior descreve uma linha igual à de um círculo mais pequeno, desde que estejam colocados em torno do mesmo centro¹⁶⁸. Quando, por outro lado, giram separadamente, as linhas que descrevem mantêm a mesma proporção que existe entre as dimensões de um em relação à do outro. Além disso, dado que ambos têm um mesmo centro, umas vezes a linha que descrevem ao girar é do tamanho da que o círculo mais pequeno descreve, e outras vezes é do tamanho da do maior.

30

35

É claro que o círculo descreve uma [linha] também maior ao girar. Mesmo pela observação é evidente que o ângulo que o arco de circunferência de cada um descreve com o seu próprio diâmetro é superior no círculo maior, e inferior no mais pequeno, de tal forma que [os círculos] têm essa mesma proporção que existe entre as linhas em que giram. Por outro lado, é também evidente que descrevem a mesma trajectória, quando estão assentes em torno do mesmo centro; deste modo, acontece que [a trajectória], umas vezes, é igual à linha que o círculo maior descreve, e outras vezes à do mais pequeno.

855b

Consideremos que $\Delta Z\Gamma$ é o círculo maior e EHB o mais pequeno, sendo A o centro de ambos.

5

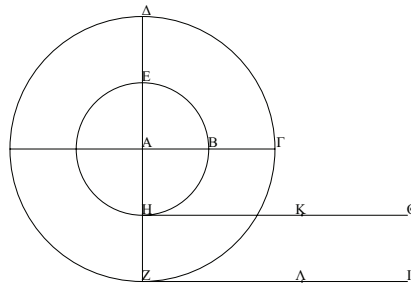


figura 14

167. Sobre este Problema, vide *Introdução*, pp. 32-34.

168. Περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον. Isto é, desde que sejam concêntricos.

Consideremos também que ZI é a linha que o maior descreve ao girar por si próprio, e HK a linha que o mais pequeno descreve ao girar por si próprio, e que é igual a AZ . Se eu movimentar o mais pequeno, estou a movimentar
 10 o mesmo centro: A . Agora ajustemos-lhe o maior. Quando AB se torna perpendicular a HK , ao mesmo tempo também $A\Gamma$ se torna perpendicular a ZL , de tal forma que se terá deslocado invariavelmente pela mesma distância, que é HK , por onde se deslocou o arco de circunferência HB ; e $Z\Lambda$ será por onde se deslocou $Z\Gamma$. Se um quarto [de cada círculo] girou numa
 15 distância igual [à sua], é evidente que também a totalidade do círculo girou numa distância igual a todo o círculo, de tal forma que, quando a linha BH chega a K , também o arco de circunferência $Z\Gamma$ estará em $Z\Lambda$, e o círculo terá girado por inteiro.

De igual modo, se eu movimentar o círculo grande e lhe ajustar o pequeno, dado que o centro é o mesmo, $A\Gamma$ e AB serão simultaneamente perpendiculares e ortogonais, o primeiro a ZI e o segundo a $H\Theta$. Deste modo, quando um se deslocar por uma distância igual a $H\Theta$, e o outro a ZI , e AZ se tenha tornado novamente perpendicular a $Z\Lambda$ e AH perpendicular a HK , assumirão as suas posições iniciais: Θ e I . Assim, não havendo qualquer estagnação do maior em relação ao mais pequeno, de forma a permanecer
 20 imóvel num determinado tempo no mesmo ponto (ambos se movimentam continuamente nos dois sentidos), além de que o mais pequeno não deixa de passar em nenhum ponto, é estranho que, por um lado, o maior percorra uma distância igual ao mais pequeno e, por outro, o mais pequeno percorra uma distância igual ao maior. É ainda admirável que, havendo um só movimento, o centro que se movimenta percorra, ao girar ininterruptamente, ora uma grande distância, ora uma inferior. É que a mesma coisa, quando se desloca a uma mesma velocidade, percorre, por natureza, uma distância igual; e movimentar alguma coisa com a mesma velocidade implica igual
 25 distância em ambos os casos.

Para apurar a causa destes fenómenos, tomemos como prerrogativa inicial que a mesma força (ou uma igual) movimenta uma grandeza mais lentamente e outra mais rapidamente. Consideremos um corpo que, por natureza, não tem um movimento próprio; se algo que tem um movimento por natureza põe aquele em movimento, bem como a si próprio, movimenta-se-á mais lentamente do que se se movimentasse só a si próprio. E se se movimenta por natureza, sem que conjuntamente ponha nada em movimento, acontecerá a mesma coisa. É impossível que tenha um movimento superior ao do seu movente, pois não se movimenta através do seu movimento, mas sim através daquilo que o movimenta.
 30
 856a

Consideremos os círculos A , o maior, e B , o mais pequeno. Se o mais pequeno empurrasse o maior sem que ele próprio girasse, é evidente que o maior seguiria por uma trajectória, tanto quanto fosse empurrado pelo

mais pequeno; foi empurrado tanto quanto o pequeno foi movimentado. Consequentemente, deslocaram-se pela mesma trajectória. Se o mais pequeno empurrasse o maior ao girar, necessariamente que este giraria e seria empurrado tanto quanto o mais pequeno girasse, já que ele não é movimentado por nenhum movimento próprio. Na verdade, como e quanto [o movente] se movimente, assim necessariamente o movido é por ele movimentado. Então, o círculo mais pequeno movimentou-o nessa medida – em círculo e por um pé¹⁶⁹ (que seja esta a medida do movimento) –, e o círculo grande foi movimentado também nessa medida. De igual modo, se o maior movimentar o mais pequeno, o pequeno será movimentado como o maior. Isto verificar-se-á independentemente de qual dos dois se movimente por si só, quer seja rápida, quer lentamente. Então, exactamente com a mesma velocidade, o mais pequeno vai desenvolver-se na linha que o maior por natureza fez¹⁷⁰. É isto que constitui uma dificuldade: nunca se comportam do mesmo modo, quando são dispostos em conjunto¹⁷¹; isto é, se um for movimentado pelo outro de forma não natural nem pelo seu próprio movimento. Não faz qualquer diferença o facto de estarem envolvidos e ajustados ou de um dos dois estar atribuído ao outro. De igual modo, quando um produz movimento e o outro é movimentado por ele, um será movimentado até onde o outro se movimentou. Quando um círculo movimenta um outro adjacente ou suspenso em si, nem sempre o faz girar; mas quando são ajustados ao mesmo centro, é forçoso que um seja continuamente posto a girar pelo outro. Ainda assim, um não se movimenta através do seu próprio movimento, mas sim como se não tivesse qualquer movimento. Também isto acontece se tiver um movimento próprio, mas não fizer uso dele. Então, quando o grande movimenta o pequeno, que está unido a ele, o pequeno movimenta-se do mesmo modo que o outro; mas quando é o pequeno que movimenta, o grande movimenta-se do mesmo modo que ele. Todavia, se estiverem separados, cada um tem o seu próprio movimento.

Se alguém objectar [dizendo] que eles descrevem uma linha desigual, ainda que tenham o mesmo centro e se movimentem à mesma velocidade, estará a defender um raciocínio sofisticado¹⁷². Na verdade, ambos têm o mesmo centro, mas isso é apenas acidental¹⁷³, tal como «musical» e «branco». Ser o centro de cada um dos círculos não é o mesmo que servir [de centro para ambos]. Quando o pequeno é o movente, a origem e o centro do movimento são dele; mas, quando é o grande o movente, são deste. Logo, o que produz o movimento não é simplesmente o mesmo, embora em certo sentido o seja.

169. Cerca de 31 cm.

170. Isto é, vai percorrer o mesmo espaço no mesmo tempo. O verbo ἐξελίσσω (literalmente, «desenrolar») sugere a imagem de uma circunferência a desdobrar-se num segmento de recta.

171. Συναρμοσθῶσιν. Ou seja, quando são concêntricos.

172. Σοφιστικῶς. Note-se que «sofístico» tem o sentido de «enganador»; diz respeito ao argumento falacioso, tal como Aristóteles o define na *Retórica* (I 1, 1355b15-21) e o promove a assunto principal nas *Refutações Sofísticas*.

173. Κατὰ συμβεβηκός.

PROBLEMA 25:
SOBRE A ESTRUTURA DOS LEITOS

856b Por que motivo se fazem leitos com dois dos lados duas vezes maiores que os outros dois¹⁷⁴? – de um lado com seis pés, ou um pouco mais, e do outro três. E por que motivo as cordas não são entrelaçadas pela diagonal¹⁷⁵? Será que têm essa dimensão, para que sejam proporcionais aos corpos? É que deste modo também têm dois dos lados duas vezes
 5 maiores que os outros dois: quatro cúbitos¹⁷⁶ de altura e dois¹⁷⁷ de largura. Não se entrelaçam as cordas na diagonal, mas sim transversalmente, para que as peças de madeira se partam menos. É que estas quebram-se mais rapidamente quando são rachadas de acordo com a natureza e distendem mais quando são carregadas nesta direcção. Além disso, visto que as cordas devem suportar o peso, distendem menos se o peso for aplicado nas cordas
 10 dispostas transversalmente do que se estiverem na oblíqua. Para mais, assim gasta-se menos corda.

Consideremos o leito AZHI, e que ZH é bissectado em B.

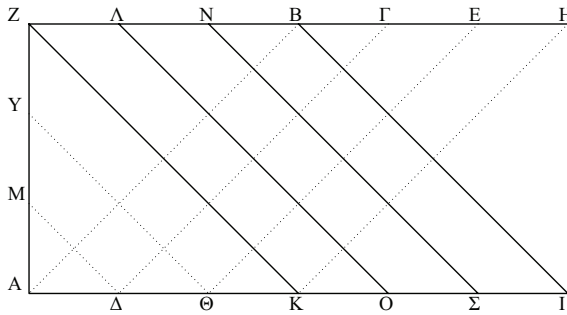


figura 15

Os furos em ZB são iguais aos que estão em ZA. De facto, estes lados são iguais, pois o [comprimento] global ZH é o dobro de ZA. Ora, as cordas entrelaçam-se tal como já foi descrito: de A para B, e, em seguida, daí para Γ,
 15 depois daí para Δ, depois daí para Θ e depois daí para E; e assim sucessivamente, até regressarem ao outro canto, pois a corda começa em dois cantos.

174. Δπλασιόπλευρος. Trata-se, pois, de um rectângulo cujo comprimento será o dobro da largura.

175. Alguns leitos, os mais pobres, tinham um complexo entrelaçado de cordas que funcionava como estrado por cima do qual era colocado uma espécie de colchão fabricado com um saco cheio de folhas secas. É a montagem deste sistema que o autor vai descrever de seguida.

176. Cerca de 1,80m.

177. Cerca de 90 cm.

As cordas são iguais nos nós: AB mais BΓ é igual ΓΔ mais ΔΘ. Também noutros casos do mesmo tipo assim acontece, já que a mesma prova se aplica nas mesmas circunstâncias: AB é igual a EΘ, pois os lados da figura BHKA são iguais, e os furos estão separados pela mesma distância. BH é igual a KA, pois o ângulo em B é igual ao em H (estão ambos em ângulos iguais, um exterior, outro interior); e o ângulo em B é metade de um ângulo recto, pois ZB é igual a ZA, e o ângulo em Z é recto. O ângulo em B é igual ao que está em H, pois o ângulo em Z é recto, visto que é um rectângulo com dois dos lados duas vezes maiores que os outros dois, bem como está dividido ao meio. Deste modo, BΓ é igual a EH, bem como o é KΘ, pois está na paralela. Por isso, BΓ é igual a KΘ, e ΓE a ΔΘ. De igual modo, também os outros lados onde passam os nós denotam ser iguais dois a dois. Assim, é evidente que no leito existem quatro secções da corda com a dimensão de AB; e independentemente da imensidão de furos que haja no lado ZH, será metade em ZB, pois este é metade daquele. Deste modo, em metade do leito há tantas secções de corda quantas existem em BA (e com a mesma dimensão) e tantos furos (por muitos que sejam) quantos há em BH. Não haverá qualquer diferença em dizer que eles são tantos quantos existem em ambos AZ e BZ.

Porém, se as cordas tivessem sido entrelaçadas na diagonal, como acontece no leito ABΓΔ, as metades não seriam tantas quantos os lados de ambos AZ e HZ; seriam, antes, iguais ao número de furos que existem em ZB mais ZA. ZB mais ZA, os dois, são maiores do que AB.

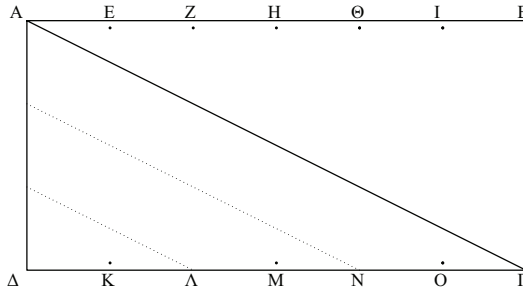


figura 16

Deste modo, a corda é maior na proporção em que ambos os lados¹⁷⁸ são maiores do que a diagonal.

178. Isto é, a soma de ambos os lados.

PROBLEMA 26:
SOBRE O TRANSPORTE DE TRAVES
DE MADEIRA COM O OMBRO

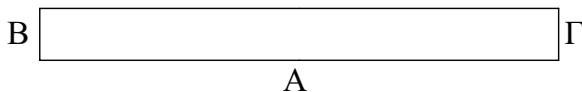
5 Por que motivo é mais difícil transportar no ombro grandes traves por uma extremidade do que pelo meio, ainda que se trate do mesmo peso? Será que, quando a trave começa a oscilar, a extremidade impede que se desloque, porque, graças à oscilação, impele a deslocação numa direcção oposta? Mas, mesmo que não provoque qualquer desvio, por não ser muito comprida,

10 não continua a ser igualmente mais difícil de transportar pela extremidade?

A razão por que é mais fácil erguê-la pelo meio do que pela extremidade é a mesma pela qual é mais fácil transportá-la deste modo. E o motivo é que, quando é erguida pelo meio, as extremidades suportam-se mutuamente, e uma ergue a outra. O meio funciona como o centro [de um círculo], quer

15 no levantamento, quer no transporte. Quando uma das extremidades se inclina para baixo, faz a outra levantar. No entanto, quando é levantada ou transportada pela extremidade, isto não acontece; antes todo o peso é inclinado numa direcção – no sentido da qual se levanta ou transporta.

Consideremos que A é o meio, e B e Γ as extremidades de uma trave a ser levantada ou transportada.



W 17

20 Quando é levantada ou transportada por A, a extremidade B, ao inclinar para baixo, levanta a extremidade Γ ; enquanto que Γ , ao inclinar para baixo, levanta a extremidade B. Mas isto [só] acontece se forem levantadas ao mesmo tempo.

PROBLEMA 27:
SOBRE O TRANSPORTE
DE PESOS COM O OMBRO

Por que motivo, se o peso em causa for um objecto extremamente longo, se torna mais difícil de transportar no ombro do que se for mais curto, mes-

mo que o transportemos pelo meio? Anteriormente¹⁷⁹, foi dito que o motivo não era a oscilação; mas, neste caso, a oscilação é o motivo. É que quando [a trave] é maior, as extremidades oscilam mais, de tal forma que, para quem a transporta, torna-se mais difícil transportá-la. O motivo pelo qual oscilam mais é que, apesar de o movimento ser o mesmo, as extremidades mudam de posição em função de quanto maior for a trave. O ombro, em A, funciona como centro (mantém-se imóvel), e AB e AΓ como raios. Quanto maior for o raio – AB ou AΓ –, maior será a dimensão da mudança de posição. Isto já foi demonstrado anteriormente¹⁸⁰.

PROBLEMA 28:
SOBRE AS PICOTAS

Por que motivo se fazem picotas¹⁸¹ nos poços da maneira que se costuma fazer? É que acrescentam o peso do chumbo à vara, visto que o caldeiro tem já o seu próprio peso, esteja ele vazio ou cheio. Será porque o seu funcionamento se divide em duas fases (deve ser mergulhado, e depois puxado para cima), e pode ser facilmente descido por estar vazio, enquanto que é levantado a custo, quando está cheio? Então, a contrapartida de ser levado para baixo um pouco mais lentamente é a vantagem de o seu peso ser aliviado quando sobe. A colocação do chumbo ou de uma pedra numa extremidade da picota produz este efeito. Quando se faz descer o caldeiro vazio com uma corda, há mais peso do que se descêssemos só o caldeiro vazio; mas quando está cheio, o chumbo, ou qualquer outro peso que tenha sido aplicado, levanta-o. Então, ambas as fases se tornam mais simples assim do que de outro modo.

PROBLEMA 29:
SOBRE O TRANSPORTE DE PESOS
NUMA TRAVE DE MADEIRA

Por que motivo, quando dois homens transportam um peso igual numa trave ou qualquer outra coisa deste tipo, eles não se esforçam por igual a não ser que o peso esteja no meio, antes se esforça mais aquele dos transportadores que estiver mais próximo do peso? Será porque, nestas condições,

179. Refere-se ao Problema imediatamente anterior.

180. Vide supra 1, 849b13; 5, 851a13.

181. Κηλόνεια. Engenho ainda hoje utilizado nos meios rurais para retirar água dos poços. A sua estrutura e funcionamento serão descritos de seguida.

15 a trave funciona como alavanca, o peso como fulcro, aquele dos transportadores que mais perto estiver do objecto como peso movido, e o outro dos transportadores como peso movente? Quanto mais distante [o movente] estiver do objecto, mais facilmente o movimenta, e mais pressão descendente recai sobre o outro, como se o objecto colocado na trave resistisse à pressão e se tornasse fulcro. Mas quando o peso é colocado no meio, nenhum funciona como peso acrescido para o outro nem como movente, antes cada um funciona como peso em igual medida que o outro.

20

PROBLEMA 30:
SOBRE O MOVIMENTO
DO CORPO AO LEVANTAR

25 Por que motivo, quando nos levantamos, descrevemos, todos nós, um ângulo agudo com a barriga da perna em relação à coxa, e com o tronco em relação à coxa; caso contrário, não nos conseguimos levantar? Será porque a igualdade é sempre causa de repouso, e um ângulo recto é próprio da igualdade, pelo que gera estagnação? Então, quem se levanta desloca-se para um ponto em que fica num ângulo semelhante ao da superfície da terra: não estará perpendicular em relação ao solo. Enquanto se levanta, aproxima-se da vertical, mas só depois de estar de pé é que fica perpendicular à terra. Se vai ficar na vertical, isto é, com a cabeça alinhada com os pés, ficará nesse estado quando se levanta. Quando está sentado, a cabeça e os

30 pés estão na paralela, e não numa só linha recta.

Consideremos a cabeça A, o tronco AB, a coxa BF e a barriga da perna ΓΔ.

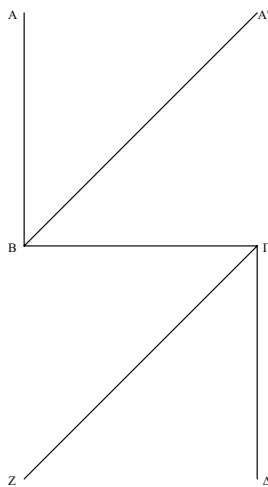


figura 18

O tronco, em AB, está perpendicular à coxa, e a coxa à barriga da perna, quando se está sentado desse modo. Por conseguinte, enquanto uma pessoa se encontra nesta posição, não consegue levantar-se. Então, é necessário que incline a barriga da perna e coloque os pés alinhados com a cabeça. Será essa a posição, se $\Gamma\Delta$ passar para ΓZ , e vai levantar-se logo que faça corresponder na mesma linha simultaneamente a cabeça e os pés. Então, ΓZ faz um ângulo agudo com $B\Gamma$.

35

858a

PROBLEMA 31:
SOBRE A DESLOCAÇÃO DE OBJECTOS
JÁ EM MOVIMENTO

Por que motivo se movimenta mais facilmente aquilo que já está em movimento do que aquilo que está em repouso? – por exemplo, uma carroça já em movimento é mais rapidamente empurrada do que quando começa [a andar]. Será pelo mesmo motivo que é mais difícil movimentar um peso que se movimenta na direcção oposta? É que parte da força do movente é subtraída, mesmo que [seja] muito mais rápida, pois é forçoso que a impulsão do objecto rebatido se torne mais lenta. Em segunda instância, é mais difícil [de movimentar], se estiver em repouso, pois o que está em repouso resiste. No entanto, quando algo se movimenta na mesma direcção que aquele que o empurra, resulta como se alguém aumentasse a força e a rapidez do movente. Ao movimentar-se numa trajectória para a frente, produz já o mesmo efeito que iria sofrer do movente.

5

10

PROBLEMA 32:
SOBRE O MOVIMENTO DOS PROJECTEIS I

Por que motivo os objectos projectados deixam de se deslocar? Será [que é] quando se esgota a força que os disparou, será por causa de serem contrariados, ou por causa do impulso, se este for superior à força do disparo? Será descabido enfrentarmos estas dificuldades, quando nos escapam os princípios.

15



PROBLEMA 33:
SOBRE A FORÇA PROPULSORA

20 Por que motivo um determinado corpo é deslocado por algo que não a sua própria deslocação, se a força propulsora não o acompanha nem o continua a empurrar? É evidente que o impulso inicial fez com que outro empurrasse, e esse empurrasse outro ainda. Porém, cessa quando a força propulsora já não tem potência para empurrar o deslocado e quando o peso do deslocado o faz inclinar mais do que a força propulsora o faz andar para a frente.



PROBLEMA 34:
SOBRE O MOVIMENTO DOS PROJÉCTEIS II

25 Por que motivo nem os objectos mais pequenos nem os maiores se deslocam mais longe quando são atirados, antes devem manter uma determinada proporção com aquilo que os atira? Será porque um objecto atirado e empurrado oferece necessariamente resistência para a direcção de onde é empurrado? Mas aquilo que, em virtude da sua grandeza, não cede, ou, em virtude da sua fraqueza, não oferece qualquer resistência, não pode ser atirado nem empurrado. Aquilo que excede em muito a força daquilo que empurra não cede de todo, ao passo que aquilo que é muito mais fraco não oferece qualquer resistência. Será porque o deslocado segue tanto quanto se possa movimentar no interior do ar? Mas aquilo que não se movimenta de todo não pode movimentar nada. Ambos se encontram nestas condições: o 30
 858b excessivamente grande e o excessivamente pequeno são como objectos que não se movimentam, na medida em que um não movimenta nada e o outro não se movimenta de todo.



PROBLEMA 35:
**SOBRE O MOVIMENTO DE OBJECTOS
 EM REDEMOINHOS**

5 Por que motivo os deslocados que seguem em redemoinhos de água terminam todos no meio? Será porque o deslocado tem uma dimensão tal que se encontra em dois círculos – um mais pequeno e outro maior –, estando cada uma das suas extremidades em cada um deles? Então, o círculo

maior, em virtude de se deslocar mais rapidamente, faz girar o objecto e empurra-o na oblíqua para o círculo mais pequeno. No entanto, visto que o deslocado tem uma largura, este círculo produz novamente o mesmo efeito e empurra-o para um círculo interior, até que por fim chega ao meio. Ali permanece o deslocado, por causa de se encontrar na mesma relação com todos os círculos, em virtude de estar no meio – em todos os círculos, o meio está à mesma distância de todos os pontos da circunferência.

10

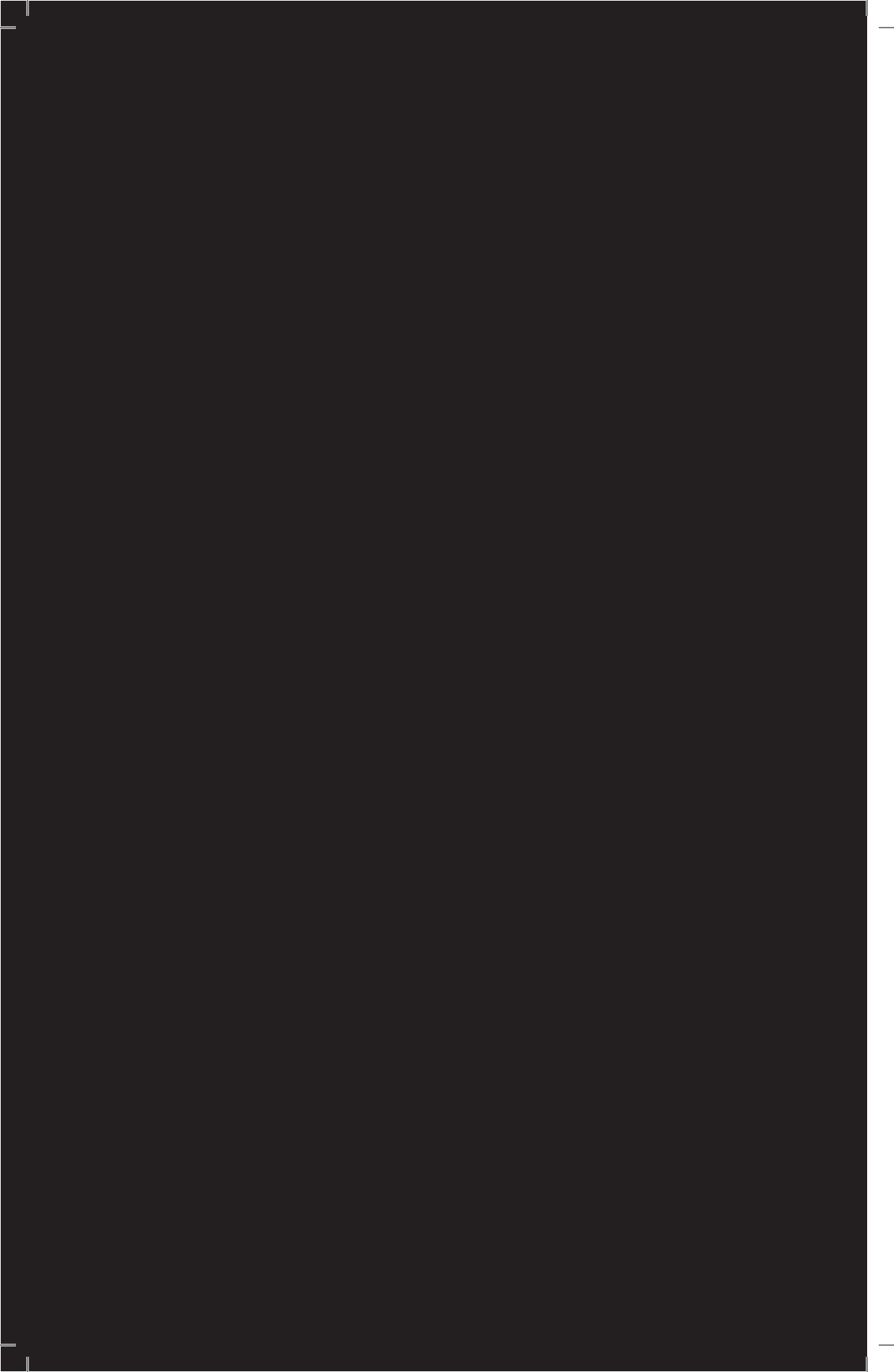
Ou será que é porque tudo aquilo que, graças à dimensão, a deslocação do redemoinho de água não consegue dominar, antes supera com o peso a velocidade do círculo, necessariamente fica para trás e desloca-se mais lentamente? No entanto, o círculo mais pequeno desloca-se mais lentamente, pois o círculo grande gira em igual medida, e no mesmo tempo, que o círculo pequeno, desde que estejam em torno do mesmo meio. Deste modo, é inevitável que o objecto vá sendo deixado em cada círculo mais pequeno, até que chegue ao meio. Nos casos em que a deslocação do redemoinho dominar desde o princípio, acontecerá a mesma coisa até que cesse. Então, é forçoso que cada círculo subsequente domine o objecto com a velocidade do seu peso, de tal forma que todos os objectos vão continuamente largando [os círculos] até que cheguem ao círculo interior. Um objecto que não domine movimenta-se inevitavelmente para dentro ou para fora. Por conseguinte, não é possível que o que não é dominado se desloque no mesmo [círculo] em que está, nem tampouco que fique no exterior, pois a deslocação do círculo exterior é ainda mais rápida. Ao objecto que não é dominado resta-lhe mudar de posição para o interior. Ora, cada objecto tende sempre a não ser dominado; mas, visto que a chegada ao meio constitui o limite do objecto que não é movimentado, e o centro é a única coisa que permanece imóvel, é inevitável que todas as coisas se concentrem nele.

15

20

25

30



GLOSSÁRIO

ἄκρον [τό]: extremidade (848a21; 849a2, 12, 14; 849b2, 25; 850b21, 23; 851a7, 9, 26; 852b17, 23; 853a4, 11, 14; 853b34; 854a26; 854b2, 16; 857a5, 7, 10, 11, 13, 15-16, 18, 22, 25, 28; 857b3, 7); extremo (848a1).

ἀμβλύς: [ângulo] obtuso (855a10, 15, 17, 23).

ἀνάλογον [τό]: proporção (849b4, 8, 18) cf. λόγος.

ἀνασπάω: destroçar (853a31); elevar (850a10; 853a22).

ἀντισπάω: contrariar (851b9, 12; 858a14); desviar (849a13, 19, 31; 857a8).

ἀντωθέω: rebater (851a3; 858a8).

ἀπορέω: colocar uma dificuldade (848b2); criar um obstáculo (847a28); enfrentar uma dificuldade (858a16); objectar (856a33); ser intrigante (855a28).

ἀπορία: dificuldade (856a17); obstáculo (847a17, 19).

ἀπωθέω: empurrar (850b13; 858b9-10) cf. ὠθέω.

βάρος: peso (847a23; 847b12-15; 849b25, 28, 31, 34; 850a4, 10, 18, 25, 28-32, 37-40; 850b7, 9, 12, 14-15, 34, 38; 851a3; 851b1, 4, 26, 29; 852a6, 18, 23, 35; 852b1; 853a8, 11, 19, 22, 28, 37-38; 853b6, 8, 11, 19, 21, 27, 34, 39; 854a1, 4, 8-9, 11, 14, 17, 29, 38; 854b3; 856b8, 10; 857a6, 17, 22, 35-36; 857b3, 5, 10-16, 19; 858a6, 21; 858b15, 23).

βαρύ [τό]: corpo pesado (852a26; 853b19).

βέλος: projéctil (852a38; 852b2-4).

γραμμή: [ἡ περιεχούση γ. τὸν κύκλον / ἡ γ. ἢ τοῦ κύκλου] circunferência (847b23; 851b34); linha (848a1; 848b4, 13; 855a18, 25, 29, 31, 33; 855b1, 4, 16; 856a16, 33); [ἡ ἐκ τοῦ κέντρου γ.] raio (848a8, 15; 848b4) cf. γραφέω, κέντρον.

γραφέω: descrever (848b8; 850b4; 852b34; 856b14); [ἡ γ. τὸν κύκλον / ἡ γ. ἐκ τοῦ κέντρου] raio (848a6; 848b10, 35; 849a11, 15, 20, 26) cf. γραμμή, κέντρον.

γωνία: ângulo (851a13; 854b10; 855a17, 21, 24, 36; 856b23, 25-26; 857b21, 24; 858a2); arco (851b24, 38); canto (856b16-17).

διάμετρον: diagonal (848b12, 21, 23-24, 26, 28; 849a5; 854b20, 25, 32-33, 35-36, 38; 855a6, 14; 856b2, 5, 38; 857a4); diâmetro (848a21, 27, 29; 849a24, 37; 851b27, 30, 39; 852a13; 855a37).

διασπάω: partir (856b6).

διπλασιόπλευρος: com dois dos lados duas vezes maiores que os outros dois (856a39; 856b4, 27).

δύναμις: força (850a30; 850b29-30; 851b3; 853a25; 855b33; 858a6, 10, 22) cf. ισχύς.

έδώλιον: carlinga (851a40; 851b5).

έκκυλίνδω: girar (855a30, 34-35, 39; 855b3, 5, 30) cf. κυλίνδω, περισπάω.

έκκρούω: repelir (849a7, 9, 30; 851a10).

έναντίος / ύπεναντίος: oposto (847a14; 847b21-22; 848a4, 20; 851b14, 33; 852a27; 853a21, 29, 33; 853b24; 854b13; 855a11, 16, 24, 26; [άπό έ.] transversalmente (856b6) cf. εϋθύς, λοξός, ὄρθιον.

έτερομήκης: rectângulo (849a26; 856b27).

εϋθύς: [τό / sc. γραμμή] recta (847b27, 848b11, 28, 31, 37; 849a36; 851a4; 854b17; 857b32); rectilíneo (848b27, 33) cf. εϋθύγραμμα; recto (848a1; 855a24-25); [ή ε.] trajetória (856a3, 5); [τή ε.] transversalmente (851b25) cf. έναντίος, λοξός, ὄρθιον.

εϋθύγραμμα: rectilíneo (851b25) cf. εϋθύς.

ζυγόν: balança (848a12-13; 848b1-2; 849b21, 27; 850a4, 6, 9, 11, 14, 16, 20, 24; 852a19, 23; 853b26, 29, 32, 35-37; 854a3, 6); braço da balança (850a22, 34; 852a21); eixo (852b11, 14, 18) cf. μέσον, ζύλον.

ήρεμέω: estar em repouso (852b6; 853a18; 853b20; 858a8-9).

ήρεμία: repouso (852b5; 857b24).

θάττον: mais rapidamente (847b15; 848a17; 848b5-6; 849b25; 850a36; 851a38; 851b3; 852a15).

θερμαστρίς: pinça (854a24).

θλίψις: pressão (853a20; 857b16).

ιστίον: vela (851a39; 851b2, 4, 7).

ιστός: mastro (851a40).

ισχύς: força (847b12; 848b5; 849a7; 849b20; 850b5; 851a16; 851b37; 852b13, 16, 17; 853a25, 37-38; 854a34; 854b2, 8, 12; 858a14, 28) cf. δύναμις.

κάθετος: perpendicular (848b37-38; 849a32, 34; 849b14; 850a7, 9, 12, 15, 17, 22, 24; 855b19; 857b28) cf. ὀρθός.

κάμψις: nó (856b18, 31).

κέντρον: centro (849a1, 17, 19, 23; 849b13, 20, 23; 850a36, 39; 850b16; 851b17-20; 852a21-22; 852b14, 18, 26-27, 33; 853b30; 855a30, 32; 855b2, 6, 9, 19, 28; 856a24, 31, 34-35, 37; 857a14, 29, 31; 858b30); [ἡ γραμμὴ ἐκ τοῦ κ.] raio (852b15, 21, 33; 857a31) cf. γραμμή, γραφέω.

κεραία: verga [de um navio] (851a38; 851b4).

κηλώνειον: picota (857a34; 857b3).

κινέω: movimentar / produzir movimento (847a22; 847b12-14; 848a4-5, 8, 20, 22, 24, 27-30, 32; 848b5; 849a8, 20; 849b25, 29; 850a30, 32, 37; 850b3, 8, 10, 13-15, 20, 26, 31, 36-37; 851a6, 16; 851b1, 3, 16, 27, 30-33, 37; 852a2-3, 5-6, 10-13 15, 18, 23, 27, 35; 852b2-3, 6, 9, 11, 15, 27; 853a1, 24; 853b10, 20; 854a13, 24, 30; 854b8; 855b9, 18, 25, 29, 32, 34-39; 856a5, 8-11, 13-14, 18, 21-23, 26, 28-29, 31, 38; 857b16, 20; 858a3-5, 9, 11, 31-32; 858b2-3, 24, 30); [κίνηθεις] movimento (848a33) cf. κίνησις, κινούμενον.

κίνησις: movimento (848a4, 14, 18, 20, 24; 851a5, 11; 852b32, 34; 853a1, 3, 26; 853b18-20; 855b28; 856a8, 19, 26-27; 857a28) cf. κινέω, κινούμενον.

κινούμενον [τό]: movido (850a39-40; 850b8; 851a6, 33; 856a10; 857b14); [sem artigo] movimento (847b20; 853b20; 854b1) cf. κινέω, κίνησις.

κινούν [τό] / κινῶν [ό]: movente (850a39-40; 850b5, 7, 34; 851a7; 851b1, 27; 852a10, 12; 855b39; 856a36; 857b15; 858a6, 10).

κοῖλος: côncavo (847b25; 848a2).

κόλλοψ: cavilha (852b12, 18).

κρόκη: seixo (852b29, 39).

κύκλος: círculo (847b16, 19; 848a4, 12, 18, 20, 24, 26-28, 30, 34; 848b3, 8; 849a2, 22, 32, 36, 38; 849b2; 851b16, 22, 28, 36, 39-40; 852a2-3, 8, 14, 37; 852b4, 16, 34; 853a33; 854a20; 855a28-29, 34, 38; 855b4-5, 15-16, 18; 856a1, 10-11, 36; 858b6, 12, 14, 16-17, 19-20, 23, 27).

κυλίνδω: girar (851b16, 18, 21; 852a36; 856a3, 6-8, 24-25) cf. ἐκκυλίνδω, περισπάω; rebolar (853a2).

κυρτός: convexo (847b25; 848a2).

κόπη: remo (850b11, 13, 17, 21, 23-25, 27, 35; 851a2, 16, 18-19, 28, 34).

λόγος: [λ. ἄξιον] ao meio (853b16); proporção (848b10, 13, 17, 19, 25-26, 29, 31-32, 35; 849a4, 6; 855a39) cf. ἀνάλογον; razão (854b18).

λοξός: transversalmente (856b9) cf. ἐναντίος, εὐθύς, ὄρθιον.

μέγεθος: dimensão (850b31; 852b22; 853a20, 27; 855a30; 856b2, 35; 858a27; 858b5, 15); grandeza (849b29, 31; 851a16; 852b14; 855b34); grau (849b33).

μεθίστημι: mudar de posição (851a35, 37; 852b17; 857a28, 32; 858b28).

μέσον [τό]: eixo (851a33-34) cf. ζυγόν, ξύλον; meio (847b27; 849a13; 849b36; 850b17, 27; 851a6, 25; 852b31-32, 38; 856b27; 857a6, 11-12, 14, 18, 23; 857b11, 18; 858b5, 11, 13, 18, 21, 30).

μετακινέω: mudar (851a20, 27, 35).

μηχανή: [τέχνη] mecânica (847a19).

μηχάνημα: mecanismo (848a36).

μηχανικός: mecânico (847aτ, 24; 848a14).

μοχλεύω: servir de alavanca (851b12); usar uma alavanca (853a38).

μοχλός: alavanca (847b11, 13, 15; 848a13-14; 850a31-33, 38; 850b3, 6, 11, 15, 32, 40; 853a8, 15, 21, 28-30; 853b1, 12, 23, 29; 854a10, 13, 22, 27, 37-38; 854b4, 8-9, 12).

ξύλον: árvore (850a1); bloco de madeira (853a33, 35; 853b14, 15); cabo (852b22; 853a5, 9, 17); eixo (852b20) cf. ζυγόν, μέσον; madeira (849b37); peça de madeira (856b6); trave (857a5, 7, 29; 857b9, 13); vara (857a35).

ὀδοντάγρα: fórceps (854a16, 19, 22, 25).

οἶαξ: manípulo (850b29; 851a34).

ὄνος: cabrestante (852b12-13; 853b12).

ὀξύς: agudo (855a5, 13, 15, 21; 857b21; 858a2).

ὄρθιον [πρός]: transversalmente (851b27) cf. ἐναντίος, εὐθύς, λοξός.

ὀρθός: [ὀ. γωνία] ângulo recto (856b24-26; 857b24); horizontal (850a11, 24; 854a2); ortogonal (855b19); perpendicular (849a36; 855b10-11, 22; 857b26-27, 29, 33) cf. κάθετος.

παράλληλος: na paralela (856b29; 857b31) cf. πλάτος.

πέλεκυς: machado (853b14, 16, 22).

περισπάω: fazer girar (858b8) cf. ἐκκυλίνδω, κυλίνδω.

περιφέρεια: arco de circunferência (849a6, 16; 849b6; 852a10; 855a37; 855b13, 16); [ἡ π. τῆς γῆς] a superfície da terra.

πηδάλιον: leme (850b28, 31, 33, 36; 851a4, 11, 29, 32; 851b9, 12).

πλάγιον [τό]: tangente (849a17; 852a12); na oblíqua (850b37; 851a4-5, 31; 852a27-28; 856b10; 858b8).

πλάστιγξ: prato da balança (849b24, 26, 30; 853b27, 31-35; 854a1, 3-4, 8, 11).

πλάτος: largura (847b24; 856b5; 858b9); [κατὰ π.] na paralela (850b35; 851a3) cf. παράλληλος.

πλευρόν: lado (848b24, 29; 854b19-21, 27, 31, 34, 39-40; 855a3-4, 7, 12, 14, 22, 26; 856a39; 856b13, 21, 27, 33; 857a1, 4).

πληγή: pancada (853a23, 32; 854b3).

ποδιαίος: um pé [de extensão] (856a11); [τό] escota (851b8).

πονέω: distender (856b8-9).

πρόβλημα: problema (847a23, 25; 848a19).

προσκόπτω: exercer fricção (851b23; 852a32; 853a3).

πρόσκοψις: fricção (852a32).

πρύμνα: popa (851a11, 31, 35).

πρῶρα: proa (851a32, 36-37; 851b8).

ρᾶον: mais facilmente (850a32; 850b3; 851b13; 852a15, 23; 852b11; 854a13; 854b8; 857b16, 858a3).

ρέπω: inclinar (849b38; 850a8; 851b26, 31-32; 852a28; 857a16-17, 20; 858a21).

ρόμβος: losango (854b16; 855a5).

ρόπή: inclinação (849b33; 851b33); impulso (847a22; 850a13, 15; 851b38; 852a2-3, 9, 27; 858a15).

σημείον: ponto (848a16; 849b12-13, 20; 854b17; 855a9; 855b25-26) cf. στιγμή.

σκαλμός: cavilha (850b11, 16, 22, 25, 27; 851a18, 34).

σκυτάλη: cilindro (852a16, 29, 31, 34) cf. τροχίλεα.

σπαρτίον / σπάρτον: cabo de uma balança (849b23, 26, 35; 850a3, 6-7, 11, 20, 34-35, 38; 852a20-21; 853b30, 36, 38; 854a2, 7-8, 10); corda (856b9, 11, 18, 32, 35, 38; 857a3).

σταθμόν: contrapeso (853b33, 38; 854a5) cf. σφαίρωμα.

στέλλω: rizar [as velas] (851b8).

στάσις: estagnação (855b23; 857b25).

στιγμή: ponto (851b23, 29) cf. σημείον.

συμβεβηκός: [κατὰ σ.] accidental (856a34).

συναφή: junta (854a39; 854b11) cf. σύναψις.

σύναψις: junta (854a23, 29) cf. συναφή.

σφαίρωμα: contrapeso [esférico] (853b32, 37; 854a5, 14) cf. σταθμόν.

σφενδόνη: funda (852a39; 852b2-3, 7-8, 10).

σφήν: cunha (853a19, 21, 27; 853b22).

σχῆμα: figura (848b12; 851b15) cf. χωρίον.

τετράπλευρον: paralelogramo (848b20).

τέχνη: técnica (847a13, 18, 20).

τοῖχος: amurada [de um barco] (850b19).

τρίγωνον: triângulo (851a24).

τροχιλέα / τροχιλεία / τροχιλία : cilindro (853a32, 36) cf. σκυτάλη; roldana (851b19; 852a5, 15; 853a39; 853b3, 7, 11).

τρόχος: roda (851b18, 21; 852a24, 30).

ὑπομόχλιον: fulcro (850a35, 38; 850b6-7, 13, 16, 33, 39-40; 851b3, 5; 853a8, 10-12, 18, 22, 29-30; 854a11, 14, 23, 28, 38; 854b7, 9, 13; 857b18).

φερόμενον [τό]: deslocado (848b11, 24, 30, 31, 36; 849a7; 851a8; 854b19; 858a20-21; 858b4, 6, 10, 12); [sem artigo] em deslocação (852a9).

φέρω: deslocar¹⁸² (848a16; 848b5, 9, 11, 14-16, 24-26, 30, 34; 849a2, 4, 6, 14-15, 18, 28-29; 849b1-2, 12, 17, 20; 850a19; 851a7; 852a37, 38; 852b32, 35; 853b21; 854b16, 21, 23-25, 27, 31-33, 36; 855a4-5, 8, 12-13, 19, 22, 27; 855b31; 857a8; 857b25; 858b4, 8, 17, 26); suportar (856b9); transportar (857a6, 10-11, 16, 18-19, 23, 26-27; 857b9, 12, 14-15; 858a13, 17, 24, 30).

φορά: deslocação (848b10, 17, 22, 24, 26-27, 33-34, 36; 849b3; 851a9-10; 851b34; 852a8; 853a23; 854a34; 854b16, 22; 855a5, 8, 11, 20, 24, 27; 857a8; 858a17, 30; 858b14, 21, 27).

φορτίον: carga (852a29; 853b15).

φυσικός: físico (847a24, 27-28).

182. Inclui também os casos em que o verbo φέρω é vertido por «seguir»; cf. n. 122.

φύσις: [παρὰ φ.] contra a natureza (847a12, 17; 849a16, 20; 849b3, 5-6, 9-10, 14, 19); [κατὰ φ.] de acordo com a natureza (847a11; 849a16; 849b3, 5-6, 9-10, 13, 18; 856b7); natureza (847a14-15, 21; 847b21; 848a35).

χρόνος: tempo (848b6, 8, 27, 32-33, 35; 849b1, 7; 852a17; 852b35; 855b24; 858b18); fase (857a37).

χωρίον: espaço (852a18); figura (856b22) cf. σχήμα.

ώθειω: empurrar (851a3, 31; 851b31; 852a12, 37; 856a2, 7; 858a9, 18-19, 21-22, 26, 28-29) cf. άπωθειω.

ώσις: impulsão (858a7).



ÍNDICE DE AUTORES ANTIGOS

Al-Khazini

Kitab mizan al-Hikma

V (*Nutaf min al-Hiyal*) – 41

Anaximandro (DK 12)

A 1 (= D.L. II.1) – 19 (n. 30)

A 2 (= Suid. alpha 1987.1 ‘Αναξίμανδρος’) – 19 (n. 30)

A 11 (= Hippol. *Haer.* I.6.4-7) – 19 (n. 29)

Antifonte (*TrGF* I 55)

fr. 4 (= Arist. *Mech.* 847a20-21) – 57

Arato – 19

Aristófanes (KA III.2)

Nubes

218 – 21 (n. 37)

Pax

80 – 21 (n. 37)

154-179 – 21

1240-1249 – 30 (n. 59)

fr. 160 (= *POxy.* 2742.1.8) – 21 (n. 37)

Aristóteles

Analytica posteriora

I 9, 76a13 – 26

I 9, 76a24 – 16; 26

I 13, 78b37 – 16; 26

Sophistici elenchi – 83 (n. 172)

Physica

IV 9, 217b3, 12 – 62 (n. 128)

VII 1, 243a8 – 33 (n. 66)

VII 2, 244a2-4 – 28

VII 5, 249b27-250a4 – 32

VII 5, 249b31 – 32

VII 5, 250a2 – 32

VII 5, 250a8 – 32

VII 5, 250a9 – 32

VIII – 28 (n. 54)

VIII 3, 253b6-7 – 32 (n. 64)

VIII 4, 255a20-23 – 28

VIII 8, 264b25 – 62 (n. 128)

VIII 10, 266b17-18 – 32 (n. 64)

De caelo

I 4, 270b34-271a2 – 58 (n. 116)

I 7, 275a7-10 – 32

I 8, 277a29 – 59 (n. 119)

II 8, 289b18-29, 33-34 – 59 (n. 119)

III 2, 301b4 – 32 (n. 65)

III 2, 301b4-13 – 32

IV 4, 311b33 – 33 (n. 66)

De generatione et corruptione

I 3, 319b32 – 33 (n. 66)

Meteorologica

I 4, 342a16-27 – 28

De generatione animalium

VII 7, 787a15-22 – 32 (n. 64)

Mechanica

847a13-20 – 25

847a20-21 (=TrGF I 55 F 4) – 57 (n. 108)

847a20-24 – 34 (n. 71)

847a22-23 – 25

847a23 – 36

847a25 – 36

847a25-28 – 25

847b15 – 34 (n. 70)

847b16-17 – 26

848a11-14 – 29

848a12 – 26

848a16-b1 – 26

848a17 – 34 (n. 70)

848a19 – 36

848a36 – 14 (n. 14)

1 – 34 (n. 109); 36 (n. 76);

1, 848b1-850a2 – 36 (n. 76)

1, 848b5-6 – 34 (n. 70)

1, 848b6-7 – 34 (n. 69)

1, 848b10-12 – 27

1, 848b20 – 45
 1, 848b35-849a22 – 27
 1, 849a3-22 – 28
 1, 849a14-16 – 27
 1, 849b25 – 34 (n. 70)
 3, 850a32 – 34 (n. 70)
 3, 850a36 – 34 (n. 70)
 3, 850b3 – 34 (n. 70)
 5, 851a22:3
 5, 851a38 – 34 (n. 70)
 6, 851b3 – 34 (n. 70)
 9, 852a15 – 34 (n. 70)
 10, 852a23 – 34 (n. 70)
 13, 852b11 – 34 (n. 70)
 15 – 34 (n. 69)
 20, 853b25 – 30 (n. 58)
 20, 853b25-854a15
 20, 853b32 – 30
 20, 854a6-7 – 30
 20, 854a13 – 34 (n. 70)
 22, 854b8 – 34 (n. 70)
 24 – 34 (n. 69); 38-40; 41
 24, 855a28 – 38
 29 – 20 (n. 32)
 29, 857b16 – 34 (n. 70)
 31, 858a3 – 34 (n. 70)
 32, 858a13-16 – 36

Metaphysica

I 1, 981a5-8, 27-30 – 25 (n. 45)
 I 4, 985a18 – 16
 XIII 3, 1078a14-18 – 25
 XIII 3, 1078a16 – 16

Ethica Nicomachea

VI 4, 1140a1-23 – 25 (n. 45)
 X 3, 1174a30 – 33 (n. 66)

Rhetorica

I 1, 1355b15-21 – 83 (n. 172)

Arquimedes

De planorum aequilibriis

prop. 6 – 30

Arquitas – 46

Averróis – 41

Cícero

De republica

I.22 – 19

Demócrito (DK 68)

A 33 (= D.L. IX.49) – 36 (n. 75)

B 299h = A 33 – 36 (n. 75)

Diodoro Sículo

Bibliotheca historica

I.63 – 18

XIV.42 – 21 (n. 36)

XXVIII.3 – 20 (n. 35)

Diógenes Laércio

Vitae philosophorum

II.1 (= DK 12 A 1) – 19 (n. 30)

V.22-27 – 43

VIII.79 – 46 (n. 105)

IX.49 (DK 68 A 33 / B 299h) – 36 (n. 75)

Éforo (FGrH 70)

fr. 194 (= Plu. *Per.* 27.3) – 20 (n. 35)

Enki e Ninmah

30-44 – 17 (n. 18)

Ésquilo

Agamemnon

1126 – 14 (n. 14)

Coephoroi

981 – 14 (n. 14)

Persae

722 – 15

Prometheus uinctus

469 – 14 (n. 14)

989 – 14 (n. 14)

Estobeu*Anthologium*8.1 (= *TrGF* V.2 F 288.1) – 14 (n. 14)**Estratão de Lâmpsaco – 46****Euclides***Elementa* – 31; 45**Eudoxo de Cnido – 19****Eurípides (*TrGF* V.2)***Belerophon* – 21*Hercules furens*

855 – 14 (n. 14)

Ion

809 – 14 (n. 14)

1126 – 14 (n. 14)

frs. 285-315 = *Belerophon* – 21 (n. 39)fr. 288.1 (= *Stob.* 8.1) – 14 (n. 14)**Fílon de Bizâncio – 17 (n. 23)****Frederico II da Sicília***De artibus uenandi cum auibus* – 42**Heródoto***Historiae*

I.79 – 15 (n. 15)

II.48 – 19

II.109 – 19 (n. 30)

II.141 – 15 (n. 15)

II.181 – 15 (n. 17)

II.195 – 18

IV.151 – 15 (n. 17)

VII.33-37 – 15 (n. 15)

VII.55-57 – 15 (n. 15)

IX.121 – 15 (n. 15)

Héron de Alexandria*Mechanica* – 40

Hesíodo

Opera et dies

60-61 – 17

Theogonia

146 – 14

501-506 – 14 (n. 11)

Hesíquio de Mileto – 43

[Hipócrates]

De articulis

44 – 22

De fracturis

33 – 22

De medico

11 – 78 (n. 165)

Hipólito

Refutatio omnium haeresium

I.6.4-7 (= DK 12 A 11) – 19 (n. 29)

[Homero]

Ilias

I.311 – 13 (n. 3)

II.173 – 13 (n. 4)

II.342 – 15 (n. 17)

IV.358 – 13 (n. 4)

VII.99 – 17 (n. 18)

VIII.130 – 13 (n. 8)

VIII.177 – 13

X.144 – 13 (n. 4)

X.382 – 13 (n. 3)

XIV.82 – 13 (n. 3)

XVIII.376 – 17

XVIII.378 – 17

XVIII.409 – 13 (n. 6)

XVIII.419-420 – 17

XVIII.421 – 17

XXIII.104 – 17 (n. 22)

XXIII.723 – 13 (n. 4)

XXIII.755 – 13 (n. 3)

Odyssea

- I.205 – 13 (n. 4)
- II.173 – 13 (n. 3)
- IV.763 – 13 (n. 3)
- IX.385 – 13
- X.401 – 13 (n. 4)
- XI.310 – 13 (n. 8)
- XII.392 – 15 (n. 17)
- XIII.311 – 13 (n. 3)
- XVI.167 – 13 (n. 4)
- XXII.34 – 13 (n. 3)
- XXIII.321 – 13 (n. 4)

Hymni Homerici*In Mercurium*

- 319 – 13 (n. 5)
- 436 – 13 (n. 5)

Papo de Alexandria*Synagoge*

- VIII.1024.11-sqq. – 23 (n. 42)

Platão*Cratylus*

- 415a – 15
- 421b – 33 (n. 67)
- 425d – 15

Gorgias

- 451c – 33 (n. 67)

Leges

- X, 897c – 33 (n. 67)

Protagoras

- 321c – 15 (n. 16)

Respublica

- VI – 24 (n. 43)

Symposium

- 188b – 33 (n. 67)

Theaetetus

- 151a – 15 (n. 16)

Timaeus

- 39b – 33 (n. 67)
- 81a – 33 (n. 67)

Plínio-o-Antigo

Naturalis historia

VII.202 – 20 (n. 35)

Plutarco

Pericles

27.3 (= FGrH 70 F 194) – 20 (n. 35)

Políbio

Historiae

XII.13.9 – 19 (n. 28)

Ptolomeu – 43

***Repertorium super mechanica Aristotelis* – 42**

Simplicio

In Aristotelis Physica commentaria

1110.2-5 – 35

Sófocles

Oedipus Coloneus

762 – 14 (n. 14)

Sorano

De signis fracturarum

II.63 – 78 (n. 165)

Suda

alpha 1987.1 ‘Αναξιμανδρος’ (= DK 12 A 2) – 19 (n. 30)

Tabit ibn-Qurra

Kitab al-Qarastun [Liber Karastonis] – 41

Tales – 19

Teócrito

Idyllia

II.95 – 15 (n. 17)

Tucídides – 20

Vetus Testamentum

Genesis

2.7 – 17 (n. 18)

Vitrúvio

De architectura

X.3 – 41



ÍNDICE DE AUTORES MODERNOS

- Abbattouy, M. – 41 (n. 83-85)
 Apelt, O. – 68 (n. 137)
 Bekker, I. – 68 (n. 137)
 Berryman, S. – 17 (n. 19-20); 19 (n. 31); 23 (n. 42); 40 (n. 81); 46 (n. 104)
 Bodnár, I. – 27 (n. 49); 40 (n. 80)
 Bottecchia, M. E. – 9; 28 (n. 51); 30 (n. 60); 41 (n. 82); 42 (n. 87-90); 44;
 57 (n. 109); 58 (n. 116); 59 (n. 119); 66 (n. 134); 68 (n. 137); 70 (n. 145)
 Bunch, B. – 39 (n. 78)
 Burford, A. – 17 (n. 21)
 Campbell, A. – 21 (n. 36)
 Cantor, G. – 40
 Cardano, G. – 43 (n. 91)
 Carteron, H. – 32 (n. 65); 33 (n. 68)
 Chantraine, P. – 14 (n. 9)
 Clagett, M. – 41 (n. 82)
 Coulton, J. J. – 20 (n. 32)
 Couprie, D. – 19 (n. 30)
 Damerow, P. – 30 (n. 60)
 De Gandt, F. – 27 (n. 49-50); 31 (n. 63); 45 (n. 102)
 Descartes, R. – 40
 Detienne, M. – 13 (n. 2)
 Dijksterhuis, J. E. – 30 (n. 61)
 Drabkin, I. – 38 (n. 77); 39 (n. 78); 40 (n. 81)
 Drake, S. – 42 (n. 86, 89-90); 43 (n. 91)
 Duhem, P. – 23; 33 (n. 68); 35 (n. 73)
 Edwards, J. F. – 18 (n. 25)
 Edwards, M. W. – 17 (n. 21)
 Fausto, V. – 42
 Fensterbuch, C. – 21 (n. 38)
 Fermat, P. d. – 40
 Forster, E. S. – 36 (n. 76)
 Fuller, G. – 27 (n. 50)
 Galileu, G. – 11; 40; 42; 75 (n. 156)
 Gardner, M. – 40 (n. 79)
 Garlan, Y. – 20 (n. 34)
 Gercke, A. – 44
 Hahn, R. – 19 (n. 30)

- Heath, T. – 45
 Heiberg, J. – 45
 Hett, W. S. – 68 (n. 137)
 Humphrey, J. W. – 17 (n. 23)
 Jaouiche, K. – 41 (n. 83)
 Kirk, G. S. – 19 (n. 30)
 Knorr, W. – 41 (n. 83)
 Knutzen, G. H. – 22 (n. 40)
 Krafft, F. – 14 (n. 12); 28 (n. 53); 29 (n. 56); 41 (n. 82); 43; 45 (n. 94);
 57 (n. 104)
 Laird, W. R. – 42 (n. 86)
 Lloyd, G. E. R. – 22 (n. 42); 24 (n. 44)
 Manúcio, A. – 42
 Marsden, E. W. – 21 (n. 36)
 Mesquita, A. P. – 43 (n. 91); 45 (n. 103)
 Micheli, G. – 14 (n. 9); 18 (n. 24); 20 (n. 33); 21 (n. 36); 27 (n. 49); 28 (n. 52);
 41 (n. 82-83); 42 (n. 90); 57 (n. 109); 61 (n. 125)
 Montucla, J. E. – 44
 Patrizi, F. – 43 (n. 91)
 Pellegrin, P. – 27 (n. 49); 40 (n. 80)
 Pereira, M. H. d. R. – 17 (n. 22)
 Prager, F. D. – 17 (n. 23)
 Renn, J. – 31 (n. 62); 35 (n. 72, 74)
 Rose, P. S. – 42 (n. 86); 43 (n. 91)
 Rose, V. – 44
 Taplin, O. – 21 (n. 38)
 Vernant, J.-P. – 13 (n. 2)
 West, M. L. – 14 (n. 10)
 Winter, T. N. – 46 (n. 105)
 Zeller, E. – 45 (n. 102)





ÍNDICE GERAL

NOTA PRÉVIA 9

INTRODUÇÃO 11

1. A «MECÂNICA» ANTES DOS [PROBLEMAS] MECÂNICOS 13

1.1 BREVE HISTÓRIA DO CONCEITO 13

1.2 A MECÂNICA COM τέχνη DIVINA 16

1.3 CONHECIMENTO IMPLÍCITO 18

2. OS [PROBLEMAS] MECÂNICOS 23

2.1 ESTABELECIMENTO DA MECÂNICA COMO DISCIPLINA 23

2.2 ÂMBITO E EIXOS TEÓRICOS DA MECÂNICA 24

2.3 GÉNERO E ESTRUTURA 35

2.4 TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO 40

2.5 AUTORIA 43

BIBLIOGRAFIA CITADA 49

EDITORES DE FRAGMENTOS 55

[PROBLEMAS] MECÂNICOS

INTRODUÇÃO 57

PROPRIEDADES DO CÍRCULO 58

PROBLEMA 1: SOBRE AS BALANÇAS I 60

PROBLEMA 2: SOBRE AS BALANÇAS II 64

PROBLEMA 3: SOBRE AS ALAVANCAS 65

PROBLEMA 4: SOBRE OS REMADORES DO MEIO 66

PROBLEMA 5: SOBRE OS LEMES 67

PROBLEMA 6: SOBRE A ALTURA DAS VERGAS NOS BARCOS 69

PROBLEMA 7: SOBRE A ACÇÃO DO VENTO NA NAVEGAÇÃO 69

PROBLEMA 8: SOBRE O MOVIMENTO DOS CORPOS ESFÉRICOS E CIRCULARES 69

PROBLEMA 9: SOBRE A RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS CÍRCULOS

E A VELOCIDADE 71

PROBLEMA 10: SOBRE A BALANÇA SEM O PESO 71

PROBLEMA 11: SOBRE O TRANSPORTE ATRAVÉS DE CILINDROS 72

PROBLEMA 12: SOBRE O LANÇAMENTO DE PROJÉCTEIS ATRAVÉS DE FUNDAS 72

PROBLEMA 13: SOBRE OS CABRESTANTES 73

PROBLEMA 14: SOBRE O PORQUÊ DE SE PARTIR UM CABO DE MADEIRA

COM O JOELHO 73

| | |
|---|----|
| PROBLEMA 15: SOBRE A ESFERICIDADE DAS PEDRAS EXISTENTES JUNTO À COSTA | 74 |
| PROBLEMA 16: SOBRE A FLEXIBILIDADE DOS CABOS DE MADEIRA | 74 |
| PROBLEMA 17: SOBRE AS CUNHAS | 75 |
| PROBLEMA 18: SOBRE AS ROLDANAS | 74 |
| PROBLEMA 19: SOBRE OS MACHADOS | 74 |
| PROBLEMA 20: SOBRE AS BALANÇAS DE BRAÇOS DESIGUAIS | 77 |
| PROBLEMA 21: SOBRE OS FÓRCEPS DOS DENTISTAS | 78 |
| PROBLEMA 22: SOBRE OS QUEBRA-NOZES | 78 |
| PROBLEMA 23: SOBRE O LOSANGO | 79 |
| PROBLEMA 24: SOBRE O MOVIMENTO DE CÍRCULOS CONCÊNTRICOS | 81 |
| PROBLEMA 25: SOBRE A ESTRUTURA DOS LEITOS | 84 |
| PROBLEMA 26: SOBRE O TRANSPORTE DE TRAVES DE MADEIRA COM O OMBRO | 86 |
| PROBLEMA 27: SOBRE O TRANSPORTE DE PESOS COM O OMBRO | 86 |
| PROBLEMA 28: SOBRE AS PICOTAS | 87 |
| PROBLEMA 29: SOBRE O TRANSPORTE DE PESOS NUMA TRAVE DE MADEIRA | 87 |
| PROBLEMA 30: SOBRE O MOVIMENTO DO CORPO AO LEVANTAR | 88 |
| PROBLEMA 31: SOBRE A DESLOCAÇÃO DE OBJECTOS JÁ EM MOVIMENTO | 89 |
| PROBLEMA 32: SOBRE O MOVIMENTO DOS PROJÉCTEIS I | 89 |
| PROBLEMA 33: SOBRE A FORÇA PROPULSORA | 90 |
| PROBLEMA 34: SOBRE O MOVIMENTO DE PROJÉCTEIS II | 90 |
| PROBLEMA 35: SOBRE O MOVIMENTO DE OBJECTOS COM REDEMOINHOS | 90 |

GLOSSÁRIO 93

ÍNDICE DE AUTORES ANTIGOS 101

ÍNDICE DE AUTORES MODERNOS 111

