A CIÊNCIA ALEXANDRINA (*).

SHOZO MOTOYAMA
do Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
e
MAURO GYOTOKU
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

A Organização do Museu.

No século III antes de Cristo, o grande fulgor da Ciência grega já não existia. Atenas vivia os seus últimos anos de fastígio com o Liceu sob a direção de Estraton. Mas a chama grega não se extinguiu. Transladou-se para além-mar, em Alexandria do Egito.

Esta cidade, às margens do Nilo, fôra fundada por Alexandre, o grande monarca macedônio, por ocasião da sua conquista do Egito em 332 a. C. (1). Com a morte do conquistador em 323, Ptolomeu, um dos seus generais, assumiu militarmente o poder desse país. Ele coroar-se-ia rei em 305, com o nome de Ptolomeu Soter, iniciando a dinastia dos Lágidas (2).

Essa região, sob seu governo, tornou-se um centro comercial e marítimo de grande importância. Navios de todas as partes — trazendo mercadores procedentes da Grécia, Cartago, Ásia Menor, Arábia, Pérsia, Índia e outras regiões. Na ilha de Faros foi construido um enorme farol, considerado uma das sete maravilhas do mundo (3).

Apesar da prosperidade da cidade, o país em geral era pobre. A grande maioria da população era submetida a um duro regime de

---

(*). — Comunicação apresentada na 4.a Sessão de Estudos, no dia 7 de julho de 1972 (*Nota da Redação*).

(1). — Daumas (M.), *Esquisse d'Une Histoire de la Vie Scientifique em Histoire de la Science,* Bruges; 1957, p. 13.

(2). — Farrington (B.), *A Ciência Grega,* trad. de J. C. Andrade e L. Xavier, p. 16, 168.

(3). — Simamura (F.), *Temon Gaku Shi* (*História da Astronomia*) Tokyo, 1953, p. 115.

trabalho. Para poder aproveitar o Nilo e a sua fertilidade, milhares de trabalhadores zelavam para a manutenção dos canais de irrigação. Sem esses canais e esse auxílio humano o Nilo não passa de um rio estéril. Era uma labuta dura e desumana. Outras ocupações não menos opressivas constrangiam numerosos egípcios sem uma perspectiva para o amanhã (4). Os Lágidas, estrangeiros que eram, encontrariam dificuldades em se impor. Mas o fizeram através do poderio militar, da cultura e da religião. Astuto político, Ptolomeu Soter, educado juntamente com Alexandre, havia compreendido a importância da ciência e da cultura no governo de um povo. E fundou várias instituições destinadas ao estudo. A primeira delas foi provavelmente a Biblioteca (a primeira das várias bibliotecas existentes), organizado por Demétrios de Falera, discípulo de Aristóteles. Nela foram reunidas todas as obras possíveis da literatura grega, seja de filosofia, de medicina, de moral ou de legislação. Estava instalada num edifício real, situado no Bruchium, o bairro governamental. No reinado de Ptolomeu Filadelfo, filho e sucessor do Soter, o número de volumes atingia duzentos mil (5).

O museu formou-se no reinado desses dois primeiros Ptolomeus. Era um verdadeiro instituto de pesquisa mantido às expensas do tesouro real. Ao mesmo tempo constituia-se uma instituição de ensino. Teria ao todo uma história de cerca de 600 anos. Essa história é quase na sua totalidade a da ciência alexandrina.

O Museu foi organizado nos moldes do Liceu. Tanto no ensino como na pesquisa, seguia portanto as linhas traçadas por Aristóteles. A sua escala era no entanto muito maior. E' bem verdade que em alguns ramos nunca chegou a se comparar com a famosa escola do estagirita. As suas contribuições à arte, à literatura e filosofia foram desprezíveis. Mesmo no campo da ciência, praticamente não houve ninguém na biologia e sociologia. Em compensação, Física e Matemática se desenvolveram extraordinariamente (6). Três parecem ter sido as funções do Museu: 1) — conservação; 2). — aumento e 3). — disseminação de conhecimento (7).

Em íntima correlação com a Biblioteca, adquiria às custas do tesouro real, todos os tratados disponíveis. Outrossim, havia uma legião de copiadores contratados especialmente para transcrever as

(4). — Farrington (B.), *op. cit.*, p. 169, 170.
(5). — Daumas (M.), *op. cit.*, p. 14.
(6). — Bernal (J. D.), *História Social de la Ciência*, trad. J. R. Capella, Barcelona, 1967, p. 178-179.
(7). — Hirata (K.), *Kagaku no Tanjó* (*Nascimento da Ciência*) em Kodai Tiussei Kagak-Shi", Tokyo, 1952, ps. 150-152.

obras inegociáveis. E, assim, numa escala nunca dantes vista, multiplicaram-se o número de rolos de papiro. Consta-se em 70 mil o seu número, 40 mil na biblioteca de Bruchium e 30 mil numa outra suplementar.

Os pesquisadores recebiam salários do rei. Eles pertenciam a uma das quatro seções do Museu: Literatura, Matemática, Astronomia e Medicina. Cada uma dessas seções subdividia-se em sub-seções. Por exemplo, História Natural era uma parte da Medicina. Por outro lado, existiam agregados um jardim zoológico e um horto florestal. Tinha sido instalado também um observatório astronômico munido de globo celeste, globo terrestre, astrolábio, medidor de paralaxe e outros instrumentos de medida. No chão do observatório estava traçado o meridiano da localidade. Apesar de não saberem medir ainda com precisão as horas e a temperatura, dispunham de clépsidras e medidores rudimentares de temperatura. Estes se baseavam na mudança da densidade para medir a variação da temperatura. Diz a lenda ter Ptolomeu Filadelfo desejado o elixir de longa vida. Talvez por isso, ou por outro motivo, havia um laboratório de química. Na seção de Medicina, fazia-se dissecções e com grande probabilidade também vivissecções.

O ensino se fazia através de aulas e discussões. Os sábios contratados não vinham espontaneamente. Eles eram chamados e designados pelo monarca. Raramente havia recusa como no caso de Teofrasto, o famoso sucessor de Aristóteles no Liceu. Mas, a maioria, como Estraton, aceitava o convite para poder se dedicar de corpo e alma à pesquisa (8). Nesse terreno medrou a ciência alexandrina.

O objetivo do nosso trabalho é caracterizar essa ciência e mostrar como a intenção inicial dos alexandrinos de fazer filosofia natural foi descambando aos poucos para a mera ocupação de "salvar as aparências".

*

A Matemática alexandrina.

A mais notável expressão não só da matemática da Alexandria mas de toda Grécia foi o *Stokheia* (Elementos) de Euclides. Sobre o seu autor pouco se sabe. Com certeza, conhece-se simplesmente de ter sido preceptor de Ptolomeu Soter e aluno de Platão na Academia. Parece ter vivido por muito tempo em Alexandria, onde escreveu os 13 livros de *Stoikneia* (9).

(8). — Daumas (M.), *op. cit.*, p. 15.
(9). — Hirata (K), *op. cit.*, p. 153.

Se são escassas as notícias a respeito da sua vida, o mesmo não acontecendo com as suas obras. Muitas delas sobreviveram e vieram até nós. Por infelicidade, algumas estão adulteradas em grande parte. Porém, são suficientes para atestar o gênio multi-variado de Euclides, pois tratam-se de compêndios sobre Ótica, Acústica, Astronomia, além de outros sobre a mesma Geometria.

Desde Hipócrates de Quios, estava em moda escrever "Elementos", ou seja um compêndio sobre vários problemas e teoremas deduzidos logicamente a partir de princípios e postulados. Assim, matemáticos famosos como Leodemas de Tasos, Teaitetos de Atenas, Leão, Menaikmos, Dinostratos, Ermotinos, Filipos de Medma, Eudoxos de Cnidos se empenharam numa tal empresa. Eudoxos, principalmente, pode ser considerado o precursor de Euclides. A teoria de razões e proporções, incluindo o tratamento a grandezas incomensuráveis, exposta nos livros V e VI de "Elementos" de Euclides é praticamente dele. Para atestar a grandeza de Eudoxos, basta dizer ser ele o precursor do cálculo de exaustão, arquétipo do Cálculo Integral (10).

Com Euclides o *Stotkheia* praticamente atinge a perfeição. Esse tratado, considerado a obra mais lida em todos os tempos depois da Bíblia, inicia com nada mais nada menos que 23 definições:

"1). — Um ponto é aquilo que não tem nenhuma parte.
2). — Uma linha é um comprimento sem largura.
3). — As extremidades de linhas são pontos.
4). — Uma linha reta é aquela cujos pontos se situam uniformemente em toda extensão.
5). — Superfície é um ente constituido de comprimento e largura.

....
....
....

23). — Retas paralelas são linhas retas situadas no mesmo plano e que sendo estendidas infinitamente em ambas as direções não se encontram entre si em nenhuma direção" (11).

Para completar a base do seu edifício matemático, Euclides ainda expôs mais duas espécies de proposições fundamentais: as "noções comuns" (axiomas) e os postulados.

---

(10). — Mieli (A.), *Panorama General de História de La Ciencia*, vol 1, ps. 94 e 95.
(11). — Euclides, *Elements*, trad. de T. L. Heath, Chicago, 1952, p. 1.

Os postulados eram em número de cinco. Embora não sejam evidentes por si mesmos, nem sejam demonstráveis, são proposições necessárias para montar dedutivamente a Geometria:

> "Postulamos o seguinte:
>
> 1). — traçar uma linha reta de qualquer ponto para qualquer ponto.
>
> 2). — produzir uma linha reta finita continuamente em linha reta.
>
> 3). — descrever um círculo com qualquer centro e distância.
>
> 4). — que todos os ângulos retos são iguais um do outro.
>
> 5). — que se uma linha reta cortar duas linhas retas fazendo os ângulos interiores num mesmo lado menores que dois ângulos retos, então se prolongarmos indefinidamente as duas linhas retas, elas se encontrarão no lado no qual os ângulos são menores do que dois ângulo retos" (12).

O quinto postulado pela sua complexidade foi estudado por muitas pessoas. Suspeitava-se da possibilidade de uma demonstração a partir dos outros postulados. Todo esfôrço foi em vão. A escolha de Euclides tinha sido acertada. Contudo não foi inútil essa tentativa. Ela entremostrou a existência de geometrias diferentes da euclidiana. No século XIX, pelo estudo desse 4.º postulado, Bolyai e Lobachensky fundaram a Geometria não-euclidiana.

A seguir no *Stoikheia* vêm escritos 5 axiomas ou "noções comuns" — ou seja proposições evidentes por si mesmas:

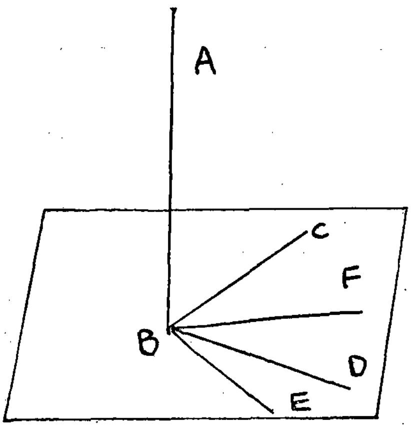
> "1). — coisas que são iguais à mesma coisa são iguais entre si.
>
> 2). — Se iguais são adicionadas a iguais, os todos são iguais.
>
> 3). — se iguais são subtraidas de iguais, ou restos são iguais.
>
> 4). — coisas que coincidem com um outro são iguais aos outros.
>
> 5). — o todo é maior que a parte" (13).

Baseado nesses três substratos, seguem-se as proposições demonstráveis ou teoremas.

---

(12). — *Ibidem*, p. 2.
(13). — *Ibidem*, p. 2.

Por exemplo.



Se uma reta faz ângulos retos com 3 retas que se encontram um com o outro, no ponto comum das intersecções, então, as 3 retas estão num plano.

Demonstração

Seja a reta AE fazendo ângulos retos com outras três retas BC, BD, BE nos seus pontos de encontro B.

"Nós dizemos que BC, BD e BE estão num plano. Suponhamos que eles não estejam. Se isso for possível, seja BD e BE no plano de referência e BC em outro mais elevado. Seja o plano através de AB e BC produzido. Ele intersectará o plano de referência em uma reta (XI, 3) (14).

Seja essa reta BF.

Por conseguinte, as três retas AB, BC e BF estão num mesmo plano ,a saber o determinado pelas AB e BC.

Agora, desde que AB está em ângulo reto para cada linha reta BD, BE então AB está também em ângulo reto com o plano através de BD, BE (XI, 4).

Porém o plano através de BD e BE é o plano de referência por conseguinte AB está em ângulo reot do plano de referência.

Portanto AB também fará ângulos retos com tôdas as linhas retas que o encontram e estão no plano de referência (XI, Def. 3).

Mas BE que está no plano de referência encontra-o por conseguinte o ângulo ABF é reto.

Todavia por hipótese, o ângulo ABC é também reto por conseguinte o ângulo ABF é igual ao ângulo ABC.

(14). — XI. 3 significa proposição 3 do livro **XI**.

E eles estão num plano: o que é impossível.

Por isso a reta BC não está num plano mais elevado;

Logo a strês retas BC, BD e BF estão num mesmo plano.

Por conseguinte, se uma reta faz ângulos retos com 3 retas, num mesmo ponto de encontro, então a strês retas são complanares CQD" (15).

Esta é uma típica amostra do procedimento da geometria grega. Desde a sua origem no distante Egito, como nos afiança Proclo (a. D. 410-485) (16), e a sua passagem para a Grécia, ela fôra intensamente trabalhada. Das rudes demonstrações dos jônios até a super-valorização pitagórica-platônica, longo foi o caminho de elaboração. Agora em Alexandria, com Euclides alcançara a perfeição.

Os Elementos compõem-se de 13 livros. O primeiro volume trata de perpendiculares, paralelas, paralelogramas até o teorema de Pitágoras. O segundo discorre sobre o método de solucionar as equações de segundo grau pela representação em plano. O terceiro fala de círculos e arcos, arcos e ângulos. O quarto é um tratado sobre: polígonos inscritos e circunscritos. Esses quatro primeiros livros refletem uma forte influência platônica. O conteúdo é aquele da escola pitagórica. O quinto livro muda um pouco de tom e desenvolve a teoria sobre proporções. O conteúdo é o mesmo da teoria de Eudoxos. E' considerado o ponto alto dos treze livros (17). A aplicação dessa teoria às figuras é feita no sexto livro. Destarte os conhecimentos dos pitagóricos ganharam uma demonstração rigorosa. Do volume sétimo ao novo desenvolve-se a teoria dos números inteiros. No oitavo, temos progressões geométricas t no novo diversas propriedades relacionadas com números primos, como por exemplo, "os números primos são infinitos". O estudo básico do assunto já tinha sido feito na Academia de Platão por Teaitetos. O Livro dez discorre sobre os números comensuráveis e incomensuráveis. Aqui também, a pesquisa matemática já tinha sido realizada pelo mesmo Teaitetos. O trabalho de Euclides foi organizá-la de modo mais lógico (18).

Os três volumes restantes discorrem sobre a geometria espacial. Utilizando-se de todas as teorias desenvolvidas nos livros anteriores, discute sistematicamente os poliedros e demonstra a impossibilidade da existência de mais de 5 poliedros regulares. Proclo, o filósofo neoplatonista diz:

---

(15). — Euclides, *op. cit.*, p. 305.

(16). — Farrington (B.), *op. cit.*, p. 180.

(17). — Veja, por exemplo, Karoda (T.) e Kondó (Y.), *Sagaku Shi* (*História da Matemática*), Tokyo, 1953, p. 90.

(18). — Hirata (K.), *op. cit.*, p. 156.

> "Euclides, segundo o seu próprio ponto de vista, era platônico. Por isso colocou como objetivo final do *Stoikheia* a construção das figuras chamadas platônicas" (19).

Na realidade era também o ponto final da geometria do tipo da Academia. A matemática alexandrina teria de recorrer a outros métodos para prosseguir na sua jornada progressiva. Platão havia invectivado Archytas (primeira metade do quarto século a. C.) e Menaichmos (cuja atividade se desenvolveu em torno de 350 a. C.) por estes terem-se servido de métodos mecânicos para resolver o problema de duplicação do cubo. Desse modo, ao recorrer novamente aos sentidos, a matemática, a pura matemática da sua geometria sofreria um degradante retorno. Era isso que enfurecia o fundador da Academia de Atenas. Com um tal procedimento, segundo ele, só se poderia esperar a morte dessa ciência. A história provou o contrário. Desse método tão caluniado por Platão brotaria a "teoria das cônicas" de Apolônio de Perga.

Ao estudar as figuras resultantes do processo mecânico de seccionar um cone por um plano, ele pode dar continuidade à geometria (20). A vida de Apolônio é quase desconhecida. Por ter dedicado muito dos seus tratados ao rei Atalos I de Pérgamo, fez muita gente pensar ter ele vivido durante o reinado desse monarca de 241 até 197. Todavia, alguns documentos recentes descobertos em Herculanum confirmam o seu florescimtnto em torno de 170 (21).

Apesar de termos muitas indicações de suas obras e resumos no *Collectio de Pappus,* apenas chegou até nós as suas "Cônicas". Mesmo essas não estão completas. Os quatro primeiros livros são os únicos em original grego. Das quatro restantes, pois são oito no total, três são em versão árabe e o último, o oitavo, perdeu-se irremediavelmente (22).

Quanto ao conteúdo desses livros, ouçamos as próprias palavras de Apolônio:

> "Dos oito livros, os quatro primeiros pertencem a um curso sobre os elementos. O primeiro trata da geração das três secções opostas; expõe-se as suas propriedades principais de um modo mais universal e trabalhado do que nos escritos de outros autores. O

---

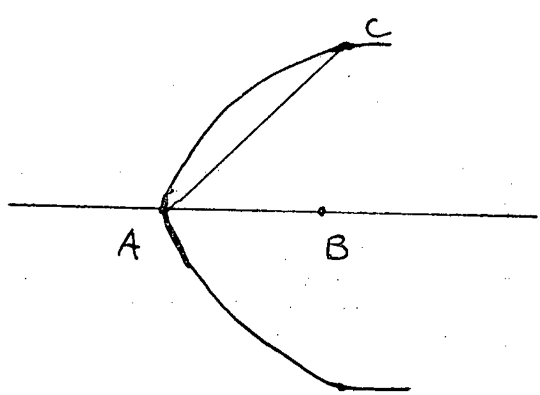
(19). — Citado por Kuroda (T.) e Kondó (Y.), *op. cit.,* p. 91.
(20). — Mita (H.), *Euclid no Kikagaku* (*Geometria de Euclides*) em "Sugaku no Riquishi", Tokio, 1953, p. 78.
(21). — Mieli (A.), *op. cit.,* p. 120.
(22). — Brunet (P.), *La Science dans l'Antiquité et le Moyen Age em* "Histoire de la Science", Paris, 1957, p. 263.

segundo livro refere-se à propriedade dos diâmetros e dos eixos e também das assintotas e outras coisas de uso geral e necessárias para os limites de possibilidade. E o que nós chamamos diâmetros e eixos você conhecerá destes livros. O terceiro contem muitos teoremas incríveis para a construção de lugares sólidos e discussões. A maioria são novos e belos. Ao conhecê-las, notei a maneira acidental e pouco feliz da construção de "lugar" de razão de três ou quatro linhas elaboradas por Euclides. Com efeito, não se podia completar a construção sem servir-se de nossos descobrimentos adicionais. O quarto livro estuda de que modo intersectam entre si as secções cônicas e com a circunferência do círculo. Contem também, coisas de que nenhum dos meus predecessores tratou: estudo dos pontos em uma secção de cone ou circunferência encontra as secções opostas. Os livros restantes são mais ricos em conteúdo. Porque um deles trata os problemas de máximo e mínimo com maior cuidado e outro de secções de cones iguais ou semelhantes, outro sobre teoremas discutíveis e um com problemas deetrminados de cônicas".

Os moldes da sua demonstração são muito semelhantes ao de Euclides. Inicia com 8 definições e vai demonstrando as proposições de dificuldades crescentes. Eis uma típica demonstração da *Cônica* (23):

"Se numa secção de um cone uma reta é desenhada a partir do vértice da linha paralelamente a uma ordenada, ele cairá fora da secção (cf. Euc. III, 16).

Seja uma secção de cone, cujo diâmetro é a reta AB.



(23). — Apollonius, *Conics*, trad. de R. C. Taliaferro, Chicago, 1952, p. 603.

Dizemos que a reta traçada no vértice, isto é, do ponto A, paralela a uma ordenada, cairá fora da secção.

Porque se isso fosse possível, ele cairia dentro como no caso da reta Ac.

Desde que o ponto C foi tomado ao acaso sobre a secção de um cone, então a reta traçada do ponto C na secção paralela a uma ordenada encontrará o diâmetro AB e será bissectada por ele (I, 7).

Por conseguinte, a reta AC produzida será bisectada pela reta AB . Ora, isto é absurdo. Por isso, se a linha reta AC for produzida, cairá fora da secção (I, 10). Por conseguinte, a linha reta traçada do ponto A paralela a uma ordenada não cairá dentro da linha. Logo cairá fora e portanto é tangente à secção" (24).

Como se vê é uma demonstração por absurdo muito usada por Euclides. Por outro lado faz parte de um edifício montado e a demonstração se faz com base nas demonstrações anteriores. E' caracteristicamente um procedimento lógico formal da época. Esse estudo sobre as cônicas exerceu profundas influências nos cientistas do Renascimento.

Kepler e Galileu, dois cientistas maiores da aurora da ciência moderna, dela fizeram bom uso. O genial alemão, natural de Weil, recorreu à elipse para formular a sua primeira das três leis da mecânica celeste. O sábio italiano, ao estudar a trajetória dos projéteis, resolveu um problema milenar graças à utilização de parábola. A polônia grangeou merecida fama nos séculos XVII e XVIII e muitos estudiosos encetaram um trabalho para a recuperação de alguns dos seus tratados. Nesse mister destacou-se Edmundo Halley, famoso descobridor do cometa que leva o seu nome.

De Arquimedes, outro grande matemático alexandrino, falaremos mais adiante.

Depois de Apolônio, a matemática helenística entrou em franca decadência. Existiram, sem dúvida, um grande número de matemáticos — mas todos de segunda grandeza. Poderíamos nomear Nicomedes, inventor da coinciode (em torno de 200 a. C.); Diocles (século II), o solucionador do problema de Delos com o cissoide; Perseus, o estudante das linhas seccionadas; Zenodoros, autor de um tratado

(24). — *Ibidem*, p. 626.

sobre isoperímetros; Ypsides, continuador da obra geométrica de Euclides; Dionisiodoros o solucionador do problema de seccionar uma esfera por um plano numa razão dada e outros (25).

Dentre estes, o mais interessante talvez seja Nicômaco de Gerasa (em torno de a. D. 100). Ele parece ter sido um importante membro de um grupo neopitagórico.

> "Os antigos que, sob a liderança do Pitágoras fizeram a ciência sistemática, definiram a filosofia como amor à sabedoria. Na verdade, o próprio nome significa isso e antes de Pitágoras todos que tinham algum conhecimento eram chamados indiscriminadamente de sábios: — qualquer um, carpinteiro, sapateiro, timoneiro — dono de uma arte ou habilidade qualquer fazia jus a esse nome. Entretanto, Pitágoras restringiu o título para aqueles engajados no conhecimento e compreensão da realidade" (26).

Nicômaco parece não ter sido líder do grupo e sim um popularizador e compilador de manuais dessa escola. Dissemos interessante, pois escreveu um manual de Aritmética, coisa rara naquela época. O nome dessa obra é *Introdução à Aritmética.* E' uma curiosa associação do engenho alexandrino e dificuldades da numeração grega. No entanto, não encerra nada de novo. Escreveu ainda *Introdução às Harmônicas, Introdução à Geometria* e *Vida de Pitágoras.* Alguns outros livros lhe são atribuidos, mas as evidências de sua autoria são fracas.

*

Física e Mecânica de Alexandria.

Nos anos iniciais do Museu, viva foi a influência de Estraton. Este notável sábio, natural de Lampsaco, esteve em Alexandria a chamado de Ptolomeu Soter para educar o seu filho Ptolomeu Filadelfo. Posteriormente, voltaria à Grécia para assumir a direção do Liceu de 287 a 269. Ele pode ser considerado um autêntico cientista e um filósofo natural. Por isso recebeu o cognome de Físico (filósofo natural). Existe um tom de censura quando Cícero, o famoso escritor romano, se refere a ele

> "abandonou a ética, que é a parte necessária da filosofia e dedicou-se a investigação da natureza" (27).

(25). — Mieli (A.), *opl. cit.*, p. 124, 125.
(26). — Nicomanus, *Introduction to Arithmetic*, trad. de M. L. D'Ooge, p. 811.
(27). — Citado por Farrington (B.), *op. cit.*, p. 148.

Mas para a ciência isto foi providencial. Essa sua separação da filosofia social possibilitou reencontrar o caminho encetado por jônios e perdido em Atenas com Sócrates e Platão. A filosofia natural de Estraton já não era tão especulativa como a dos fisiólogos *(physologoi)* da Jônia. Tomando consciência da gradualidade da pesquisa e da necessidade de fundamentar cada passo da pesquisa, Estraton não faz ousados vôos de raciocínio. Em compensação, estabeleceu o método experimental sistemático (28). Ele já é quase inteiramente um cientista moderno. Alguns livros atribuidos a Aristóteles parecem ter sido da autoria de Estraton. São os casos da *Mecânica* e da *Meteorologia* (29).

Destarte, a partida da ciência alexandrina foi promissora nesse aspecto. Entrementes, pesava-lhe por outro lado um triste encargo: servir à guerra e à religião. No caso da religião, servia para os fins de puro embuste. Tomemos por exemplo, o caso do cerimonial de casamento entre Marte e Venus. Após todos os solenes preparativos, Marte feito de aço polido era trazido para o âmbito de atração de Venus de pedra imantada.

> "sem deixar o seu lugar, a deusa, por seus potentes encantos, atraia o deus a seus braços. Estreita-o ao seio com amorosa respiração" (30).

A ciência alexandrina estranhamente não tinha relação com os meios de produção. E não é que faltassem habilidade ou engenho aos alexandrinos. Muito pelo contrário. Construiram bombas para tirar água ou apagar incêndios. Aperfeiçoaram instrumentos de precisão indispensáveis para o progresso científico. Mas, nunca lhes ocorreram usar os seus conhecimentos sobre a força d'água, do ar comprimido e do vapor como fonte de energia para substituir o labor humano. Será essa a sua limitação.

O maior nome da física e mecânica dessa fase é Arquimedes (287-212 a. C.) de Siracusa. Aparentado com a família real da sua cidade, era muito íntimo do rei Hieron e do seu filho Gelon. Jovem ainda, foi para Alexandria. Não conheceu Euclides, por estar este já morto, mas fez amizade com Eratóstenes, o geógrafo, Conon de Samos e Dositeus, o geômetra (31). Voltou para Alexandria, onde con-

(28). — Sobre esse ponto veja admirável prova apresentada por Farrington (B.), *op. cit.* e por Diels (H.), *Kodai Guijutsu Shi,* trad. de K. Hirata, Tokyo, 1952.

(29). — Sarton (G.), *História de La Ciencia,* trad. de J. Babini, Buenos Aires, 1965, p. 636.

(30). — Claudino, citado por Farrington (B.), *op. cit.*, p. 172.

(31). — Brunet (P.), *op. cit.*, p. 254.

tinuou os seus estudos originais não só na física, mas também na matemática e engenharia. Escreveu os seus tratados no próprio dialeto siracusano e não em grego ortodoxo. Em torno do seu nome giram muitas lendas. A maioria delas são verossímeis e atestam a sua genialidade.

Na segunda guerra púnica, Siracusa ficou ao lado de Cartago. Por esse motivo foi cercado pelas tropas romanas. O grande exército de Roma, vindo por terra e por mar, sob o comando de Marcelo encontrou enormes dificuldades em tomar a pequena Siracusa.

> "...quando os romanos assaltaram os muros da cidade em dois lugares, os siracusanos ficaram estupefatos de medo e consternados acreditando que nada seria capaz de resistir àquela violência e força. Porém, Arquimedes acionou os seus engenhos. Primeiro disparou contra as forças terrestres todas as espécies de projéteis e imensas massas de pedras cairam com surdo ruido e violência" (32).

Arquimedes inventou uma espécie de guindaste e pendurou as galeras romanas para depois derrubá-las no mar. Fez uso de espelhos incendiários. Apesar de todo empenho do sábio, Siracusa capitulou ante o cerco de fome decretado por Marcelo.

O grande interesse de Arquimedes era no entanto a ciência pura. Entretanto, Arquimedes possuia um espírito tão alto, uma alma tão profunda e tais tesouros do conhecimento científico que apesar destas invenções terem-lhe grangeado o renome da sagacidade humana, não concordou em deixar qualquer comentário ou escrito acerca de tais assuntos. Mas, repudiando como sórdido e ignóbil tôda ocupação de engenharia e qualquer espécie de arte que se concede meramente ao uso e ao proveito, colocou toda a sua afeição e ambição naquelas puras especulações (33).

Sob esse ponto de vista compreende-se o grande zelo de Arquimedes pela Matemática. Nesse campo também deixou extraordinárias contribuições. Foi um dos pioneiros a usar o método de exaustão. Calculou com o auxílio do mesmo a área de um arco de parábola encontrando-a igual a quatro terços do triângulo inscrito. No dizer de Takagui, esse processo, principalmente no cuidado dispensado, a precisão supera os dos matemáticos do século XVII e XVIII e só

---

(32). — Plutarco, *The Lives of the Noble Grecians and Romans*, The Dryden Translation, Chicago, 1952, ps. 252-253.
(33). — *Ibidem*, p. 253.

foi retomado depois dos meados do século XIX (34). E' na verdade o embrião do Cálculo Integral. Com essa método calculou a superfície e o volume da esfera.

Por muito tempo, desconhecia-se por completo o processo de investigação do grande siracusano. Como todo bom grego, gostava de montar as suas teorias logicamente. Nos seus escritos não dava indicações de como tinha chegado ao resultado. A erudição de Heiberg trouxe à tona um manuscrito perdido, encontrado em 1906 num mosteiro de Istambul. Nele Arquimedes expõe o seu método de pesquisa (35).

> "Então em primeiro, exporei o seguinte teorema tornado conhecido para mim através da mecânica: qualquer parte de uma secção de um cone reto (parábola) é quatro terços do triângulo que tem a mesma base e mesma altura...
>
> Seja ABC o segmento de uma parábola cercado por uma linha reta AC e a parábola ABC e seja D o ponto médio de AC. Desenhe a reta DBE paralela ao eixo da parábola e una AB, BC. Então a parte do arco ABC será 4/3 do triângulo ABC.
>
> De A desenhe AKF paralela a DE e a tangente a parábola em C encontrando DBE em E e AKF em F. Faça encontrar AF em K e outra vez CK passar por H, fazendo KH igual a CK.
>
> Considere CG como o braço de uma balança, K sendo o seu ponto médio.
>
> Seja MO qualquer reta paralela e ED, encontrando CF, CK, AC em M, N, D e a curva em P.
>
> Agora desde que CE é tangente a parábola em CD a semi-ordenada EB = BD.
>
> (Isto é provado nos *Elementos de Cônicas*).
>
> Como FA, MO são paralelas a ED segue-se que FK = KA e MN = NO.
>
> Agora, pela propriedade de uma parábola (provado num dos lemas)
>
> MO:CP = CA:AD.
> OK = :KN (Euclides, VI, 2).
> = HK:KN.

(34) — Takagui (T.), *Kaisseki Gairon* (*Fundamentos da Análise*). Tokyo, 1961, p. 87.
(35). — Kuroda (T.) e Kondó (Y.), *op. cit.*, p. 129.

Tome a reta TG igual a OP e coloque-o com o centro de gravidade em H, de maneira que TH = HG; então desde que N é o centro de gravidade da linha reta MO e MO: TG = HK:KN segue-se que TG e H e MO em N deve estar em equilíbrio em torno de K (sobre o equilíbrio dos Planos I 6, 7).

Semelhantemente, para todas as outras retas paralelas a DE e a porção interceptada entre FC, AC e o seu ponto parabólico K e (2) o comprimento interceptado entre a curva e AC colocado com o seu centro de gravidade em H estará em equilíbrio em torno de K.

Por conseguinte K é o centro de gravidade de todo sistema consistido (L) de todas as retas como MO, interceptado entre FC, AC e colocadas na disposição configurada anteriormente e (2) todas as retas colocadas em H iguais as retas como PO interceptadas entre a curva e AC.

E desde que o triângulo CFA é feito todo de linhas paralelas semelhantes a MO e a área do arco CEA é feita de retas semelhantes a PO dentro da curva, segue-se que o triângulo . . ., está em equilíbrio em torno de K com o arco CBA colocado com o seu centro de gravidade em H.

Dividida KC em W de maneira tal que CK = 3KW. Então W é o centro de gravidade do triângulo ACF (porque isto é provado nos livros sobre equilíbrio).

Portanto: ACF: arco ABC = HK: KW = 3:1.

$$\text{então arco ABC} = \frac{1}{3}\,\text{ACF}$$

$$\text{mas ACF} = 4\ \text{ABC}$$

$$\text{logo arco ABC} = \frac{4}{3}\,\text{ABC (36).}$$

As pesquisas matemáticas de Arquimedes estavam em íntima correlação com as suas pesquisas físicas e mecânicas. Daí ser compreensível este seu método. Em vez de tatear no escuro, ele procurava um marco, uma baliza para se orientar.

"Esse procedimento, estou persuadido, não é menos útil que a prova de teoremas por si próprios. Certas coisas tornam-se cla-

---

(36). — Arquimedes, *The Method Treating of Mechanical Probblems*, trad. de Sir T. L. Heath, Chicago, ps. 571 e 572.

ras para mim primeiro pelo método mecânico. Entretanto, elas devem ser demonstradas mais tarde pela geometria, pois as investigações pelo dito método não fornecem as demonstrações reais. Todavia, como não poderia deixar de ser, é muito mais fácil fornecer a prova quando temos uma prévia aquisição pelo método de alguns conhecimentos sobre a questão do que quando não temos nenhum conhecimento anterior. Esta é a razão pela qual no caso dos teoremas cujas demonstrações Eudoxus foi o primeiro a descobrir (o cone é um terço do cilindro, a pirâmide do prisma, quando possuem a mesma base e igual altura) devemos dar a mesma cota de crédito a Demócrito, o primeiro a fazer tais asserções, embora não pudesse prová-las" (37).

O gênio é gênio por não confiar nos repentes de genialidade. Pesquisa deve ser gradual. A verdade só é aproximada por etapas. Na jangal de possibilidades, se andar a esmo, só existirá a imensidão e o caminho não será encontrado. Arquimedes tem clara noção disso. O trecho acima é a prova. Encontrar a meta antes de qualquer elucubração. Um indicador de caminho. E ele seguiria fielmente este método.

Outrossim, a matemática foi um instrumento altamente importante para o "maior sábio da Antiguidade" como o nomeia Mieli (38).

Todos os seus resultados físicos são expressos em linguagem matemática. Assim a teoria ganha concisão e rigor lógico.

"Se um sólido mais leve que um fluído está em repouso nele, o peso do sólido estará para o do mesmo volume do fluído como a porção do sólido submerso está para o todo".

Seja (A — B) sólido, sendo B a porção imersa no fluído. Seja ainda (C — D) um igual volume do fluído, C sendo igual ao volume de A e B ao de C. Além disso, suponhamos o segmento E representando o peso do sólido (A + B), o segmento (F + G) na mesma reta representando o peso de (C + D) e G aquele de D.

Então

peso de (A + B) é igual de C + D = E: (F + G) (1)
E o peso de (A + B) é igual ao peso do volume B do fluído (Livro I, proposição 5) isto é do peso de D.

---

(37). — *Ibidem*, p. 569-570.
(38). — Mieli (A.), *op. cit.*, p. 100.

Isto é o mesmo que dizer:
$E = G$.
Daqui pela (1)

$$
\begin{aligned}
\text{peso de } (A+B) : \text{peso de } (C+D) &= G : F+G \\
&= D : C+D \\
&= B : A+B \ (39).
\end{aligned}
$$

Hábil físico experimental, soube usar os seus conhecimentos para a aplicação prática. Quando da sua estada em Alexandria, inventou uma máquina de puxar água. Ainda hoje, em pleno século XX, é usado para puxar a água dos canais em torno do Rio Nilo. Com uma engenhosa associação de roldanas, transportava navios de grande calado, do cais do porto para o mar. Construiu um grande planetário. A Terra ficava no centro. Em torno dela movia-se por um engenho mecânico, a Lua, o Sol e os planetas. Conseguia reproduzir inclusive as eclipses. Foi o assombro da época (40).

Daqui se pode deduzir a sua habilidade como experimentador. Infelizmente esse aspecto está oculto nos seus escritos. Ele não se referiu explicitamente na função da experimentação. Pesava-lhe o preconceito grego de desprezo pela arte manual. Por isso, não deu lugar às experiências nas montagens do seu esquema científico.

Para nós foi uma perda lamentável — irremediavelmente lamentável.

Uma grande parte da sua obra versa sobre o centro de gravidade. Ele conhecia corretamente a lei da alavanca. Uma interessante reconstituição é feita por Mach sobre o descobrimento dessa lei por Arquimedes. O siracusano tomou como ponto de partida duas hipóteses evidentes por si mesmas.

A). — dois pesos iguais colocados a distâncias iguais do fulcro, estão em equilíbrio.

B). — dois pesos iguais colocados a distâncias diferentes do fulcro não se equilibram. A alavanca se inclinará do lado do peso a maior distância.

Inicialmente pendura-se dois pesos cada um com valor 1 nas extremidades. Esses dois pesos serão equilibrados por um peso 2 como mostra a figura 1. Isto significa o seguinte. Pendurar dois pesos 1

(39). — Arquimedes, *On Floating Bodies,* trad. de Sir T. L. Heath, Chicago, 1952, p. 543.
(40). — Hirata (K.), *op. cit.,* p. 160.

nas extremidades de uma barra tem a mesma ação que pendurar o peso 2 pelo centro. Consideremos agora a figura 2.

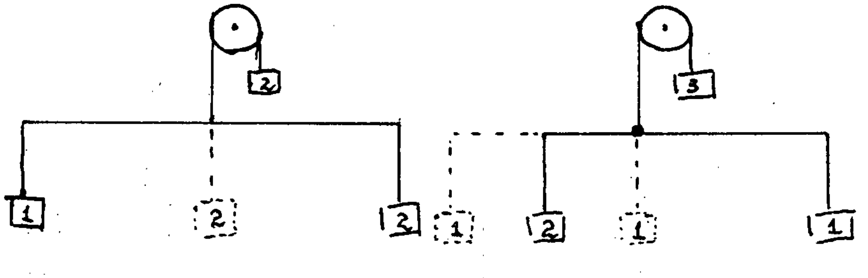


fig 1 fig 2

Seja, nesse caso, a razão dos braços igual a 1; 2. No lado maior colocamos o peso 1 e no lado mais curto colocamos o peso 2. Como na figura 1 pudemos decompor este peso 2 em dois pesos 1. Na segunda figura, esta parte está em linha pontilhada. Um desses pesos 1 vem exatamente no fulcro. Destarte ele é independente para o equilíbrio. O outro peso 1 está exatamente à mesma distância do fulcro em relação ao peso 1 original. Logo pela hipótese (a) eles estão em equilbrio. Então ficou provada a seguinte asserção:

> "No caso de uma alavanca, existe equilíbrio quando os pesos estão na razão inversa das distâncias ao fulcro" (41).

Hidrostática foi o outro ramo desenvolvido pelo sábio de Siracusa. Aqui se conta a famosa lenda do *Eureka!* Instado pelo rei Hieron a verificar se houve ou não fraude na confecção da sua coroa de ouro, Arquimedes como não podia deixar de ser, encontrou uma grande dificuldade. Pensou noite e dia. Certa ocasião, no banho, encontrou a solução .Eufórico, saiu correndo nu pelas ruas gritando *Eureka! Eureka!* é o que se conta em torno da sua descoberta do princípio hoje conhecido como "princípio de Arquimedes".

> "Todo corpo mergulhado num fluído recebe um impulso de baixo para cima igual ao peso do fluído deslocado" (42).

---

(41). — Mach (E.), *The Science of Mechanics*. Trad. T. McCormack, La Salle, p. 16 ou Taketani (M.), *Butsurigaku Niumon* (*Introdução à Física*), Tokyo, 1957, ps. 47 e 48.

(42). — A fonte dessa lenda é a *De Architetura* de Vitravius; veja Kuwaki (I.), *Butsurigaku shi* (*História da Física*), Tokyo, 1931, ps. 23-24.

Arquimedes é o ápice, a expressão maior da tendência iniciada por Estraton em Alexandria. Reflete tanto o lado positivo do Liceu como da Academia. E' a fecunda união da matemática e experimentação a serviço da filosofia natural — a ciência enfim. Apreender o Universo. Mas apreender gradual e quantitativamente, eis o seu lema.

> "Nós concebemos que estas coisas, Rei Gelon, aparecerão incríveis para a grande maioria das pessoas ignorantes em matemática, mas não para aqueles versados nisso e na especulação da questão referente a distâncias e tamanhos da Terra, do Sol, da Lua e de todo Universo" (43).

Na imensa natureza o homem não passa de um grão de areia, mas um grão dotado de um singular propriedade — a inteligencia. Pelo bom uso dela, não só de um sábio, mas de todas as pessoas, de todas as épocas, o homem irá desvendando os mistérios do Universo. É essa também a sua potência. Ciente dessa verdade, Arquimedes diria:

> "Dêem-me um ponto de apoio e eu moverei o Mundo".

Confiança que iria escasseando aos poucos aos seus pósteros no jornadear intérmino do tempo. A decadência bateu as portas de Alexandria e prolongou-se numa longa agonia.

*

Geografia alexandrina

Após uma longa elaboração através de toda a Antiguidade, a geografia científica conheceu um florescimento admirável em Alexandria. Desde os remotos tempos da sua formação, os conhecimentos geográficos dos gregos se relacionavam com os do mar. Perfeitamente compreensível, pois as colônias gregas estavam espalhadas em toda parte e o meio de ligação era o mar. Seguindo essa tradição, a corte alexandrina encetou em 323 a.C. a exploração do mar Vermelho. Esse esforço foi continuado por muito tempo e durante o século seguinte alcançaram-se excelentes resultados (44).

Nesse clima trabalhou Eratóstenes (284-c. 192). Natural de Kirene, estudou em Atenas. Nesta cidade, parece ter sido discípulo de

---

(43). — Arquimedes, *The Sand Hecknner*. Trad. Sir T. L. Heath, p. 526.

(44). — Oka (K.), *Tiri Gaku wa ika ni Shite Hatatsu o Shita Ka* (*Como a Geografia se Desenvolveu*), Tokyo, 1954, ps. 227 e 228.

Zenon, o estoico. Foi nomeado por Ptolomeu III, Energetes para ser preceptor de seu filho. Transferiu-se então para Alexandria, onde passou o resto da sua vida na qualidade de chefe da Biblioteca. Ocupou-se de vários temas, destacando-se em matemática e geografia. Infelizmente, as suas obras se perderam na sua maioria. Introduziu para a demarcação de locais um sistema de figuras geométricas (45).

Notável foi a sua medida do tamanho da Terra. Associou geometria, geografia e astronomia para esse intento. Baseou-se em quatro propriedades bem conhecidas (46):

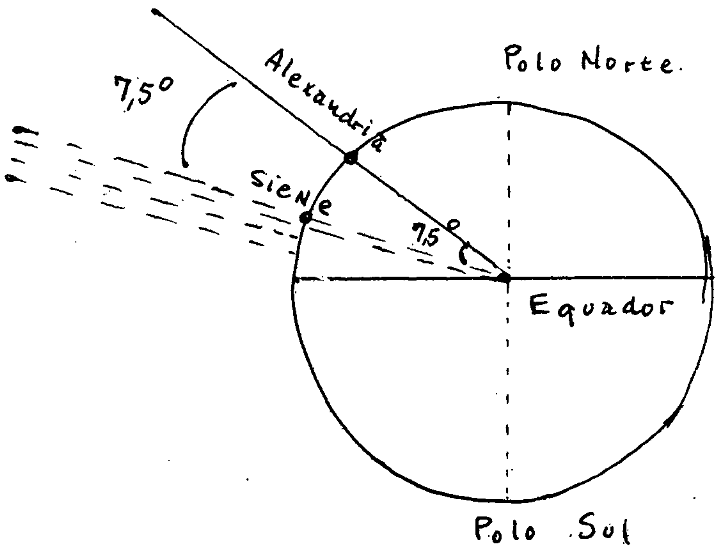
1) — Os raios de luz provindos de uma fonte situada muito longe podem ser considerados paralelos;
2) — duas paralelas intersectam uma reta em ângulos iguais;
3) — quando um astro está no zênite, a reta unindo o astro e o observador passa pelo centro da Terra;
4) — No meio-dia, o Sol está no zênite da longitude do observador.

Por ser bibliotecário, chegava ao conhecimento de Eratóstenes muitos registros importantes para a confecção do calendário. Entre estes, ele encontrou um acontecimento digno de nota. Em Siena, perto da primeira catarata do Nilo, no meio-dia de um dia do ano, a imagem do Sol refletia-se no fundo do poço. Por estar exatamente no trópico, nessa hora desse dia, quando o Sol atinge o zênite, a sombra desaparece.

Geometricamente, isso significa o Sol estar numa vertical em relação à superfície de nível. Alexandria ficava ao norte, no mesmo meridiano (aproximadamente) a 5.000 estádios. Pel asombra do gnomon determinou-se a inclinação dos raios do Sol de 7,5 graus em relação à vertical. Se os raios realmente chegarem paralelos, como se pode apreender da figura, esse é o ângulo feito pelas duas verticais passando por Alexandria e Siena. O resto é simples. Consiste na determinação do raio sabendo o arco e o ângulo. O resultado obtido por Eratóstenes é surpreendentemente exato — 250.000 estádios. É bem verdade que pairam dúvidas se ele usou o estádio ático (77,7 m) ou ou estádio egípcio (157,5 m). A maioria dos historiadores supõem que ele tenha adotado o último. Nesse caso, 250.000 estádios equivalem a 39.690 km.

---

(45). — Mieli (A.), *op. cit.*, p. 131-132.
(46). — Hogben (L.), *Hiyaku Man-nin no Sugaku* (*Matemática para Milhões*), trad. de T. Konno e S. Yamasaki, Tokyo, 1949, p. 259 e seguintes.



Eratóstenes estudou também a superfície terrestre do ponto de vista matemático. Avaliou em 78.000 estádios de comprimento e 38.000 estádios de largura a superfície habitada. Em matemática os seus estudos sobre os números primos são bem conhecidos. O "Crivo de Eratóstenes" é ainda hoje ensinado nas escolas elementares (47).

Hiparcos de Nicéia, contribuiu para o desenvolvimento ulterior da geografia alexandrina. Notável astrônomo, deu contribuições inestimáveis para a astronomia. Falaremos destas depois. Agora nos restringiremos aos seus trabalhos geográficos. Adotou paralelos e meridianos no sentido atual. Os paralelos eram contados a partir do equador, para cima e para baixo, perfazendo em ambos os casos, ângulos de 90 graus. Os meridianos eram contados a partir daquele de Rodes, para Ocidente e para o Oriente, nesse caso os ângulos eram de 180 graus. Assim se estabeleceram as coordenadas geográficas de muitos lugares. As latitudes são simples de medir. Já para a determinação de longitude, Hiparcos aconselhava a observação das eclipses da Lua em diftrentes lugares e comprovação simultânea da diferença de horas locais. Embora teoricamente excelente, esse método é falho pelas deficiências técnicas da época. Hiparco desenhou também mapas terrestres. Escreveu as regras precisas necessárias para tal mister (48).

---

(47). — Hirata (K.), *op. cit.*, p. 169.
(48). — Mieli (A.), *op. cit.*, p. 262.

Possidônio de Apaméia viveu aproximadamente entre 135 e 41. Os seus escritos se perderam. Mas tudo indica ter sido um excelente geógrafo e filósofo. Foi um grande viajante. Descreveu fenômenos sísmicos e vulcânicos. Fez um admirável relato do nascimtnto de uma ilhota vulcânica no arquipélago de Lípari. Determinou também o tamanho da circunferência da Terra usando um método diverso do de Eratóstenes. Serviu-se da estrela Canopos para fazer a medida. Quando esta aparecia no horizonte de Rodos, em Alexandria, o ângulo da sua visão era de 7,4 graus. Em princípio, o processo é o mesmo utilizado ulteriormente pelos árabes com o auxílio da estrela polar. A medida de Possidônio discrepa pouco daquela do bibliotecário-chefe do Museu (49).

Depois de Possidônio a geografia alexandrina começou a perder o seu caráter matemático e físico.

Numa guinada, adquiriu características puramente descritivas. Possidônio tinha ainda veleidades explicativas. Gradativamente esse aspecto foi desaparecendo e escasseando. Aliás, a crítica de Estrabão, o gigante dessa fase, a Possidônio é justamente

> "interessar-se demais pelas causas, à maneira de Aristóteles" (50).

Críticas desse tipo deveriam ser comuns na época de Estribão, última fase do melhor período alexandrino. A ciência já descambara francamente para a timidez mental. Daí só se poderia esperar a queda. Estava-se na eminência da derrocada científica. Mas Estribão, ainda não totalmente alheio ao ousado sonho da verdade,, tem passagens brilhantes na geografia física e principalmente na política e história.

> "As várias artes, profissões e instituições da humanidade, uma vez introduzidas, florescem quase que em todas as latiudes e mesmo apesar de latitudes. Se certas características locais advém da natureza, outras surgem pelo hábito e pela prática. Não é pela natureza que os atenienses pendem para as letras, enquanto os espartanos e mesmo os tebanos que ainda lhes estão mais próximos, não têm tal propensão. É mais pelo hábito. Identicamente, o treinamento e o hábito respondem por diversas proficiências dos povos babilônicos e egípcios" (51).

---

(49). — Hogben (L.), *op. cit.*, p. 262.
(50). — Etrabão, citado por Farrington (B.), *op. cit.*, p. 244.
(51). — Estrabão, *Geografia*, Livro II, 3, 7. Citado por B. Farrington, referência (50).

O determinismo geográfico, um êrro ainda comum nos dias de hoje, não alcançou Estrabão. A admirável passagem acima é a prova. Os seus 17 livros de Geografia não alcançaram a notoriedade na época. Só em Bizâncio seria considerado autoridade.

Ptolomeu, o grande astrônomo, foi também um geógrafo de mérito. Com ele houve uma breve renascença da Geografia matemática. Completou e retificou o trabalho de Marino de Tiro. Este havia se lançado à tarefa de fazer um *mapa mundo usando* corretamente o sistema de paralelos de latitude e meridianos de longitude — uma sugestão de Hiparcos. Os oito livros de Ptolomeu sobre Geografia são altamente didáticos e serviram para reforçar a sua autoridade. O essencial do tratado é a catalogação onomástica de lugares. Entretanto, a determinação da posição desses lugares é altamente incorreta. Isso deve-se principalmente às dificuldades de medidas — principalmente de longitude. As latitudes tinham sido determinadas, mas mesmo estas, em número excessivamente pequeno. Talvez Marselha, Roma, Rodes, Alexandria, Siena e mais algumas poucas cidades tivessem esta coordenada geográfica conhecida. Para piorar, as medidas consideradas eram grosseiras. Donde resultaram alguns absurdos. Cartago mais ou menos a 1 grau a norte do paralelo a 36 graus de latitude ficou a mais de 1 grau ao sul. A Inglaterra ao invés de alongar para o norte tem uma protuberância para o leste(52).

Já aqui nota-se claramente os sinais da decadência. Nem mesmo na precisão, o forte da ciência alexandrina, existe salvação. Este tratado impreciso de Ptolomeu é muito bom quando considerado com os outros da época. Pode-se calcular por ele o nível reinante.

*

Medicina Alexandrina

No dizer do eminente Aldo Mieli, podem ser atribuídas duas causas fundamentas para o florescimento da medicina em Alexandria. A primeira, deve-se ao fato dessa cidade ter sido na época o centro de convergência comercial e marítima. A gama mais variada de doenças e raças por ela desfilavam, dando uma ótima oportunidade para as observações médicas e biológicas. O outro fator, quiçá o mais importante, era a liberdade concedida pelos monarcas lágidas para dissecação dos cadáveres humanos. Nas outras partes do mundo antigo, como é do conhecimento geral, essa atividade era quase sempre proibi-

(52). — Farrigton (B.), *op. cit.*, p. 249-250.

da. Parece que a vivissecção também era praticada no corpo de condenados à morte.

Na realidade, os dois grandes nomes da medicina alexandrina, Herófilo e Erasístrato, basearam seus conhecimentos práticos na dissecção (53).

Herófilo de Calcedônia, da Bitínia, floresceu por volta do ano 300 a.C. Foi discípulo de Praxágoras. Ao contrário do seu mestre, abandonou a metafísica e se baseou somente nas observações. Irmão espiritual de Estraton, parece ter recebido deste viva influência. O seu trabalho tem por isso a característica experimental. Tinha, outrossim, uma fama invejável como médico. Conhecia a importancia das batidas de pulso para o exame médico. Ministrava com frequencia remédios e de preferencia ervas e vegetais. Mas não olvidava também a importancia da higiene e educação física. Era adepto da teoria dos quatro humores de Hipócrates (54).

Escreveu um tratado *Sobre a Anatomia.* Outro sobre *Os olhos* e um *Manual para as parteiras.* Desgraçadamente, nenhum deles chegou até nós. As notícias sôbre Herófilo como sôbre Erasístrato provém de terceiros, principalmente de Galeno. Leva a seu crédito o ter feito minuciosas observações sobre o olho, o nervo ótico e a retina. Estabeleceu a vinculação entre o cérebro e a medula espinhal. Discriminou as artérias das veias e disse com correção estar fluindo sangue nelas. Distinguiu também os nervos sensitivos dos tendões (55).

Herófilo é considerado o fundador da Anatomia.

Erasístrato de Quios, jovem contemporâneo de Herófilo, foi um notável cientista e um grande médico. Atribui-se a ele, com justiça, a fundação da fisiologia. Grande observador, como o seu colega de Calcedônia, conseguiu identificar as válvulas semi-lunares e as válvulas bicúspede e tricúspede no coração. Tentou percorrer as sub-divisões de veias e artérias e verificou a sua existência além dos limites da visão. Cientista autêntico, tentou teorizar os seus conhecimentos. E fallhou. Grande experimentalista, no entanto, falhou na analogia. Na vivissecção, o sangue esguicha. Ao contrário, num animal morto as artérias estão vazias de sangue e cheias de ar. Erasístrato havia observado as minúsculas subdivisões das veias e artérias .Convenceu-se de estarem elas ligadas por tubos capilares. Conhecedor da pneumática estratoniana, fez uma engenhosa analogia. As artérias seriam

(53). — Mieli (A.), *op. cit.*, ps. 170-171.
(54). — Hirata (K.), *op. cit.*, ps. 174-175.
(55). — Mieli (A.), *op. cit.*, p. 172.

normalmente cheias de ar. Quando seccionadas, o ar escaparia e se produziria um vácuo nas artérias. O vácuo atrairia através dos tubos capilares o sangue das veias. Daí o esguicho de sangue. Galeno 450 anos depois mostraria o erro do grande médico de Quios (56).

Herófilo e Erasístrato haviam caminhado rigorosamente na trilha científica. Era a medicina-ciência. Foi o ague. Associaram com fecundidade a experiência e teoria. É verdade que erraram. Mas qual o cientista que não erra? Sem a audácia da aventura, da coragem ante o sucesso e o malogro, a ciência não progride. Depois deles a medicina se tornaria cada vez mais pragmática, mais tímida e se encaminhou dia após dia para a ineficiência.

A escola empírica, fundada por Filino de Cos (século III), discípulo de Herófilo, asseverava ser a base da medicina apenas a observação e a experiência. Ntgava a possibilidade de qualquer edificação de uma ciência teórica. Serapião de Alexandria e Glaukias de Taras continuariam essa tradição. A decadência gradual da medicina é uma contundente amostra de como o empirismo radical é prejudicial à ciência.

Galeno (129-195 a.D.) é o último grande nome da medicina dessa fase. Embora tenha vivido grande parte da sua vida em Roma, pela sua formação deve ser considerado alexandrino. Nasceu em Pérgamo, filho de um erudito versado em arquitetura e matemática. Estudou medicina em Pérgamo, Esmirna, Corinto e Alexandria. Durante quatro anos em sua cidade natal, exerceu o papel de cirurgião dos gladiadores. Depois, dirigiu-se para Roma, onde gozou de grande reputação (57).

Fecundo escritor e grande sistematizador, ele foi para a Medicina o que Ptolomeu foi para a Astronomia. Coletou todas as informações possíveis dos seus antecessores. Mas não ficou nisso. Ele próprio fez dissecações e experiências.

Falando sobre as suas próprias obras, disse:

> *"Os Exercícios"* abrangem tudo. Deles, o primeiro volume estuda os músculos e tendões da mão, o segundo, músculos e tendões das pernas, o terceiro, nervos e vasos dos membros. O quarto, cuida dos músculos motores da mandíbula e dos lábios, do queixo, da cabeça, do pescoço e dos ombros. O quinto versa so-

(56). — Farrington (B.), *op. cit.*, ps. 178-179.
(57). — Farrigton (B.), *op. cit.*, p. 256.

> bre os músculos que controlam o peito, ventre, costas e quadris. O sexto é sobre os órgãos da digestão, isto é, estômago, intestinos, fígado, baço, rins, bexiga e os demais. O sétimo e o oitavo compreendem a anatomia das partes concernentes à respiração. O sétimo descreve a dissecção e vivissecção do coração, pulmões e artérias. O oitavo trata das partes de todo tórax. O nono, da dissecção do cérebro e da espinha. O décimo, da dos olhos, língua, garganta e partes adjacentes. O décimo primeiro da laringe e do chamado osso hióide, as partes a êste relacionados, e os nervos que aí vem ter. O décimo segundo, trata das artérias e as veias. O décimo quarto, os que partem da espinha. O décimo quinto abrange os órgãos de reprodução. Há ainda os rudimentos essenciais, a anatomia e apresentação de outras noções úteis" (58).

A fisiologia de Galeno é uma expressão interessante do estado de coisas reinantes na época. Havia perdido a noção de gradualidade de pesquisa. A pesquisa não era mais uma fase do processo de fazer filosofia natural. Tampouco havia a ousadia de formular grandiosas especulações: era apenas um modo de conciliar as investigações com as filosofias vigentes.

Os estoicos, consideravam o homem dotado de tríplice característica: o crescimento, a locomoção e o pensamento. O pneuma (ar) seria o princípio vital dessas três coisas. A função fisiológica do organismo humano era adaptar o pneuma para atingí-las. O penuma na primeira adaptação tornar-se-ia "espírito natural" responsável pelo crescimento. A locomoção era resultado do "espírito vital", a segunda adaptação. Na terceira adaptação do pneuma, acontecia a determinação do pensamento através do espírito animado. Galeno enquadrou todos os seus conhecimentos sobre o sistema digestivo, respiratório e nervoso do homem para a explicação dessa tríplice função do organismo humano. Invertia-se destarte a função da ciência-filosofia. Não se fazia ciência para fazer filosofia. Adaptava-se à ciência para a filosofia. Que abismo entre o grande Galeno e o grande Arquimedes.

> "Foi esclarecido em discussão anterior que a nutrição ocorre pela alteração ou assimilação da alimentação ingerida .Existe em cada parte do animal uma faculdade que, em vista dessa atividade, nós chamaremos, em termos gerais, alterativo ou mais es-

---

(58). — Galeno, citado por B. Farrigton, referência (57), p. 254.

> pecificamente assimilativo e nutritivo. Foi também mostrado que um suficiente suprimento da matéria parte da qual sendo nutrida faz dentro da nutrição por ele mesmo. Isto é assegurado em virtude da outra faculdade que atrai naturalmente seu próprio humor. Este suco é próprio para cada parte que é adaptada por assimilação. Esta faculdade que atrai o humor é chamada, em razão da sua atividade, atrativa ou epispática" (59).

Pela fluência da sua linguagem, pela habilidade de fazer dessecção, por ter adotado um caráter finalista em suas teorias, pelo seu enciclopedismo, Galeno se tornaria na autoridade inconteste durante toda a Idade Média.

*

Astronomia Alexandrina

A primeira fase da astronomia alexandrina caracteriza-se por uma grande originalidade. Aristarcos de Samos (mais ou menos 310-230) foi o grande nome dessa época. Foi o primeiro a advogar a teoria heliocêntrica. Discípulo de Estraton, o astrônomo de Samos, tinha grande respeito pela pesquisa experimental. O seu heliocentrismo é o resultado das suas observações e cálculos. Não foi produto da especulação pura. No seu livro *Sobre as distâncias e o tamanho do Sol e da Lua,* começou enumerando 3 hipóteses: 1) — O brilho da Lua é devido à luz recebida do Sol; 2) — Em relação à orbita circular da Lua, a Terra ocupa o centro e pode ser considerada um ponto; 3) — Quando a Lua se encontra no quadrante, o círculo máximo divisório da parte iluminada e escura está na direção da linha visual. Em seguida, combina-as com os três valores obtidos da observação: 1) — No quadrante, a distância angular ao Sol é de 87°; (2) — o comprimento da sombra da Terra medido na ocasião das eclipses lunares é duas vezes o diâmetro da Lua; (3) — o diâmetro aparente da Lua é de 2 graus. Após isto, faz cálculos com o uso de figuras. A conclusão obtida é a seguinte: (1) — a distância da Terra ao Sol é de 18 a 20 a distância daquela à Lua; (2) — o diâmetro do Sol é 18 ou 20 vezes maior do que o da Lua (3) — A razão dos diâmetros do Sol ao da Terra é de $\frac{29}{3}$ ou $\frac{43}{3}$.

---

(59). — Galeno, *On the Natural Faculties,* trad. de A. J. Brock, Chicago, 1952, p. 199.

Os resultados obtidos não são bons. Tendo usado o método de triangulação, o ângulo envolvido era muito pequeno. Dispondo apenas de instrumentos rudimentares, a medida desses ângulos foi feita com grande imprecisão. Mesmo assim encontrou o Sol muito maior que a Terra. Ora, seria muito pouco inteligível pensar num Sol enorme e mais pesado girando em torno de uma terra pequenina e mais leve. Raciocinando assim, Aristarcos colocou o Sol no centro e fez a Terra gravitar em torno dele. Foi uma conclusão notável. Notável e espantosa. Por isso foi recebida não só com frieza mas também com impiedosas críticas. Plutarco diz:

> "Ele deve ser criticado por ter praticado a heresia de deslocar o coração do mundo. Teve a ousadia de parar os céus e mover a Terra em círculo, fazendo ao mesmo tempo animado de rotação" (60).

O próprio Arquimedes, não é favorável a essa teoria:

> "Diz serem as estrelas e o Sol fixos. A Terra se moveria tendo o Sol como centro. Por ser a esfera das estrelas fixas (também como o Sol no centro) muitíssimo grande, a razão da órbita circular da Terra e a esfera seria igual à razão da superfície da esfera com o seu centro. Esse é o pensamento de Aristarcos. Entretanto existe uma clara impossibilidade nesse caso. Como o centro da esfera não tem tamanho, é absurdo falar na razão dele com a superfície" (61).

A crítica do siracusano é fundamentada. A paralaxe e a incongruência gieométrica apontadas eram os pontos fracos dessa teoria. Quase ninguém, naquela época, conseguiu entender o alcance da teoria, do seu caráter progressivo. Apenas Selêuco — o babilônio, o defendeu cem anos depois. A teoria heliocêntrica não vingaria nessa primeira tentativa.

Aristóteles foi a excessão.

A grande linha da corrente astronômica de Alexandria seguiria o caminho traçado pelo grande peripatético — Aristóteles. No entanto, a sua teoria homocêntrica apresentava muitas dificuldades. A primeira consistia no fato dos tamanhos aparentes do Sol e da Lua

---

(60). — Citado por Simamura, referência (3), ps. 117-118.
(61). — Arquimedes, *The Sand Reckoner, trad.* Sir. T. L. Heath, Chicago, 1952, p. 520.

variarem. A prova estava na existência de eclipses "anulares" e "totais".

Sosígenes, astrônomo do século II a. C., sumaria esse estado de coisas da seguinte maneira:

> "As esferas dos partidários de Eudóxio não explicam os fenômenos. Não só não os explicam, mas também não explicam os que foram descobertos depois, não explicando os já conhecidos e aqueles que eles consideravam verdadeiros. Pode Eudóxio ou Calipo ou qualquer deles, ser considerado como tendo tido êxito? Afinal, é evidente que nenhum dos dois acertou, ao menos, em deduzir as suas hipóteses. Refiro-me ao fato de certas estrelas estarem ora perto, ora longe de nós. Isso pode ser visto no caso de Marte e Venus, que se avistam muito maiores a meio caminho da sua rota retrógrada . . . . . . As mesmas variações podem ser observadas com a Lua, se a compararmos com objetos variáveis de tamanho invariável, o que é confirmado por quem use instrumentos . . . . . . As observações sobre as eclipses do Sol dizem o mesmo" (62).

Adotada a circunferência com a órbita dos astros, não existia uma explicação viável. Só se houvesse uma contração e expansão de astros. Porém, dentro da astronomia peripatética isso era proibido. Os astros deviam ser imutáveis — o problema parecia não ter solução.

Os sábios alexandrinos eram pródigos em recursos técnicos. Especialistas, lidavam com complexos instrumentos, tanto experimentais como teóricos. E exageraram nessa tecnicidade. Esqueceram-se de inquirir a natureza em profundidade. E resolveram "salvar as aparências". Para isso usaram as excêntricas e epiciclos. Estes foram introduzidos para resolver o problema de "estacionário" e "retrogressões" de planetas exteriores. Temos que reconhecer a engenhosidade desses recursos. Eram esferas e mais esferas girando umas em relação às outras. Ajustava-se perfeitamente às observações.

Quem leva o mérito de ser iniciador dessas teorias, não se sabe ao certo. Alguns atribuem-nas a Apolônio de Perga e outros a Hiparco de Nicéia (Bitínia) (190-125 a. C.).

O interesse de Hiparcos não foi exatamente cosmológico. Convencido de que a astronomia deveria estar firmemente baseada em da-

---

(62). — Citado por Farrington (B.), *op. cit.*, p. 194.

dos observacionais, lançou-se à tarefa de fazer medições astronômicas. Foi um gigante nesse aspecto. Hirata, especialista japonês em Ciência Antiga, coloca esse seu trabalho no mesmo nível do trabalho de Aristóteles em Biologia e o trabalho de Arquimedes em Mecânica (63). Os principais méritos de Hiparcos, stgundo Aldo Mieli (64) são: 1) Introdução da disciplina matemática mais tarde denominada trigonometria. A sua trigonometria trabalha com arcos e não com funções trigonométricas; 2) — Aperfeiçoou vários instrumentos astron!micos. Além de ter melhorado sensivelmente os instrumentos legados pelos antigos, principalmente babilônios; o astrólogo e a dioptria seriam produtos do seu gênio (65); 3) — Fez observações sistemáticas das estrelas fixas e determinou suas posições mediante coordenadas astronômicas. Estabeleceu destarte um catálogo de estrelas. As suas medidas eram de grande precisão. Fez de Rodes o seu quartel-general e observou os céus durante quarenta anos; 4) — Descobriu a precessão de equinócios. Estimulado pelo aparecimento de uma nova em 134 a.C., com a inquietante suspeita da mutabilidade dos céus imutáveis, mediu mais de 800 posições de estrelas. Comparando estas com as feitas por Aristóteles e Timocaris, trabalhos realizados independentemente há 128 anos na outrora florescente Alexandria, verificou um pequeno, porém significativo deslocamento da latitude de 2 graus aproximadamente, no sentido contrário ao do movimento diurno. Era a precessão de equinócios; 5) — Desenvolveu o sistema de epiciclos e de excêntricas, demonstrando a equivalência dos dois métodos; 6) — Desenvolveu a geografia matemática, determinando coordenadas terrestres.

Hiparcos é o ápice da astronomia alexandrina. Infelizmente a maioria de suas obras se perdeu. Contudo, uma boa parte logrou sobreviver de um modo indireto por terem sido inseridas na grande obra de Claudius Ptolomaios, o *Almagesto* (66).

O *Almagesto* é constituído de 13 livros. Os 2 primeiros expõem os fundamentos da teoria geocêntrica com um estudo simultâneo sôbre as observações astronômicas. Como apêndice existem a tabela de soluções e dos arcos tomados de meio em meio grau da trigonometria esférica (67).

---

(63). — Hirata (K.), *op. cit.*, Tokyo, 1952, p. 172.
(64). — Mieli (A.), *op. cit.*, ps. 204 e 205.
(65). — Veja F. Simamura, *op. cit.*, p. 127.
(66). — Veja Farrington (B.), *op. cit.*, p. 199.
(67). — Capítulo 13 do Livro 2; verificar Ptolomaios (C.), *Almagesto*, trad. de R. C. Taliaferro, Chicago, 1952, ps. 69-75.

No livro 3, trata-se a duração do ano e a translação do Sol e no livro 4 a duração de 1 mês e o movimento da Lua. O 5.º livro é uma descrição de instrumentos de medida e da sua utilização. Mas o objetivo é falar de paralaxe e do movimento da Lua. O livro 6 refere-se a eclipses, tanto solar como lunar. Os livros 7 e 8 são atinentes a catálogo de estrelas e explicação da precessão de equinócios. Os livros 9 a 13 tratam do difícil caso do movimento dos planetas. Fazendo uso de excêntricas e de epiciclos, Ptolomeu tentou ajuntar a teoria às medidas das observações. Dentro da precisão de medida possível naquela época o seu sistema cosmológico conseguia explicar muito bem as irregularidades dos movimentos planetários. Ptolomeu tinha excelentes razões para considerar a Terra centro do Universo. Pois se a Terra não estivesse naquela posição as três outras posições possíveis trariam inconvenitntes de ordem física. As outras posições possiveis eram: fora do eixo mas equidistante dos polos, no eixo mas dissimétrica em relação aos polos, completamente assimétrico tanto em relação aos polos como em relação ao eixo.

Na primeira posição considerada os inconvenientes se refletiam nos equinócios. Na segunda, havia um corte desigual do céu pelo horizonte "a parte em cima da Terra seria menor do que a parte de baixo. O resultado seria corte também desigual no grande círculo em torno do centro dos signos do zodíaco (ecliptica). Porém isso nunca acontece. Basta observar que sempre são visíveis as seis das doze partes e as outras seis invisíveis. Quando estas são visíveis as seis primeiras destas todas ocultas (68). Nem a terceira posição seria possível, pois:

> "Em geral, se a Terra não tiver a sua posição embaixo do equador e sim com preponderância meridional ou setentrional em relação aos polos, as sombras dos gnomons ao nascer do Sol, durante os equinócios nunca poderiam estar em linhas retas com aquelas do sol-pôr devido ao paralelismo dos planos com o horizonte. No entanto, é precisamente o constatado" (69).

Desta maneira por uma redução a absurdo, a Terra ficava no centro do Universo.

O geocentrismo estava estabelecido. Por mais de um milênio o Sol giraria em tôrno da Terra.

*

---

(68). — Ptolomaios (C.), *op. cit.*, p. 10.
(69). — *Ibidem.*

Conclusão

A ciência alexandrina nos reinados dos primeiros Ptolomeus desenvolveu-se extraordinariamente. Naqueles primtiros duzentos anos, os tempos foram fecundos. Amparados financeiramente e com as condições favoráveis não faltaram rasgos de originalidade. Sob a influência do Liceu, e de Estraton em especial, os sábios do Museu estavam incumbidos de salutar princípio de fazer filosofia natural. Deixando de lado os exageros dos últimos filósofos atenienses, entregaram-se de corpo e alma em construir uma filosofia baseada em fatos. Nesse particular superaram os jônios, os grandes filósofos da natureza. Pois nos alexandrinos já existia a noção de gradualidade de pesquisa, da existência de vários níveis e fases no labor científico. A filosofia não era mais matéria de e^peculação pura. Com a aliança dos fatôres favoráveis e a captação da verdadeira imagem da ciência, os cientistas alexandrinos desenvolveram um corpo de ciência nunca visto anteriormente. Os conhecimentos se multiplicaram. Construtiram uma linguagem própria t sofisticada. A natureza era desvendada dia a dia. Essa foi a fase de ouro, quando atuaram Arquimedes, Apolônio, Euclides, Herófilo, Erasístrato, Eratóstenes e outros.

Porém, com o correr do tempo, a situação foi se modificando. O apoio da casa real já não era tão decisivo. No reinado do sétimo Ptolomeu, Fisnão. esse estado de coisas se agravou. Os cientistas haviam perdido a sua originalidade. Perdidos dentro das matérias altamente especializadas, não se animaram de lançar os olhos à natureza como um todo. Esqueceram-se de fazer filosofia natural. Os ciclos e os tpiciclos se multiplicaram. Todavia não se aumentou o conhecimento sôbre a natureza com isso. Por outro lado, usando um linguajar diferente, técnicas muito especializadas, não tinham alcance popular. Por isso, quando faltou o apoio real, a decadência veio a passos rápidos.

A obra de Ptolomeu, o astrônomo, e de Galeno, o médico, devem ser considtradas como uma tentativa, aliás feliz, de preservar e sistematizar o trabalho dos seus antecessores. Depois, quase nada mais restou. O misticismo e a suprestição substituiram a filosofia natural. Foi o fim melancólico de uma ciência que começara tão radiosamente.